SOCIEDAD ARGENTINA DE TÉCNICOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR

PRESENTACIONES ORALES Y POSTERS PRESENTADOS EN

XXII REUNIÓN TÉCNICA SATCA 2022
28 y 29 de Noviembre

PRESENTACIONES ORALES
ÁREA AGRÍCOLA

CARACTERISTICAS LIMITANTES DE LOS SUELOS CAÑEROS DEL PEDEMONTE DE TUCUMÁN SEGÚN EL SISTEMA FCC

Arroyo E.A.; Sanzano G.A.; Rojas Quinteros H.C.; Navarro Di Marco J.P. y Madrid F.R.
Estación Experimental Agroindustrial ObispoColombres;El Colmenar, Las Talitas (T4101). Prov. de Tucumán, earroyo@eeaoc.org.ar

PALABRAS CLAVE:caña de azúcar, nutriente, fertilidad, bases de cambio.

INTRODUCCION

El sistema de Clasificación de Suelos por Capacidad de Fertilidad (FCC por sus siglas en inglés) agrupa a los suelos según el tipo de problemas que presentan para el manejo agronómico de sus propiedades químicas y físicas, enfatizando los parámetros cuantificables de la capa superficial del suelo, así como las propiedades del subsuelo directamente relevantes para el crecimiento de las plantas (Sánchez *et al*., 1982, Sánchez et al., 2003).Este método se diferencia de otros sistemas de clasificación que ignoran muchos atributos inherentes o dinámicos cruciales para la productividad de la plantas. Este sistema es una clasificación de suelos basada en restricciones de fertilidad, cuantificadas a partir de modificadores de condición. En este trabajo se tomarán aspectos de fertilidad especialmente relacionados a la producción de caña de azúcar y se incluirán como modificadores en relación a las recomendaciones de fertilización nitrogenada, las que se basan principalmente en el potencial de rendimiento del cañaveral y el aporte de N del suelo medido por la materia orgánica. Con respecto al fósforo se estableció como criterio de interpretación la existencia de tres zonas bien definidas de abastecimiento fosforo disponible del suelo: bajo(menos de 13 ppm de P), medio (13 a 25 ppm de P) y alto (mayor a 25 ppm de P), asociados a una respuesta segura, respuesta probable y sin respuesta a la fertilización fosfatada, respectivamente (Pérez Zamora et al 2000). Con respecto a los cationes de cambio, valores críticos de potasio para caña de azúcar, se reportan diferentes rangos en la bibliografía internacional, en este trabajo se tomará como crítico <0.15 K intercambiable (cmol/kg). En Australia se reporta como crítico en suelo 1,5 cmolc/kg para Ca intercambiable y 0,3 cmolc/kg para Mg intercambiable según Kignston (2009). Para el pH del suelo se detectó que en suelos con valores superiores a 8,2 el cultivo de caña de azúcar se vió seriamente afectado; y por arriba de 8,5 los daños fueron muy severos (Fogliata, 1995).Con respecto a la profundidad de suelo, con menos de 20 cm de profundidad efectiva se afecta el crecimiento radical y con menos de 40 cm la biomasa de la planta sobre el suelo y su productividad en azúcar también se ve afectada; en cuanto a la pedregosidaddel suelo, por encima del 40% de grava se ve afectada la biomasa formada en la parte aérea de la planta (Contreras Muñoz *et al*., 2011).La caña de azúcar crece en una gran variedad de tipos de suelos, pero los más adecuados son los profundos, bien drenados, fértiles, no compactados libres de piedra (Rodríguez Delgado et al. 2013, Sanzanoet al., 2015).

El objetivo de este trabajo fueclasificar a los suelos del pedemonte cultivados con caña de azúcar de acuerdo al sistema FCC e identificar las principales limitantes edáficas y su recomendación de manejo agronómico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron 115 sitios cultivados con caña de azúcar en la región agroecológica del pedemonte de Tucumán. Para cada uno de estos sitios se caracterizó las siguientes propiedades químicas: pH actual (agua 1:2,5), salinidad (conductividad eléctrica en extracto de saturación, dS/m), calcáreo (gasometría, CaCO3%), materia orgánica oxidable (Walkley-Black, %), fósforo disponible (Bray y Kurtz II, ppm), sodio intercambiable (acetato de amonio a pH=7,0, Cmolc/kg), potasio intercambiable (acetato de amonio a pH=7,0, Cmolc/kg), calcio intercambiable (acetato de amonio a pH=7,0, Cmolc/kg), magnesio intercambiable (acetato de amonio a pH=7,0, Cmolc/kg) y capacidad de intercambio de cationes (acetato de sodio pH=8,2, Cmolc/kg). Además se cuantificó el porcentaje de arena (Tamiz 2mm a 50 u, %), limo (hidrómetro de Bouyuocus, %) y arcilla (hidrómetro de Bouyuocus, %) para establecer la clase textural del suelo. Además se relevaron a campo características del paisaje que se tuvieron en cuenta al momento de la clasificación, tales como relieve, pendiente (%), profundidad (cm), signos de hidromorfía y presencia de pedregosidad en el perfil de suelo.

En cada sitio de muestreo se aplicó el método FCC para la clasificación de los suelos de acuerdo las características de la capa superficial (tipo) y subsuperficial (tipo de substrato), lo que permitió la identificación de la principal limitante en cada sitio. Para la conformación de los grupos de suelos se aplicó la técnica de agrupación por conglomerados.

El sistema FCC consta de dos niveles categóricos: la primera categoría, tipo / tipo de substrato, describe la textura de la capa superior del suelo y del subsuelo y se expresa en letras mayúsculas (A: todo arenoso; AAr: capa superior arenosa subyacente por un subsuelo arcilloso, por ejemplo). Este nivel se determinó por la textura de la capa arable, o de los primeros 30 cm de profundidad. La denominación y rango son:

A: Arenosos (textura arenosa y arenosa franca); Ar: Arcillosos >35% de arcilla; F: Francos <35% de arcilla (excluidos los arenosos y arenosos francos) y O: Orgánicos >30% de materia orgánica hasta los 50cm o más.

El tipo de substrato se utiliza cuando existe un cambio textural significativo dentro de los primeros 50 cm de suelo. En este caso se utilizó cuando se detectó un cambio significativo en la textura del suelo entre los 30 a 60 cm de profundidad. Se expresó con las mismas letras que el tipo añadiendo la “R” en caso de que una roca o una capa dura se encuentren dentro de esa profundidad. Cuando se utiliza la letra O no se emplea el substrato.A: subsuelo arenoso, textura como el tipo; F: subsuelo franco; textura como el tipo; Ar: subsuelo arcilloso, textura como el tipo; R: roca u otra capa dura que restringe el crecimiento de las raíces.

El segundo nivel está constituido por los **modificadores** que son aquellos parámetros químicos o físicos que influyen de manera negativa en la fertilidad del suelo y están referidos a la capa arable. El sistema consta de 17 modificadores definidos para delimitar las condiciones específicas del suelo que afectan el crecimiento de las plantas con límites cuantitativos, en este trabajo solo se utilizaron aquellos presentes en los suelos de Tucumán. Para indicar la existencia de estos limitadores se emplean letras en minúsculas, a continuación algunos ejemplos: “g” exceso de agua; “e” baja capacidad de intercambio de cationes; “k” deficiencias de potasio, “b” carbonatos libres; “s” salinidad, “n” sodio; “ ‘ ” para gravas o fragmentos gruesos;

"%" pendiente. Algunos de estos modificadores se adaptaron a valores críticos específicos para el cultivo de caña de azúcar como ser m, p, k, % según la información de bibliografía local, regional y/o internacional.Los suelos se clasificaron de acuerdo a la presencia o no de la característica limitante.

RESULTADOS

El análisis de clúster discriminó 3 conjuntos en la categoría de Tipo y Substrato, donde la totalidad de sitios analizados se clasificaron en la categoría Franco (F) y Arenoso (A). Este análisis no logró discriminar la categoría Arcillosa (Ar).
Al observar en forma más detallada el grupo franco (F) posee dos subdivisiones, por un lado suelos francos y francos limosos en la capa superficial y substrato; y por otro suelo con mayor contenido de material fino como ser arcilla. En el otro conjunto de sitios discriminado, se observó un predominio de arena (Figura1).

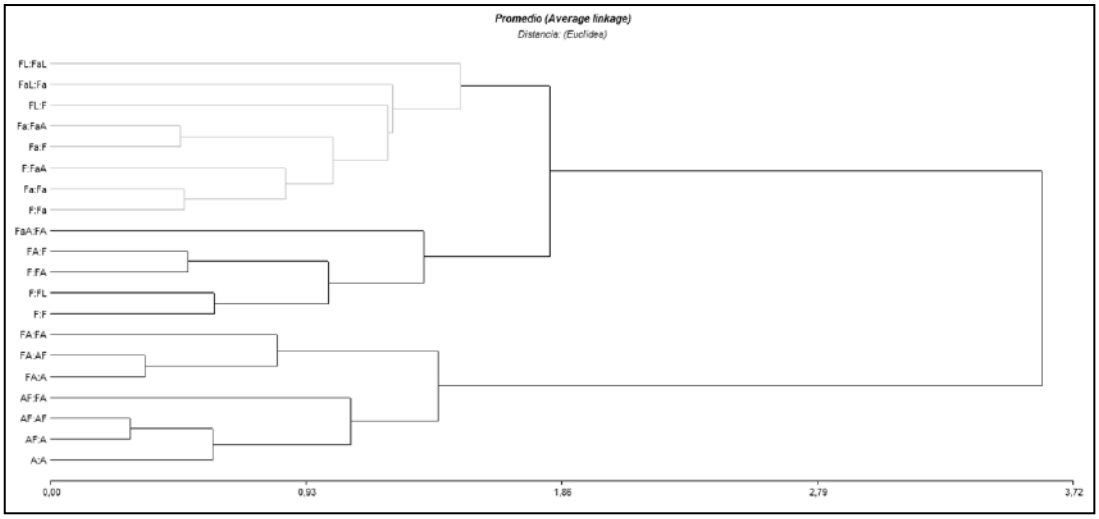


Figura 1 Dendrograma de clasificación particionado por textura de suelo.

El 73% de los sitios estudiados se clasificaron en la categoría Franco. El 13% de los casos restantes son suelos que en su tipo presentan texturas medias y en el substrato texturas con alto contenido de arena; y el 11% de suelos analizados presentan un fuerte dominio de las partículas de arena. Solamente 1 sitio presentó contenido de arcilla suficiente (>35%) para ser clasificado como arcilloso por FCC (Tabla 1). Esto coincide con lo reportado para esta zona por Fadda y Zuccardi 1985; Fogliata 1995 y Arroyo et al., 2018.

Tabla 1. Sitios, porcentajes y clasificación FCC.

Sitios	%	Clasificación FCC
84	**73,0**	**F**, **F**e, **F**g, **F**%, **F**m, **F**p y **F**k
15	**13,0**	**F**A, **FA**e, **FA**g
13	**11,3**	**A**e, **A**m
2	**1,7**	**AF**
1	**0,9**	**FAr**

Cuando se analizó la categoría Franco, más del 40% de los sitios no registró limitación para el cultivo de caña de azúcar, mientras que el resto evidenció alguna limitación como baja capacidad de intercambio catiónico (Fe), deficientes en K (Fk) suelos con signos de drenaje deficiente (hidromorfía) a poca profundidad (Fg), y suelos donde la pendiente es una limitación a tener en cuenta (F%), y en menor medida suelos con bajo contenido de materia orgánica o fósforo. (Tabla 2).

Tabla 2. Partición de categoría F y clasificación FCC.

Tipo/Substrato	Sitios	%	Clasificación FCC
F	41	**48,8**	F
	18	**21,4**	Fe
	10	**11,9**	Fg
	6	**7,1**	F%
	4	**4,8**	Fm
	3	**3,6**	Fp
	2	**2,4**	Fk

Suelos que presentan un tipo franco y substrato arenoso (FA) se clasificaron en perfiles sin limitaciones para el cultivo de caña o con limitaciones también relacionadas al lavado de bases de cambio.Sanzano et al (2017) detectó para el pedemonte de Tucumán suelos ácidos, muy lavados, de texturas gruesas que podrían requerir especial atención para satisfacer los requerimientos nutritivos de Ca, Mg y K. En los sitios clasificados como arenosos (A) por FCC, la limitación principal está dada por el lavado de bases intercambiables y bajo contenido de materia orgánica. Deficiencias de calcio y prácticas de encalados fueron indicadas por Hernández y Figueroa 2005, para áreas del pedemonte con suelos gruesos y alta pluviometría. Arroyo et al (2018) detectaron una amplia área del pedemonte cañero condesaturación de bases intercambiables, por lo que es necesario seguir estudiando en otras áreas del pedemontela composición catiónica del complejo de cambio de los suelos.
Para cada una de las limitaciones identificadas por el FCC se recomiendan una o más prácticas agronómicas o correctivas que permitan superar y/o atenuar esta condición para la producción de caña de azúcar (Tabla3).

Tabla 3. Clasificación FCC, limitación y principales recomendaciones agronómicas.

Clasificación FCC	Limitación	Recomendación agronómica
F, FA, AF	Sin limitación	Mantener el residuo de cosecha en superficie (RAC).
Fe, FAe, Ae	Lavado de bases de cambio	Restitución de bases de cambio con la utilización de fertilizantes compuestos que contengan Ca, Mg y K. Mantener el RAC.
Fg, FAg	Condiciones de anaerobiosis temporales	Sistematización para eliminación de excesos hídricos, limpieza de canales que activen el escurrimiento e incorporación de los residuos agrícola de cosecha (RAC).
Fm, Am,	Bajo contenido de materia orgánica	Mantenimiento del RAC en superficie. Incorporación de cachaza y/o vinaza en dosis recomendadas según reglamentación local.
F%	Pendiente	Sistematización de surcos y callejones que permitan disminuir el escurrimiento del agua y mantenimiento de cobertura en callejones y surcos.
Fp	Bajo contenido de fósforo	Uso de fertilizantes fosforados en plantación, para construcción y reposición. Uso de cachaza en pre-plantación según recomendaciones locales.
Fk	Bajo contenido de potasio	Incorporación de fertilizantes potásicos en el esquema de fertilización del cultivo. Uso de vinaza en dosis recomendadas según reglamentación local.
FAr	Contraste textural	Mantenimiento RAC en superficie.

CONCLUSIONES

De los sitios analizados de acuerdo a su aptitud de fertilidad más del 40% de los mismos no presentan limitaciones para el cultivo de caña de azúcar en la zona pedemontana. Cerca del 25% de los sitios estudiados evidencian perdida de bases de cambio, debido a texturas con predominancia de arena y alta pluviometría.

Solo se detectó la presencia de 1 sitio con altos contenidos de arcilla para ser considerado por el sistema FCC.

Las limitaciones indicadas por el FCC podrían ser superadas de manera sencilla mediante prácticas agronómicas de bajo costo que van desde mantener el RAC en superficie hasta la utilización de fertilizantes compuestos ricos en otros macronutrientes.

BIBLIOGRAFIA

-Arroyo E., N. Aranda, G.A. Sanzano, H. Rojas Quinteros y J. Navarro Di Marco 2018. Estado actual de saturación con bases en hapludoles del oeste del área agrícola de Tucumán. XXVI Congreso argentino de la ciencia del suelo. Tucumán, Argentina, pp 413-416.

-Arroyo, E.; N. Aranda y A. Sanzano. 2018. Reconocimiento de suelos productivos en el sur del departamento Monteros, provincia de Tucumán. Revista Avance Agroindustrial 39 (3).

-Contreras Muñoz, V.; N. Arzola Pina. 2011. Estudio de factores edáficos potencialmente limitantes del rendimiento de la caña de azúcar. II Congreso Nacional de la Caña de azúcar y sus derivados. 25 al 27 Mayo 2011.

-Fogliata, F. A. 1995. Factores edáficos limitantes del cultivo. En: Agronomía de la caña de azúcar. Ediciones El Graduado. Tucumán, Argentina. Vol. 2. (Tomo II): 698-713.

-Kingston, G; MC Anink K, B.M Clift, RN beattie. 2009. Potassium management for sugarcane on base saturated soils In northern new south wales. ProcAustSocSugarCaneTechnol. Vol. 31.

-Rodríguez Delgado, I.; Pérez Iglesias H.; Arcía Porrúa, F.; Benítez Puig, Ledya. 2013. Manejo y conservación de suelos. En: Ana María Muñoz Bachs. Manejo sostenible de tierras en la producción de caña de azúcar. Grupo azucarero Azcuba. Inst. de Invest. de la caña de azúcar.

-Pérez Zamora, F, J. Scandaliaris, Rafael Villegas y Guillermo Fadda. 2000 Efecto de la fertilización fosfórica sobre niveles productivos de caña de azúcar en Tucumán. XVII Congreso de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.

-Sánchez, P.A., Couto, W., Buol, S.W., 1982. The fertility capability soil classification system: interpretation, applicability and modification. Geoderma 27, 283–309.

-Sánchez, P.A., PalmC.A; Boul S.W. 2003. Fertility capability soil classification: a tool to help assess soil quality in the tropics. Geoderma 114, 157-185.

-Sanzano, G.A, E. Arroyo, N. Aranda, H. Rojas Quinteros, F. Madrid y J. Di Marco. 2017. Muestreo intensivo para determinar la fertilidad del área cañera de la provincia de Tucumán, Argentina. XIV Congreso Internacional sobre el azúcar y sus derivados. Cuba.

-Sanzano,A; N. Aranda; E.Arroyo; F. Sosa; J. Romero; C. Sotomayor; R. Correa; C. Hernández; M. Morandini; y H. Rojas Quinteros. 2015. Características y manejo de los suelos cañeros en Tucumán. Ed. Digonzelli, P. Guía Técnica del cañero. Tucumán-Argentina.

-Zuccardi, R.B y G. Fadda. 1985. Bosquejo agrologico de la provincia de Tucumán, Misc. 86. Facultad de Agronomía y Zootecnia. UNT. Tucumán. Argentina.

CALIDAD INDUSTRIAL DE LA VARIEDAD DE CAÑA DE AZÚCAR TUC 03-12

AybarGuchea M.; Costilla D.D.; Díaz J.V.; Aballay C.; Rementería A.; Diez P.M.; Sorol N. R.; Ostengo S.

Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres. William Cross 3150 – CP 4101. Las Talitas.Tucumán. Argentina. maybarguchea@eeaoc.org.ar

Palabras clave:caracterización integral, heladas,Pol%caña, curva de maduración, componentes no azúcares.

Introducción

El Subprograma de Mejoramiento Genético de Caña de Azúcar (SPMGCA) de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC), es el principal responsable de la introducción, creación y difusión comercial de las variedades de caña de azúcar que actualmente ocupan casi la totalidad de la superficie cultivada con esta especie en la provincia (AybarGuchea*et al*., 2020). En el año 2015, el SPMGCA de la EEAOC, libero comercialmente la variedad TUC 03-12, cultivar que exhibió en sus evaluaciones preliminares elevados niveles de caña por hectárea, excelente curva de maduración durante el periodo de cosecha, y buen comportamiento fitosanitario (Cuenya *et al*., 2015).

El SPMGCA junto con la sección Química de la EEAOC llevan a cabo un plan de caracterización integral de la calidad industrial de las variedades de caña de azúcar recientemente liberadas al medio productivo (Chavanne*et al*., 2002, 2005). En esta caracterización se considera, la valoración del contenido de sacarosa durante el periodo de cosecha, tolerancia al deterioro post-helada y determinaciones especiales asociadas a compuestos no azúcares que afectan la calidad del jugo, como ser color del jugo y contenido de ceniza, almidón, fenoles y fosfatos (Cárdenas *et al*., 2001a, 2001b; Sopena*et al*., 2001; Zossi *et al*., 2010; Zossi *et al*., 2011). En este trabajo se evaluó la calidad industrial de la variedad TUC 03-12, durante los periodos de zafra 2021 y 2022.

Materiales y métodos

En los años 2021 y 2022, se realizaron muestreos para la determinación de Pol% caña en las variedades TUC 03-12, LCP 85-384 y TUCCP 77-42, las dos últimas consideradas como testigos con buena y mala calidad industrial. El primer período de muestreo (año 2021) se llevó a cabo en un ensayo implantado, en la localidad de Santa Ana (Depto. Río Chico),según un diseño en bloques completamente aleatorizados, y cuya unidad experimental estuvo conformada por una parcela de tres surcos de 10 metros de longitud. El período 2021 se caracterizó por la presencia de heladas de diferente severidad durante los primeros meses de zafra, por lo que el muestreo se inició el día 29/06/2022 (día 0), fecha de registro de la primer helada (-3,3ºC de temperatura y 9:30 horas de duración) en esa localidad de la provincia.Muestreos posteriores se realizaron a los 15, 30, 45, y 60 días.La ocurrencia de este fenómeno meteorológicopermitió la valoración preliminar, bajo esas condiciones, del comportamiento de TUC03-12 frente al frio.

El período de muestreo del año 2022 se realizó sobre un ensayo implantado, en la localidad de Fronterita (Depto. Famaillá), según un diseño en bloques completamente aleatorizados, y cuya unidad experimental estuvo conformada por una parcela de tres surcos de 10 metros de longitud. Durante el periodo 2022 no seregistraronheladas en esa localidad, por lo tanto se evaluó la curva de acumulación de sacarosa de los cultivares durante todo el período de

zafra. El muestreo se inició en la segunda quincena del mes de mayo, y continuó con muestreos posteriores de forma periódica cada 15 días hasta la primera quincena de septiembre.

En ambos períodos, las muestras de TUC 03-12, LCP 85-384 y TUCCP 77-42 estuvieron conformadas por 10 tallos (tomados al azar en la parcela) representativos del ensayo, deshojados (“limpios”) y despuntados al punto natural de quiebre. Las muestras fueron procesadas en el laboratorio de Química de la EEAOC con una desfibradora a martillo (“*open cell*” aproximadamente del 95%) y el jugo fue extraído con prensa hidráulica (con una presión de 240 kg/cm2 durante un minuto). La metodología de análisis esta descripta por Diez *et al***.** (2000). Los valores de Pol% caña fueron calculados según la siguiente ecuación:

Pol% caña= ((Pol% jugo x W%) + (Pol% bagazo x (100 - W%))/100

donde W% es igual al peso del jugo obtenido en 100 g de caña procesada; Pol% jugo fue medido usando un polarímetro *AntonPara MCP 500 Sucromat*y Pol% bagazo fue determinado a partir del método de Norris (Meade, 1967).

En el año 2022, también se llevarona cabo seis muestreos quincenales sucesivos durante el periodo de cosecha de las tres variedades,en elensayo implantado en la localidad de Santa Ana. La muestras se acondicionaron y procesaron con la metodología previamente descripta, pero con la particularidad que se hicieron las siguientes determinaciones analíticasasociadas a componentes no azúcares del jugo:1) contenido de almidón (mg/l), de acuerdo al método propuesto por Godshall(2004) y Zossi*et al*. (2008); 2) contenido de fenoles (mg/l) según Clarke *et al*.1985; 3) color del jugo (U.I. - ICUMSA units); 4) contenido de cenizas (g/100 g) y5) contenido de fosfatos solubles (mg/l) de acuerdo al método propuesto por Sorol *et al.* (2019). Las determinaciones de color de jugo y contenido de cenizas fueron realizadasde acuerdo a lo propuesto por la "Comisión Internacional para Uniformar Métodosde Análisis de Azúcar" (ICUMSA, del inglés "International CommissionforUniformMethods of SugarAnalysis") (ICUMSA, 2005).

Para el análisis estadístico de los valores asociados a componentes no azúcaresdeterminados en el periodo de zafra 2022, se ajustaron Modelos Lineales Mixtos (MLM), considerando la posible correlación entre los distintos puntos de muestreo, a través del software estadístico *Infostat* (Di Rienzo*et. al*. 2020). Posteriormente, se realizó una prueba LSD de Fisher (nivel de significación del 5%) a partir de las medias predichas por el modelo ajustado de cada componente, lo que permitió realizar comparaciones entre variedades.

Resultados

En la Figura 1 se presenta el gráfico con la evolución de los valores de Pol% caña de TUC 03-12, LCP 85-384 y TUCCP 77-42, durante el período de muestreo 2021. La variedad TUC 03-12 presentó un comportamiento frente al frio similar a LCP85-384 (valores cercanos de Pol% caña en todos los momentos de muestreo), testigo reconocido por su buena calidad industrial durante el período de zafra y tolerancia al deterioro por helada. TUCCP 77-42 (variedad sensible en su respuesta luego de una helada) mostró una dinámica similar en la variación de los valores de Pol% caña que TUC03-12 y LCP85-384 pero con registros muy inferiores durante todo el periodo de muestreo(Figura 1). Las tres variedades mostraron sus máximosvalores15 días después de la helada, los cuales fueron descendiendo hacia finales del muestreo.

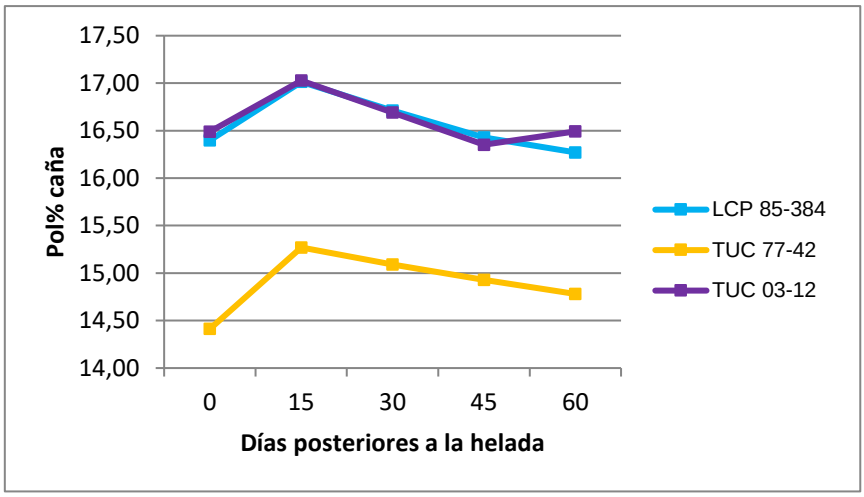


Figura 1. Valores de Pol%caña de las variedades LCP 85-384, TUCCP 77-42y TUC 03-12durante el periodo de muestreo 2021 en la localidad de Santa Ana.

En el período 2022 (curva de maduración sin presencia de heladas), al iniciar los muestreos (2ª quincena de mayo), la variedad TUC 03-12 tuvo un valor cercano al 15% de Pol% caña, mientras que LCP 85-384 y TUCCP 77-42 tuvieron valores de 13,9 y 13,6 respectivamente (Figura 2).

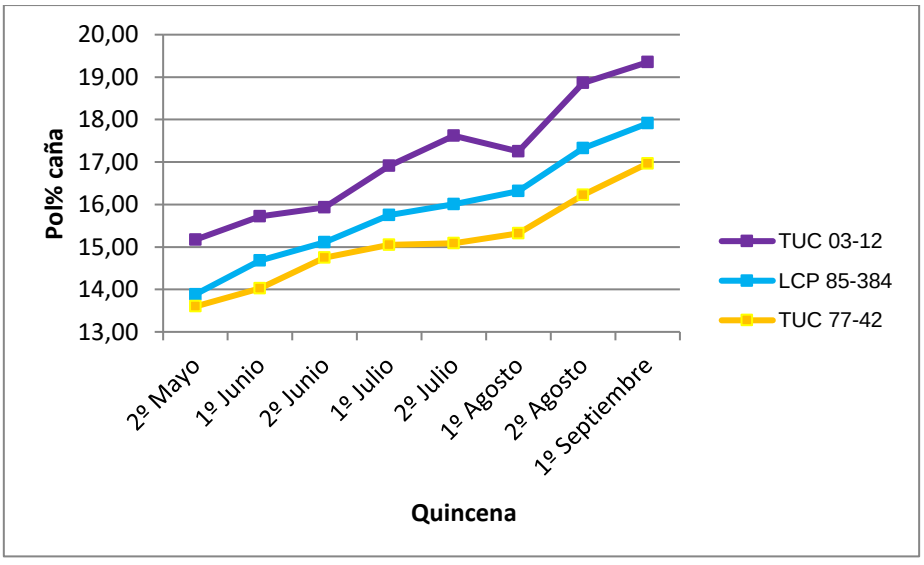


Figura 2. Valores de Pol%caña de las variedades LCP 85-384, TUCCP 77-42y TUC 03-12 durante el periodo de la zafra 2022 en la localidad de Fronterita.

La variedad TUC 03-12 alcanzó su mayor valor de Pol%caña en el final del periodo de muestreo 2022, con un aumento de aproximadamente cuatro puntos porcentuales con respecto a su valor inicial. Tanto LCP 85-384 como TUCCP 77-42 se mantuvieron por debajo de TUC 03-

12 durante todo el periodo de zafra, presentando también sus mayores valores de Pol%caña al final del periodo(Figura 2).

Con respecto a las determinacionesasociadas a componentes no azucares, los valores promedio para las variedades LCP 85-384, TUC 03-12 y TUCCP 77-42, en el periodo de zafra de 2022, se muestran en la Tabla 1. TUC 03-12 presentó un contenido de almidónestadísticamente menor a los de LCP 85-384 y TUCCP 77-42. En el caso del contenido de cenizasconductimétrica en jugo, TUC 03-12 presento un valor promedio ligeramente superior al de LCP 85-384 (sin diferencias estadísticamente significativas) y significativamente menor a TUCCP 77-42. Se destaca que, incrementos en elcontenido de cenizas y almidón pueden afectar en fabrica la recuperación de sacarosa y elproceso de cristalización, respectivamente (Rein, 2007).

El valor de color de jugo (U.I.) de TUC 03-12 no se diferenció estadísticamente del color de TUCCP 77-42. LCP 85-384 presentó un valor de color de jugo estadísticamente menor al del resto de las variedades caracterizadas. Un jugo muy coloreado puede afectar la calidad del azúcar (Godshall y Legendre, 1988; Legendre*et al*., 1999). Con respectoal contenido de fenoles, no se registraron diferencias estadísticamente significativas entre las variedades (Tabla 1).

Por último, el valor promedio del contenido de fosfatos de TUC 03-12 fue significativamente menor al de TUCCP 77-42 y similar al de LCP 85-384 (sin diferencias estadísticamente significativas) (Tabla 1). Los valores registrados en el contenido de fosfatos para las tres variedades, son superiores a los habitualmente determinados en este cultivo (valores normales entre 200 y 1000 mg/l). Esto puede deberse a factores ambientales del año u otro factor a investigar. Sin embargo, está documentado que valores inferiores de fosfatos, afectan el proceso de cristalización (Pérez Capote *et al*., 2000)

Tabla 1. Valores de componentes no azúcares (Almidón en mg/l, Cenizas en g/100g, Color en U.I, Fenoles en mg/l y Fosfatos en mg/l) de las variedades LCP 85-384, TUCCP 77-42y TUC 03-12durante el periodo demuestreo 2022 en la localidad de Santa Ana.

	Variedades		
Componentes no azúcares	**LCP 85-384**	**TUC 03-12**	**TUCCP 77-42**
Almidón (mg/l)	396,17 **B**	292,75 **C**	538,96 **A**
Cenizas (g/100g)	0,480 **B**	0,527 **B**	0,845 **A**
Color (U.I.)	10644,76 **B**	14721,74 **A**	13312,40 **A**
Fenoles (mg/l)	1844,00 **A**	1888,33 **A**	1935,38 **A**
Fosfatos (mg/l)	1148,25 **B**	1010,50 **B**	1419,84 **A**

Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas según prueba de LSD de Fisher (5%) entre variedades.

Conclusión

Los resultados obtenidos en las zafra 2021 y 2022 muestran a TUC 03-12 como una variedad destacada en la mayoría de los atributos que definen integralmente su calidad industrial. El comportamiento de este cultivar frente al frio fue similar al de LCP85-384 bajo esas condiciones experimentales específicas. Sin embargo se requiere seguir explorando su respuesta luego de la ocurrencia de una helada ya que es una característica difícil de evaluar debido a los múltiples factores ambientales que intervienen. La sobresaliente curva de maduración obtenidaen la zafra 2022 (sin ocurrencia de heladas)en relación a los testigos, confirma las evaluaciones realizadas previamente a su liberación comercial. El contenido relativamente bajo de almidón y ceniza en su jugo es deseable para su procesamiento en fábrica. Es fundamental mayores evaluaciones a futuro para confirmar estas valoraciones.

La calidad industrial que posee TUC 03-12 junto con sus cualidades agronómicas y su buen comportamiento fitosanitario, justifican la rápida difusión y adopción de esta variedad en los cañaverales tucumanos.

Referencias

AybarGuchea M.; Ostengo S.; Espinosa M.A; Medina L.P., Díaz J.V.;Chavanne E.R.;Costilla D.D.; Cuenya M.I. 2020.Relevamiento de la distribución de variedades y de otras tecnologías aplicadas en el cultivo de cañaa de azúcar en la provincia de Tucumán: campaña 2019/2020 (Parte I). Reporte Agroind. EEAOC 195: 1-11.

Cardenas G.; Diez O.; Coronel, M. 2001a. Contenido de cenizas en variedadesde caña de azúcar. Avance Agroind. 22 (2): 15-13.

Cardenas, G.; O. Diez; E. R. Chavanne. 2001b. Calidad industrial de variedadesde caña de azúcar cultivadas en la Provincia de Tucumán. Avance Agroind. 22(3) 21-23.

Chavanne E. R.; O. Diez; G. Cardenas. 2002. Contenido de fibra en tallos frescosde caña de azúcar de variedades cultivadas en Tucumán. Avance Agroind. 23(1): 34-36.

Chavanne, E. R.; M. I. Cuenya; O. Diez; M. A. Ahmed; S. Zossi; M. A. Espinosa, M. B. García; S. Ostengo; D. Costilla. 2005. Calidad industrial de variedadescomerciales de caña de azúcar en la zafra 2005 en Tucumán. AvanceAgroind. 26 (4): 13-17.

Clarke, M. A.; R. Blanco R.S.; Godshall M.A.; To B.T. 1985.Colour components in sugar refinery processes. Proc. Sugar Industry Technol. 44: 53-88.

Cuenya M.I; Chavanne E.R.; Ostengo S.; Costilla D.D.; García M.B.; Díaz Romero C.; Díaz J.V.; Espinosa M.A.; Ahmed M.A.; García J.M.; AybarGuchea M. 2015.TUC 03-12: Comoportamiento productivo y fitosanitario de TUC 03-12, una nueva variedad de caña de azúcar para la provincia de Tucumán. Gacetilla Agroind. 79:1-15.

Diez, O.; Zossi S.; Chavanne E.R.; G. Cárdenas. 2000. Calidad industrial de lascañas de azúcar de maduración temprana LCP85-384 y LCP85-376 enTucumán. Análisis de sus principales constituyentes físico-químico. RevistaIndustrial y Agrícola de Tucumán 77 (2): 39-48.

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL http://www.infostat.com.ar

Godshall M. A. 2004. Report on collaborative study of SPRI rapid starch test forraw sugar. In Proc. ICUMSA Session Interim Meeting, Atlanta.37-41.

Godshall M. A.;Legendre B.1988.Phenolic content of maturing sugar cane.International Sugar Journal 90: 16-19.

International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis (ICUMSA).2005.Method book. Bartens, Berlin, Alemania.

Legendre, B. L.; Clarke M.A.;Godshall M.A.; Grisham M.P. 1999.Developments in sugarcaneagriculture that affect processing. Zuckerindustrie 124 (2): 120-125.

Meade G. P. 1967. Manual del azúcar de caña. Montaner y Simón. Barcelona,España.

Rein P., 2007. Cane sugar engineering.Bartens, Berlin, Alemania.

Pérez Capote J. L.; Reyes Esquirol C.; Suárez H.J.; Díaz Mujica F.R. 2000. Evaluación de calidades de caña de azúcar atendiendo a la calidad de los jugos. Centro Azúcar 3: 21-25.

Sopena R.; Mariotti J.; Gracia M.B. 2001. Caña de azúcar: Diferencias en los contenidos de almidón en jugos extraídos de variedades comercialescultivadas en Tucumán. Avance Agroind. 22(4): 38-39.

Sorol N.R.; Zossi S.; Ruiz M.; Saska M. 2019. Validación y aplicación del método colorimétrico de fosfatos en jugo de caña de azúcar y sorgo sacarino. Revista Industrial y Agrigola de Tucumán 96 (1): 25-33.
Zossi B. S.; Navarro M.E; Sorol N.; Sastre M.; Ruiz R.M. 2008. Validación deuna metodología para determinar el contenido de almidón. RevistaIndustrial y Agrícola de Tucumán 85 (2): 1-7.
Zossi B. S.; Cárdenas G.; Sorol N.; Sastre M. 2010. Influencia decompuestos azúcares y no azúcares en la calidad industrial de caña de azúcaren Tucumán (R, Argentina): Parte 1: caña limpia y despuntada. RevistaIndustrial Agrícola de Tucumán 87: 15-27.
Zossi, B. S.; Cárdenas G.; Sorol N.; Sastre M. 2011. Influencia decompuestos azúcares y no azúcares en la calidad industrial de caña de azúcar en Tucumán, R. Argentina: caña verde y quemada (Parte 2). Revista Industrialy Agrícola de Tucumán, 88(1): 13-21.

ESTADO SANITARIO DEL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN TUCUMÁN DURANTE LA CAMPAÑA 2021/2022

Bertani, R.P.[1]; Joya, C. M.[2]; Funes, C.[1]; Lobo, J.A.[1]; Chaves, S.[1]; Monachesi, M.A.[2]; González, V[1].

[1]Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). Av. William Cross 3150, C.P. T4101XAC, Las Talitas, Tucumán, R. Argentina.
[2]Instituto de Tecnología Agroindustrial del Noroeste Argentino (ITANOA), Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Av. William Cross 3150, C.P. T4101XAC, Las Talitas, Tucumán, R. Argentina. E-mail: rpbertani@eeaoc.org.ar

Palabras Clave: prospección, carbón, roya marrón, RSD, SCYLV

Introducción

Uno de los principales factores limitantes de la producción en caña de azúcar son las enfermedades; las cuales requieren de una combinación de factores que deben ocurrir en un mismo período de tiempo.

Una de las enfermedades de mayor prevalencia en el área cañera de Tucumán es la roya marrón (*Puccinia melanocephala*). El patógeno causal de la misma ha incrementado su presión de inóculo en la provincia a partir de 2005, año en que el mismo sobrepasó la resistencia de LCP 85-384, variedad difundida aceleradamente en Tucumán a partir de 1999. Por otra parte, la roya naranja (*Puccinia kuehnii*) resulta una potencial amenaza para la agroindustria cañera del país; la misma fue detectada por primera vez en abril de 2015, en Misiones, Argentina (Funes *et al*., 2016). Si bien aún no ha sido identificada en Tucumán, se monitorea el área cañera de la provincia como forma de alertar su aparición.

El carbón de la caña de azúcar (*Sporisorium scitamineum*) puede representar un problema severo en algunas ocasiones (Comstock and Lentini, 1991). La prospección realizada en Tucumán durante la campaña 2020/2021 puso de manifiesto que la variedad LCP 85-384 fue afectada por esta enfermedad. Esta variedad está descripta como resistente a carbón; sin embargo, la sequía y las altas temperaturas ocurridas durante la primavera del año 2020 favorecieron una mayor incidencia, comportándose como un cultivar susceptible (Bertani *et al*., 2021).

El virus del amarillamiento de la hoja (*Sugarcane yellow leaf virus*, SCYLV) está distribuido en la provincia de Tucumán y presente en variedades comerciales (Bertani *et al*., 2019). El SCYLV se transmite a través de la propagación vegetativa de la caña de azúcar y por medio de áfidos vectores. Debido a que la enfermedad puede presentar o no síntomas visibles, se destaca la necesidad de disponer de métodos de diagnóstico precisos.

El raquitismo de las cañas socas (RSD), ocasionado por *Leifsonia xyli* subsp*. xyli*, es una de las enfermedades sistémicas de mayor relevancia en la provincia en términos económicos. En Tucumán todas las variedades comerciales son susceptibles al RSD, por lo que es imprescindible la utilización de material de propagación sano para evitar la diseminación de la bacteria causante de la enfermedad. El Laboratorio de la Sección Fitopatología de la EEAOC brinda al productor el servicio de detección de RSD en muestras de tallos de caña de azúcar.

Respecto a otras enfermedades de interés que afectan a la caña de azúcar, en Tucumán se encuentran la escaldadura de la hoja (*Xanthomonas albilineans*) y el virus del mosaico (*Sugarcane mosaic virus* y *Sorghum mosaic virus*). La prevalencia de las mismas ha disminuido notablemente con el uso de variedades resistentes y por el uso de “caña semilla” saneada. Adicionalmente, la estría roja, causada por *Acidovorax avenae* subsp. *avenae*, es una

enfermedad bacteriana que ha adquirido relevancia en los últimos años en las zonas cañeras de la Argentina. En la campaña 2021/2022 se realizó la primera prospección de estría roja en la provincia; los resultados no serán presentados en este trabajo ya que los mismos forman parte del desarrollo de una tesis doctoral.

En este trabajo se presenta el panorama sanitario de la caña de azúcar en Tucumán durante la campaña 2021/2022, información obtenida mediante prospección de lotes comerciales y el servicio de diagnóstico que ofrece el laboratorio al productor.

Materiales y métodos:

Se evaluó el estado fitosanitario de lotes comerciales de caña de azúcar en tres zonas de Tucumán: norte, centro y sur. Las variedades consideradas en la evaluación fueron: LCP 85-384, TUC 95-10, TUCCP 77-42, TUC 03-12, TUC 95-37, TUC 97-8, TUC 00-19, TUC 02-22, TUC 00-65 y TUC 06-7.

Prospección de carbón en el área cañera de Tucumán

Entre octubre y diciembre de 2021 se realizó una primera inspección de los cañaverales.. Se evaluaron 114 lotes distribuidos en 28 localidades correspondientes a nueve departamentos. En los lotes evaluados se determinó un punto de muestreo constituido por cuatro sitios de evaluación de 5 m lineales por cada hectárea evaluada. Se realizó el conteo de tallos sanos y enfermos y se calculó la incidencia de la enfermedad (porcentaje de tallos enfermos).

Prospección de roya marrón y roya naranja en el área cañera de Tucumán

Entre mayo y junio de 2022 se realizó la inspección de lotes comerciales para evaluar la severidad y prevalencia de la roya marrón y para determinar la posible aparición de la roya naranja (*P. kuehnii*). Se evaluaron 83 lotes ubicados en 16 localidades, correspondientes a nueve departamentos. En cada lote se seleccionaron 30 puntos al azar y se determinó la severidad de roya marrón mediante el uso de una escala diagramática de 1 a 9, basada en el porcentaje de área foliar afectada. Además, durante la prospección se colectaron 20 hojas +3 (hoja con la tercera lígula visible) de cada lote evaluado, para la determinación en el laboratorio de la presencia de *P. kuehnii* mediante observaciones con lupa binocular y microscopio óptico.

Prospección del SCYLV en el área cañera de Tucumán

Entre mayo y junio de 2022 se realizó la inspección de lotes comerciales distribuidos en nueve departamentos. Se colectaron alrededor de 30 hojas +1 (hoja con la primera lígula visible) de cada lote y se realizó el diagnóstico del SCYLV mediante tissue blot enzyme immunoassay-TBIA. Se evaluaron en total 87 lotes comerciales (2.611 muestras). Se calculó la prevalencia (porcentaje de lotes con SCYLV en función de la totalidad de lotes evaluados por departamento, variedad y en toda la provincia) y la incidencia (porcentaje de hojas con SCYLV en función de la totalidad de hojas colectadas por departamento, variedad y en toda la provincia).

Análisis de RSD en muestras de caña de azúcar de lotes comerciales evaluadas en el servicio de diagnóstico de la EEAOC

La Sección Fitopatología recomienda, para lotes comerciales, no utilizar como “caña semilla” aquellos lotes cuyas muestras presentan un valor de infección de RSD mayor al 5%. Entre abril y agosto de 2022 se recibieron en el laboratorio muestras de tallos provenientes de lotes comerciales para la detección de la bacteria causante del RSD. El diagnóstico se realizó empleando la técnica TBIA. En total se procesaron 707 muestras, conformadas por el tercio basal

de aproximadamente 20 tallos. Se calculó el porcentaje de incidencia (nº tallos enfermo/nº total de tallos x 100) para cada muestra. Las mismas se agruparon por rangos de incidencia de la enfermedad.

Resultados

Prospección de carbón en el área cañera de Tucumán

El carbón de la caña de azúcar afectó de manera generalizada los lotes comerciales de Tucumán; siendo la prevalencia de la enfermedad en la provincia del 72,8%. La variedad más afectada fue LCP 85-384, con una prevalencia del 91,2%.

La variedad LCP 85-384 mostró síntomas y signos de carbón en la mayoría de las zonas evaluadas, alcanzando un 58,5% de incidencia máxima en un lote de Overo Pozo, Burruyacú (Figura 1). En general, los cultivares TUC desarrollados por el Subprograma de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar (SMGCA-EEAOC) (TUC 95-10, TUC 03-12, TUC 00-19, TUC 95-37, TUC 97-8, TUC 02-22, TUC 00-65 y TUC 06-7), no mostraron síntomas en la presente prospección. La variedad TUC 03-12, recientemente liberada por la EEAOC, presentó un valor de incidencia máxima de 17,6% en Atahona, Simoca; sin embargo, no mostró síntomas de carbón en el resto de los lotes evaluados (Figura 1). Por otra parte, TUC 02-22 mostró valores de incidencia de 6,6% en un lote de Delfín Gallo, Cruz Alta, sin presentar síntomas en el resto de los lotes evaluados. En cuanto a TUC 06-7, sólo presentó síntomas de carbón en un lote evaluado en Delfín Gallo, Cruz Alta (incidencia 3,9%).

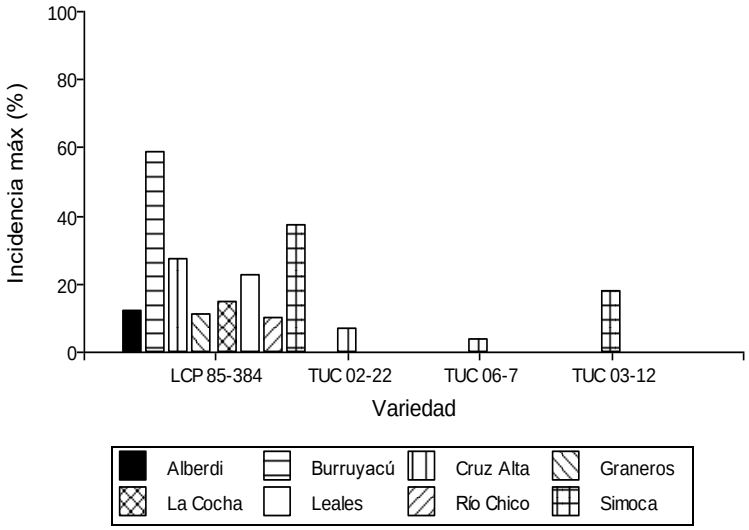


Figura 1. Valores máximos puntuales de incidencia de carbón, en variedades comerciales de caña de azúcar donde se detectó la enfermedad, en diferentes localidades de Tucumán, R. Argentina. Campaña 2021/2022. Sección Fitopatología, EEAOC.

Prospección de roya marrón y roya naranja en el área cañera de Tucumán

La prevalencia de roya marrón en la provincia fue de 78,7%; alcanzando valores de 80,0%, 82,9% y 70,8% en las zonas norte, centro y sur, respectivamente.

En general, la variedad que alcanzó los mayores valores de severidad fue LCP 85-384 (Figura 2), presentando valores de severidad máxima superiores a 7 en todos los departamentos evaluados. TUC 97-8 fue la segunda variedad más afectada por roya marrón, mostrando valores de severidad máxima de 9 en Chicligasta, Lules y Monteros (Figura 2). TUCCP 77-42 presentó valores de severidad máxima de 9 sólo en el departamento de Monteros. El resto de las variedades TUC tuvieron un comportamiento resistente a la enfermedad en todas las localidades evaluadas; con excepción de TUC 95-10 que presentó valores de severidad superiores a 5 en los departamentos de Simoca y Famaillá (Figura 2).

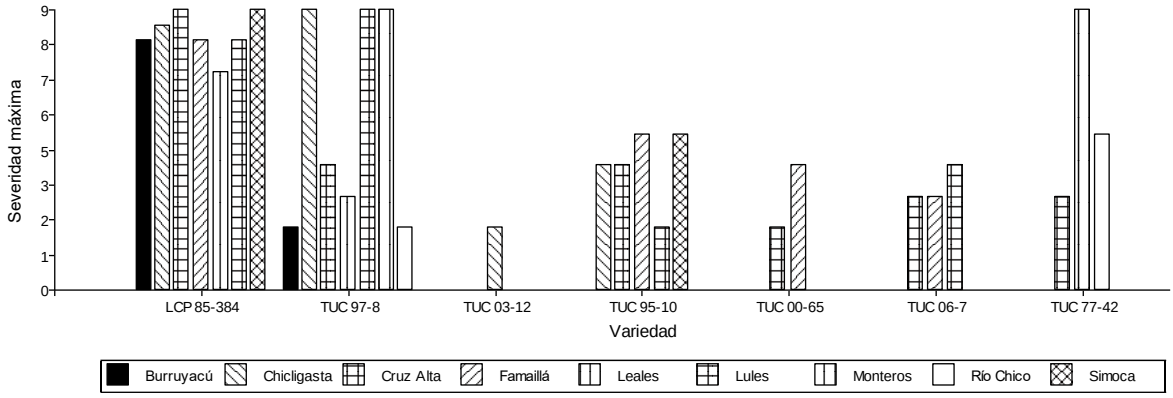


Figura 2. Valores máximos puntuales de severidad de roya marrón, en variedades comerciales de caña de azúcar donde se detectó la enfermedad, en diferentes localidades de Tucumán, R. Argentina. Campaña 2020/2021. Sección Fitopatología, EEAOC.

En general, las variedades mostraron mayor susceptibilidad en edad de caña planta comparada con las cañas socas (Figura 3).

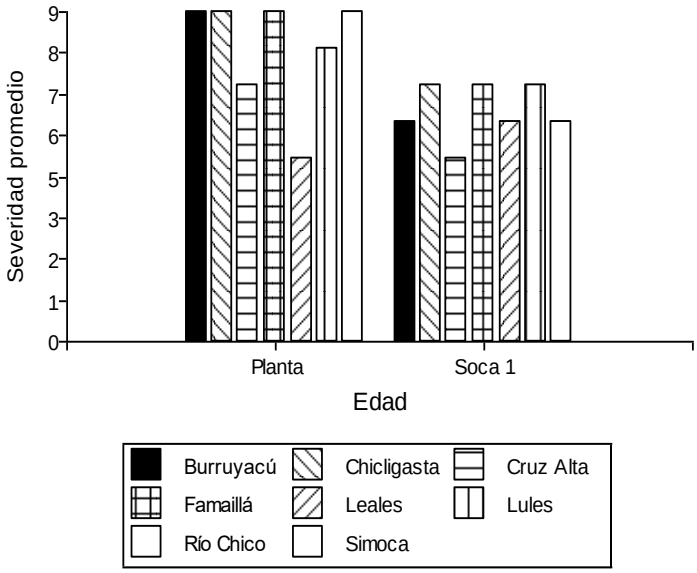


Figura 3. Valores de severidad promedio de roya marrón en caña de azúcar variedad LCP 85-384, según las edades de corte, en la campaña 2020/2021. Sección Fitopatología, EEAOC.

Respecto al análisis de la presencia de *P. kuehnii* en los lotes evaluados, ninguna muestra presentó síntomas característicos de roya naranja ni signos del patógeno.

Prospección del SCYLV en el área cañera de Tucumán

Se evaluaron en total 87 lotes comerciales (2.611 muestras), durante la campaña 2021/2022. Se confirmó la presencia del SCYLV en el 72,4% de los lotes comerciales y en el 19,6% de plantas. El departamento Cruz Alta presentó el mayor valor de incidencia (51,6%), seguido de Monteros (43,3%) y Simoca (30,0%) (Figura 4). Todos los departamentos evaluados presentaron valores de prevalencia superiores al 60,0%; con excepción de Lules y Río Chico (Figura 4).

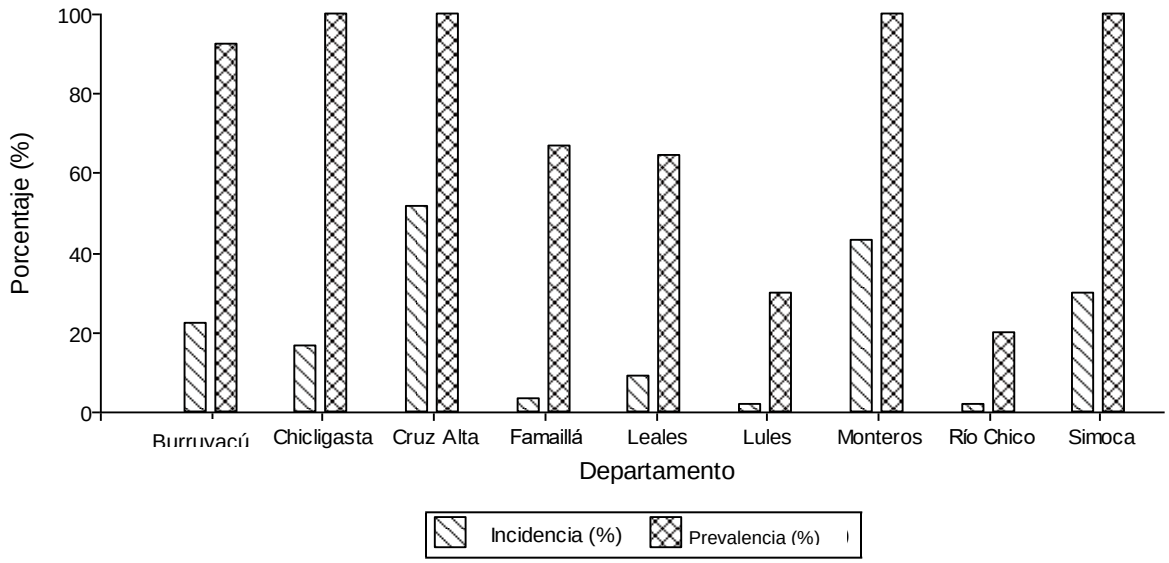


Figura 4. Incidencia y prevalencia del virus del amarillamiento en el área cañera de Tucumán, R. Argentina, durante la campaña 2021/2022.

En general, las variedades comerciales mostraron más de un 60% de lotes afectados por el virus; con excepción de TUC 06-7 (Figura 5). LCP 85-384, la principal variedad cultivada, presentó una incidencia del 23,1%. En general, todas las variedades evaluadas mostraron susceptibilidad frente al SCYLV.

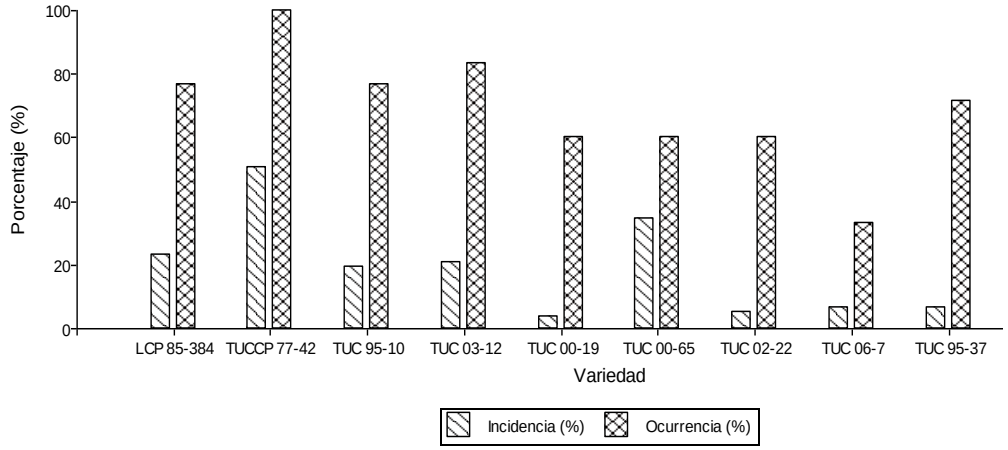


Figura 5. Incidencia y prevalencia del virus del amarillamiento de la hoja en las variedades de caña de azúcar cultivadas en el área cañera de Tucumán, R. Argentina, durante la campaña 2021/2022.

Diagnóstico de RSD en muestras de lotes comerciales

En el 72,4% de las muestras evaluadas no fue detectada la bacteria causal del RSD. Por otro lado, el 81,4% de las muestras resultó apta para ser utilizado como “caña semilla” en las nuevas plantaciones (incidencia > 5%) (Tabla 1), lo que pone de manifiesto la eficiencia del

esquema de producción y multiplicación de semilla de alta calidad implementado a través del Proyecto Vitroplantas de la EEAOC.

Tabla 1. Incidencia del raquitismo de las cañas socas de muestras procesadas en el laboratorio de la Sección Fitopatología-EEAOC durante el año 2022.

Incidencia (%)	Nº muestras	% de muestras
0	512	72,4
> 0 ≤ 5	64	9,0
> 5 ≤ 10	52	7,4
> 10	79	11,2
Total	**707**	**100**

Conclusiones

Durante la campaña 2021/2022 las enfermedades de mayor prevalencia en los cañaverales de Tucumán fueron el carbón, la roya marrón y el virus del amarillamiento de la hoja.

LCP 85-384, la principal variedad cultivada en Tucumán, mostró síntomas frente a las tres enfermedades mencionadas, lo que demuestra su susceptibilidad.

Cabe destacar que las variedades TUC liberadas por el SMGCA-EEAOC presentaron un buen comportamiento frente al carbón. Respecto a la roya marrón, la única variedad que presentó síntomas fue TUC 97-8; mientras que TUC 95-10 mostró susceptibilidad moderada sólo en Famaillá y Simoca. Finalmente, todas las variedades TUC mostraron susceptibilidad frente al SCYLV.

De la totalidad de muestras analizadas en el laboratorio para la detección de RSD, el 72,4% resultaron negativas y un 9,0% tuvo una incidencia menor al 5%; indicando que el 81,4% de las muestras serían aptas para ser utilizadas como “caña semilla”.

Citas bibliográficas

Bertani, R.P.; Funes, C.; Joya, C.M.; Gutierrez, H.; Chaves, S.; Lobo, J. A.; Velasco, O. A.; Monachesi, M.A.; González, V. 2021. Estado sanitario del cultivo de la caña de azúcar en Tucumán durante la campaña 2020/2021. Reporte Agroindustrial, 230.

Bertani, R.P.; Joya, C.M.; Henriquez, D.D.; Funes, C. and Perera, M.F. 2019. Detection of *Sugarcane yellow leaf virus* in commercial cultivars and the parental collection of the EEAOC breeding program in Tucumán, Argentina. Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists, 30: 1758–1764.

Comstock, J.C. and Lentini, R.S. 1991. Sugarcane smut. University of Florida, IFAS Extension, Doc. No. SS-AGR-208. pp. 1-3.

Funes, C; Pérez Gómez, S.G.; Henriquez, D.D.; Di Pauli, V.; Bertani, R.P.; Fontana, D.P.; Rago, A.M.; Joya, C.M.; Sopena, R.A.; González, V.; Babi, H.; Erazzu, L.E.; Cuenya, M.I. y Ploper, L.D. 2016. First Report of orange rust of sugarcane caused by *Puccinia kuehnii* in Argentina. Plant Disease 100(4): 861.

VENTAJAS DEL USO DEL MONITOREO SATELITAL EN EL MANEJO DE CAÑA DE AZÚCAR

Esp. Ing. Esteban A. Brito; Ing. Luis H. Herrera; Manuel I. Cobos.

[1] Compañía Azucarera Los Balcanes

Introducción

La Compañía azucarera Los Balcanes tiene bajo producción de manera integral 21292 ha de caña de azúcar. Las cuales se encuentra distribuídas, principalmente, en las regiones de la Llanura Chaco Pampeana (78,3 %), Llanura Deprimida (18,9 %) y Pedemonte (2,8 %). Son 276 propiedades ubicadas a lo largo de 96 km de norte a sur y 66 km de Oeste a Este, dentro de las provincias de Tucumán (94,6 %) y Santiago del Estero (5,4 %). Esta amplia distribución de fundos cañeros se encuentra entre las isohietas de los 600 y 1200 mm. Los factores descriptos anteriormente determinan la coexistencia de diferentes ambientes, fechas de cosecha, incidencias de heladas, malezas problemáticas, plagas, enfermedades, etc. Es un desafío permanente para nuestro equipo de trabajo la organización de las distintas tareas de manejo para lograr calidad y oportunidad de las tareas.

El monitoreo del estado de la evolución del cultivo de la caña de azúcar en sus diferentes fases de crecimiento es una tarea que la Compañía Azucarera Los Balcanes en su área de producción de materia prima viene realizando y perfeccionando de manera continua. Se considera que las innovaciones tecnológicas que incluyen imágenes satelitales y/o monitoreo satelital son una herramienta importante para cumplir esa tarea.

En este sentido, los primeros avances en la materia se realizaron en la plataforma Google Earth a

partir de la base de datos de la ubicación geográfica de los lotes de cada fundo cañero manejado por la empresa se construyó un archivo KML que contenía los polígonos de cada explotación. Con esta capa temática como base se construyeron mapas que incluían la información de las regiones y subregiones agroecológicas de la provincia de Tucumán y mapas con las isohietas. Esta información permitió agregar a la base de datos existente las características del ambiente donde estaba ubicado cada fundo. Además, estas imágenes fueron herramientas importantes para la toma de decisiones, tanto de manejo como gerenciales.

Otro sistema de información geográfica que se incorporó fue el programa QGIS. Mediante este, se crearon archivos vectoriales de las características de cada lote tales como: variedad, edad, etc. o de monitoreos de daños de plagas, (intensidad de daño de *Diatraea saccharalis,* por ejemplo) y se generaron mapas que permiten tener disponible la información de toda el área de influencia de la empresa de manera fácil y rápida.

Plataforma IDGEO

El objetivo del uso de herramientas remotas es maximizar la productividad y optimizar el uso de los recursos. Una rápida identificación de problemas en el cultivo durante su desarrollo permite realizar aplicar acciones de manejo que eviten pérdidas productivas. Para cumplir con este objetivo desde el año 2019, la Cía. Az. Los Balcanes utiliza la plataforma IDGeo y logró adaptarla a la forma de analizar la información de la compañía.

IDGeo es una “startup” de monitoreo remoto, que se especializa en el diagnóstico de cultivos extensivos mediante el análisis de imágenes satelitales y datos de radar.

De la plataforma IDGeo utilizamos en total seis herramientas para el monitoreo y seguimiento de la evolución del cultivo a lo largo del ciclo productivo. Estas son: Detecta Daños, Detecta Malezas, Detecta Salud, Detecta Avance de Cosecha y Plan Agro. A continuación, se detallan las características principales de cada herramienta:

Detecta Daños: Identificación de daños debidos a plagas, enfermedades, problemas operativos y otros.

Detecta Malezas: Identificación de la presencia de malezas en el período de interferencia con el desarrollo del cultivo y posibilidad de control.

Detecta Salud: Análisis contínuo de la uniformidad y calidad de la producción, predicción de las tendencias productivas de los cultivos.

Detecta Avance de Cosecha: Seguimiento de la evolución de las superficies cosechadas en fincas propias y de terceros.

Detecta Heladas: Pronóstico de riesgos (antes de la ocurrencia de heladas) y análisis de impacto (después de la ocurrencia de heladas) en pos de la planificación de la cosecha.

Plan Agro: Capacitación en el uso de herramientas SIG para agricultura de precisión y mejora de la gestión de cultivos. Reuniones semanales de planificación y capacitación.

Cada una de estas herramientas es usada o monitoreada con cierta periodicidad según el plan de trabajo estratégico. En la tabla 1 se observan los meses en que se activa cada herramienta.

Tabla 1. Plan de trabajo estratégico de IDGEO en el área de influencia de Cía Az. Los Balcanes.

Monitoreo	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sept
Detecta Malezas	■	■	■	■	■	■	■					
Detecta Daños	■	■	■	■	■	■	■					
Detecta Salud	■	■	■	■	■	■	■					
Detecta Heladas								■	■	■	■	
Detecta Cosecha	■	■						■	■	■	■	■
PLANAgro						■	■					

Detecta Malezas

Esta herramienta es monitoreada por el responsable técnico en cualquier dispositivo (computadora o celular). Los mapas proporcionados dan un diagnóstico de la presencia de

malezas y generan una alerta en el sistema. Los técnicos de campo realizan un análisis de la situación *in situ* y se decide la aplicación de una medida de control.

Figura 1. Visualización del comportamiento de malezas antes y después de la acción de control.

En la figura 1 se observa una secuencia de imágenes satelitales que muestran que en la fecha 30 de agosto de 2022 se diagnostica presencia de malezas. En la fecha 24 de septiembre se observa que el problema fue resuelto.

Por otro lado, la aplicación permite tener un historial de actividades realizadas en el cañaveral y, además, permite la comunicación entre los gerentes y el equipo de campo, la optimización del tiempo de trabajo y facilita la acción del técnico responsable en el lugar y momento correcto.

Consideraciones finales

La transformación de datos en información y la facilidad de visualización generó una importante mejora en nuestra gestión y producción, el monitoreo satelital se ha convertido en una herramienta de gran utilidad para lograr manejar de manera eficiente nuestros cañaverales.

MONITOREO SATELITAL DE LA QUEMA DE CAÑAVERALES EN TUCUMÁN, R. ARGENTINA, DURANTE LOS MESES DE JUNIO A SEPTIEMBRE DE 2022 Y COMPARACION CON LA ZAFRA 2021

Carreras Baldrés J I; Fandos C; Soria F J; Scandaliaris P y F. de Ulivarri J
Estación Experimental Agroindustrial "Obispo Colombres"
Avenida William Cross 3150, C.C. Nº 9 (T4101XAC), Las Talitas, provincia de Tucumán, Argentina
E-mail: jcarrreas83@eeaoc.org.ar

Palabras clave: Teledetección, SIG, TIG, cicatrices de quema

Introducción

La quema, como práctica asociada a la producción de caña de azúcar en la provincia de Tucumán y en los países productores a nivel mundial, se desarrolló a lo largo de décadas. Sin embargo, la concientización sobre el impacto de la misma en el ámbito socio-ambiental, ha generado importantes críticas. En el mundo, esta tendencia a la erradicación de la quema va en aumento exponencial en las últimas décadas. En nuestro país, debemos sumar a este fenómeno general, la incorporación de la Ley provincial Nº 7459, que declara que la práctica de la quema de la caña de azúcar está prohibida (Romero *et. al*, 2009).

Sumado a esto, los intereses económicos y ecológicos derivados de la utilización de los residuos con fines agronómicos y/o energéticos, favoreció el aumento de las prácticas de cosecha en verde de la caña de azúcar.

No obstante, actualmente todavía existen superficies afectadas por este fenómeno en la provincia; son quemas que se materializan principalmente en lotes con rastrojos de caña de azúcar, derivadas de acciones antrópicas accidentales o de orden voluntario. En algunas zafras cañeras, además prevalecen condiciones predisponentes a la propagación del fuego en los cañaverales; fuertes heladas sumadas a la sequedad del ambiente definen un escenario marcadamente favorable para la expansión del fenómeno en el área cañera tucumana (Fandos *et. al*, 2010).

En este contexto, es de suma importancia la evaluación espacio-temporal de estos procesos, y de esta forma poder proveer de factibles escenarios de planificación presente y futura. Aquí juegan un rol importante los sensores remotos, que permiten realizar un análisis rápido de detección y cuantificación de cambios en las coberturas terrestres. Esta herramienta, en conjunto con los Sistemas de Información Geográfica (SIG), permite realizar un minucioso seguimiento del fenómeno en estudio.

El objetivo del trabajo fue identificar y cuantificar el área cañera afectada por los procesos de quema en Tucumán, durante los meses de junio a septiembre del año 2022 y comparar los resultados con el mismo periodo de la zafra 2021.

Materiales y métodos

El área de estudio es la provincia de Tucumán, R. Argentina. El área específica es la que se enmarca en la región de pedemonte y llanura, tierras dedicadas a los principales cultivos de la provincia, incluida entre ellos la caña de azúcar (Figura 1).

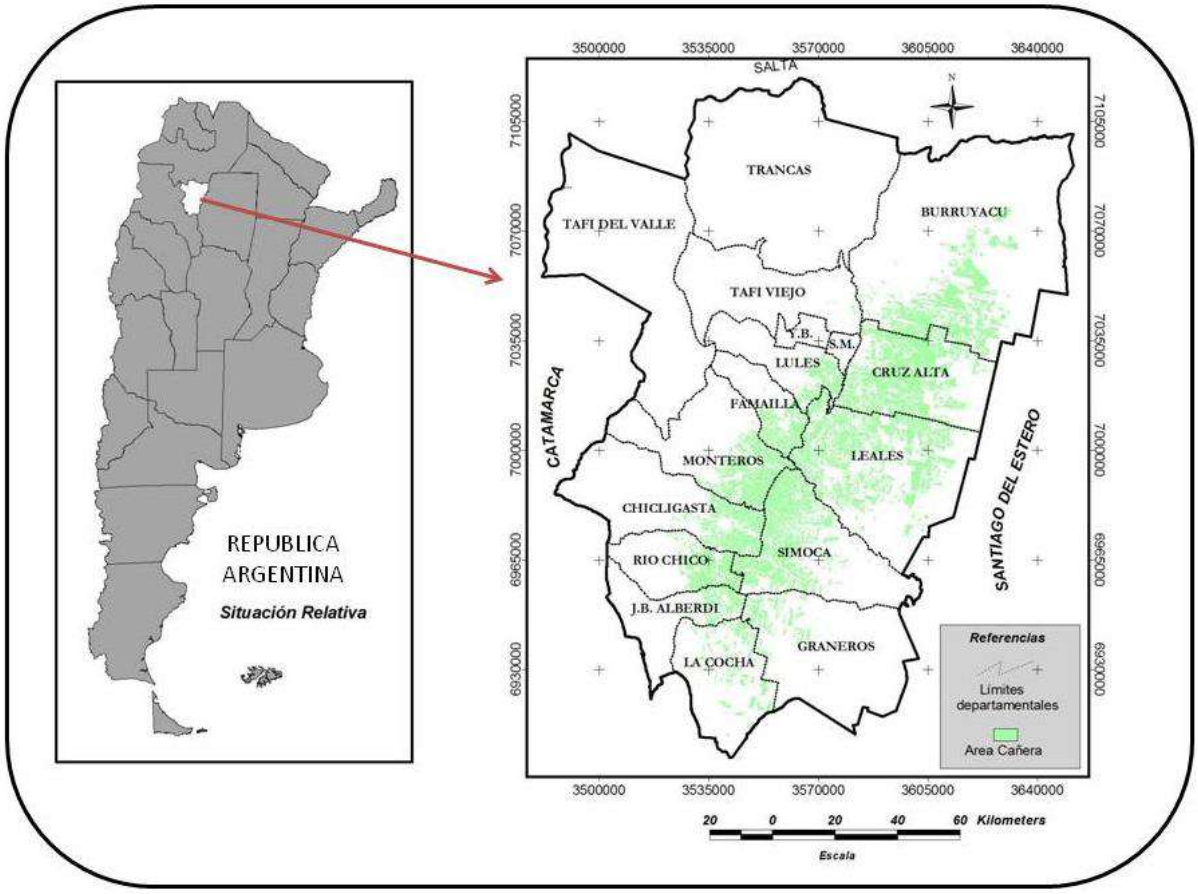


Figura 1. Área de estudio. Área cañera provincia de Tucumán.

Para la determinación del área cañera sometida a procesos de quema durante la zafra 2022 se analizaron imágenes satelitales Sentinel 2A y 2B adquiridas entre el 1 de Junio y el 30 de septiembre de 2022, las cuales fueron obtenidas del sitio https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home. Las imágenes fueron reproyectadas al sistema de referencia correspondiente a la proyección cartográfica Posgar 94, Datum WGS 84. Las imágenes corresponden al nivel 2A, que indica que se encuentran corregidas atmosféricamente.

Se aplicó una metodología de estudio multitemporal de imágenes categorizadas, en conjunto con análisis visual. En una primera instancia se enmascararon las imágenes satelitales con el fin de conservar únicamente los campos cultivados con caña de azúcar, para lo cual se utilizó la capa temática de área cañera a nivel provincial, lograda a inicios de la zafra 2022 (Fandos *et. al*, 2022). Posteriormente las imágenes restringidas al área cañera, fueron analizadas visualmente utilizando composiciones RGB: NIR, SWIR y Rojo. Dicha composición figura entre las más puntuadas para la discriminación de cubiertas vegetales (Chuvieco Salinero, 2002). Como resultado del análisis visual se generaron las áreas de interés (AOI) para luego generar las capas raster (clasificación ISODATA).

Seguidamente se generó la capa resumen con la información de área cañera quemada detallada por departamento.

Finalmente se realizó la comparación de los resultados con la información relativa a la zafra 2021 (Carreras Baldrés et al., 2021).

Por último se corroboró con la información de campo.

Además del software ERDAS Imagine, versión 8.4, se utilizó QuantumGis V. 3.16.10 Hannover para la digitalización y composición de las figuras.

Resultados

Los resultados obtenidos muestran que 69.250 ha del área cañera tucumana fueron sometidas a procesos de quema durante los meses de junio a septiembre de 2022.

La evolución del área cañera quemada por departamento, en hectáreas y en porcentaje se muestra en la Figura 2.

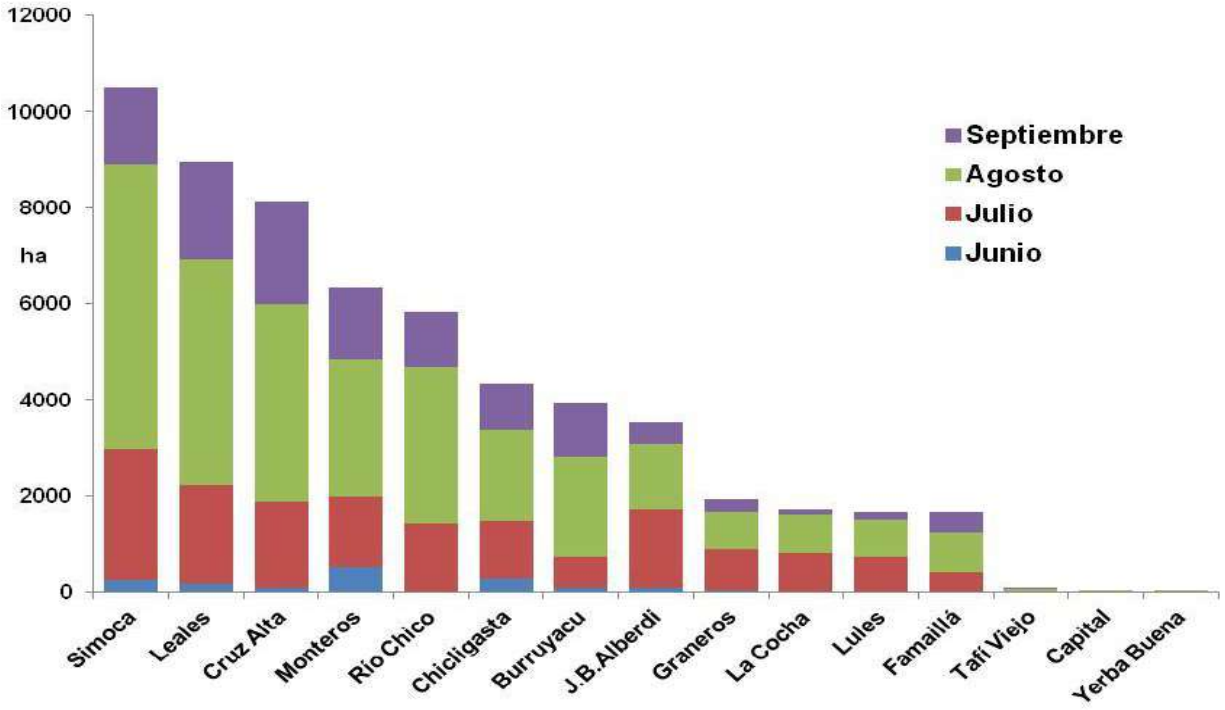


Figura 2. Área cañera quemada, por departamento, en hectáreas. Junio a septiembre de 2022. Tucumán.

El departamento con mayor superficie afectada por quema fue Simoca con 10.500 ha, seguido por los departamentos Leales (8.935 ha) y Cruz Alta (8.135 ha).

El análisis de la evolución temporal de la quema a nivel provincial revela un mayor volumen de quemas en el mes de Agosto (35.230 ha), seguido por el mes de septiembre (23.675 ha), concentrando en los dos meses el 84% de las quemas del período.

En la Figura 3 se expone la distribución espacial del área cañera quemada durante los meses de junio a septiembre de 2022. La distribución geográfica muestra que el fenómeno se extendió a lo largo y ancho de toda la superficie plantada con caña de azúcar de la provincia.

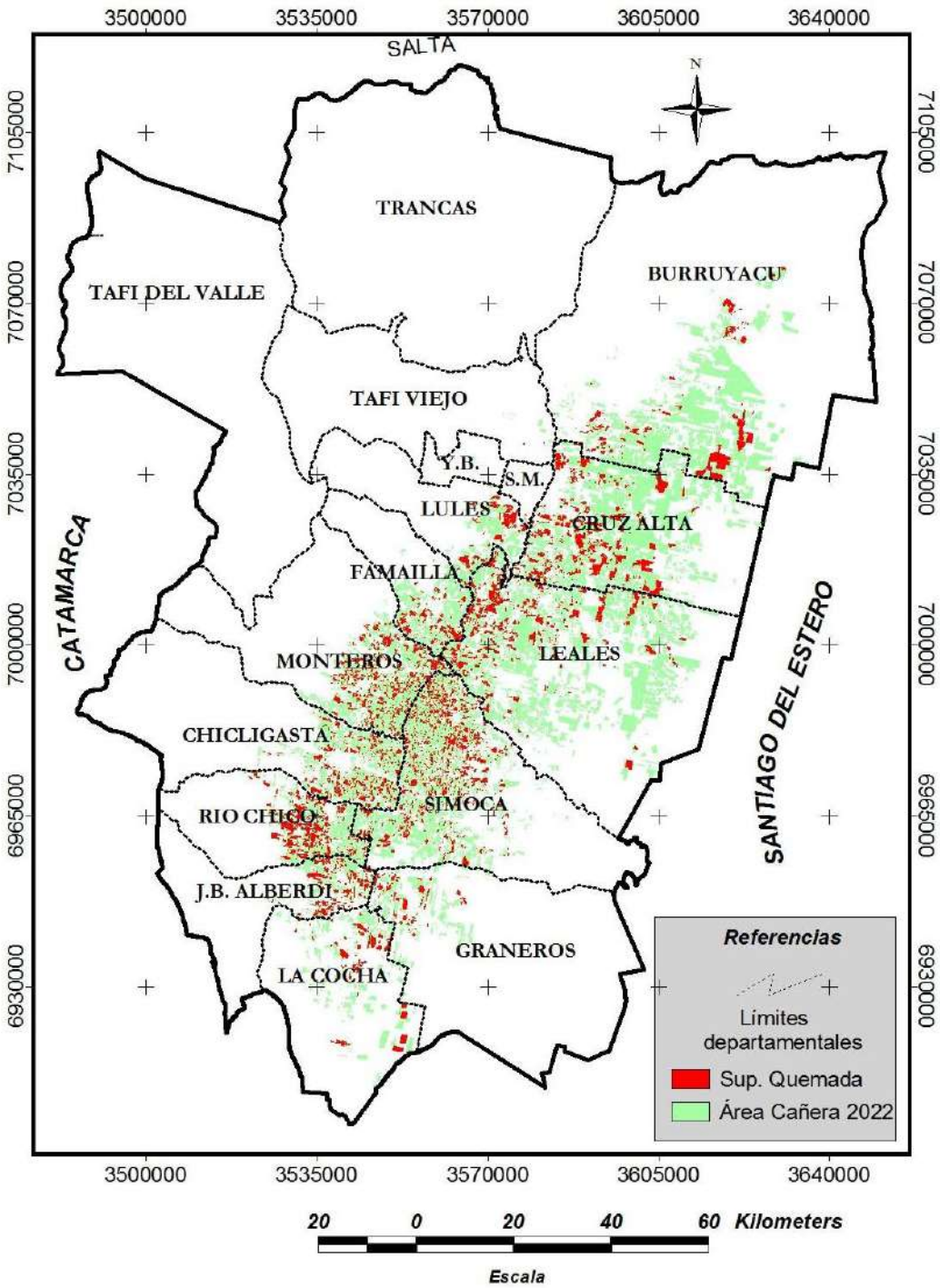


Figura 3. Distribución espacial del área cañera quemada entre los meses de junio a septiembre de 2022. Tucumán.

De la comparación del período junio-setiembre en los años 2021 y 2022 surge mayor superficie cañera quemada en 2022, con 10.600 ha más que en 2021. En la Figura 4 se observa la superficie cañera quemada en 2021 y 2022, detallada según los meses analizados.

En junio, agosto y setiembre del año 2022 la superficie quemada fue superior a la registrada en 2021. Sólo en julio, las quemas en 2021 fueron superiores, representando aproximadamente el doble de la superficie quemada en 2022.

El mes de agosto fue el de mayor acumulación de quemas en las dos zafras. En cuanto a setiembre, se destaca el pronunciado incremento en la superficie quemada en 2022, puesto que la superficie representa más del doble de la detectada en 2021.

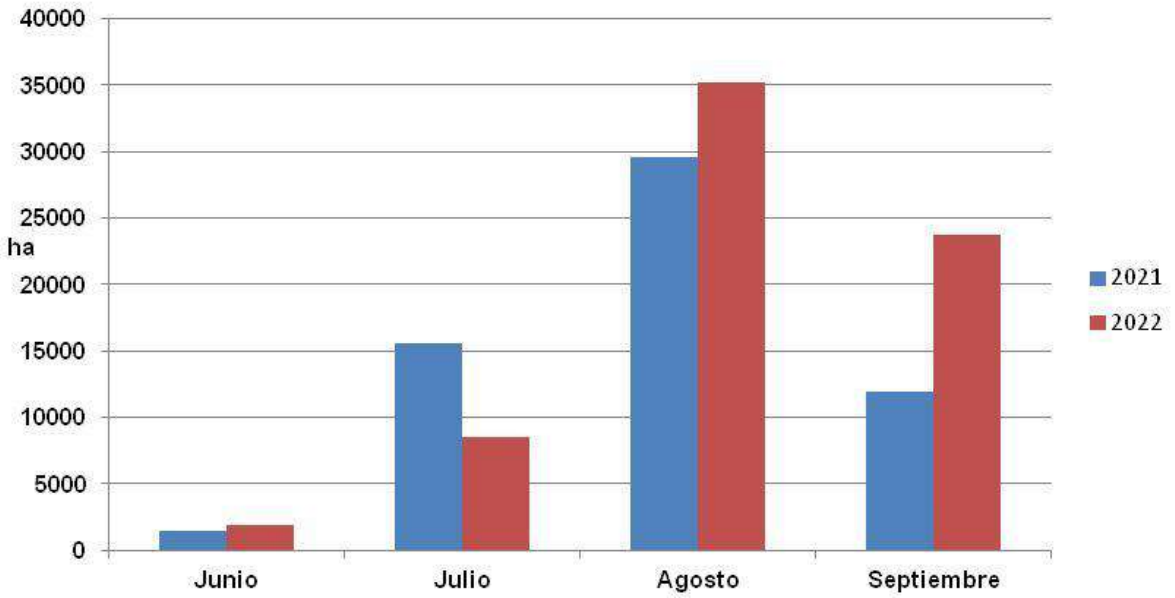


Figura 4. Área cañera quemada entre junio y setiembre, años 2021 y 2022. Tucumán.

Conclusiones

Durante los meses de junio a septiembre de 2022, 69.250 ha del área cañera tucumana fueron sometidas a procesos de quema, cifra superior a la registrada en la zafra 2021 para los mismos meses (58.620 ha).

En todos los departamentos cañeros se detectaron quemas de cañaverales tanto para 2021 como para 2022.

La distribución geográfica muestra que las quemas se extendieron a lo largo y ancho de toda la superficie plantada con caña de azúcar de la provincia.

El año 2021 tuvo mayor concentración de quemas que el 2022 en el mes de julio, mientras que el año 2022 concentró mayor superficie afectada por quemas en los meses de junio, agosto y septiembre.

En los dos años analizados, el mes de agosto concentró la mayor superficie quemada del área cañera.

Bibliografía

Carreras Baldrés, J.; Fandos C.; F. Soria y P. Scandaliaris. 2021. Relevamiento de la superficie quemada en el área productiva de la provincia de Tucumán durante la campaña 2021.

Reporte Agroindustrial 233 (EEAOC). https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=relevamiento-de-la-superficie-quemada-en-el-area-productiva-de-tucuman-durante-la-campana-2021 (consultado setiembre 2022)

Chuvieco Salinero, E. 2002. Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio". Ed. S.A. Barcelona.

Fandos C.; Soria, F.; Carreras Baldrés, J.; Scandaliaris J. y Scandaliaris P. 2010. Relevamiento del área cañera tucumana expuesta a procesos de quema durante la zafra 2009. Avance Agroind. 31 (2): 22-26.

Fandos C.; J. Scandaliaris; P. Scandaliaris; J. Carreras Baldrés y F. Soria. 2022. Área cosechable y producción de caña de azúcar y azúcar para la zafra 2022 en Tucumán. Reporte Agroindustrial 250 (EEAOC). https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=area-cosechable-y-produccion-de-cana-de-azucar-para-la-zafra-2022-en-tucuman (consultado junio 2022)

Romero E. R.; Scandaliaris, J.; Digonzelli, P. A.; Tonatto, J.; Fernández de Ulivarri, J.; Giardina, J. A.; Alonso, L.; Casen, S. y Leggio Neme, F. (2009) Capítulo 14: Cosecha de la caña de azúcar. En: Manual del cañero. Romero, E. R.; P. A. Digonzelli y J. Scandaliaris (eds.). EEAOC.

IDENTIFICACIÓN DE MARCADORES MOLECULARES LIGADOS A FUENTES DE RESISTENCIA A ROYA A MARRÓN EN CAÑA DE AZÚCAR

Chaves, S.[1]; Ostengo, S.[1]; Bertani, R.P.[1]; Peña Malavera, A.N.[1];Castagnaro, A.P.[1]; Balzarini, M.G.[2] and Racedo, J.[1]

[1]Instituto de Tecnología Agroindustrial del Noroeste Argentino (ITANOA), Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Las Talitas, Tucumán, CCT CONICET NOA sur, República Argentina, T4101XAC; schaves@eeaoc.org.ar, solichaves@hotmail.com

[2]Unidad De Fitopatología y Modelización Agrícola - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Córdoba, CCT CONICET Córdoba, República Argentina, and Estadística y Biometría. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, UFYMA (INTA-CONICET), República Argentina

Palabras claves:*P. melanocephala*, SNP, marcadores moleculares, DArTSeq.

INTRODUCCIÓN

La roya marrón, causada por el hongo *Puccinia melanocephala* H. & P. Sydow, es una enfermedad foliar que se manifiesta prácticamente en todas las regiones del mundo donde se cultiva caña de azúcar. El uso de cultivares resistentes es la principal estrategia de control debido a su eficaciay a la sustentabilidad,por lo que este carácter se convirtió en una de las prioridades para los programas de mejoramiento.Debido a que el desarrollo y la liberación de nuevos cultivares de caña de azúcar obtenidos por mejoramiento convencional es un proceso lento y laborioso, la incorporación de herramientas moleculares permitiría incrementar la eficiencia de selección mediante la implementación de marcadores moleculares ligados a características de interés.

El descubrimiento del gen mayor de resistencia a roya marrón *Bru1*, representó un punto de quiebre para los estudios genéticos y el mejoramiento de dicho cultivo.Este gen cuenta con marcadores moleculares diagnósticos que permitieron conocer la distribución de esta fuente de resistencia en diferentes bancos de germoplasma en el mundo. En Argentina, Racedo *et al.* (2013) evaluaron 319 genotipos de caña de azúcary observaron que el 15% de los mismos tuvieron un comportamiento resistente a roya marrón, perodetectaron la presencia del gen *Bru1* en sólo el 6,5% de los cultivares. Estos resultados sugirieron la presencia potencial de una fuente de resistencia alternativa a la del gen *Bru1*.

El objetivo de este trabajo fue identificar marcadores moleculares asociados a fuente/s de resistencia a roya marrón de la caña de azúcar presentes en el cultivar RA 87-3. Dicha variedad comercial local, liberada por la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) en el año 2002, se comporta como resistente a la enfermedad, aún en temporadas de alta presión de inóculo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Se obtuvo una progenie F1 de caña de azúcar a partir del cruzamiento entre los cultivares TUC 00-36 (susceptible a la roya marrón) y RA 87-3 (resistente a la roya marrón), ambos

negativos para los marcadores de diagnóstico de *Bru1* (Racedo *et al*. 2013). Las plántulas se sembraron en campo en un área de cultivo con alta presión de inóculo (27°47´41´´S, 65°67´55´´O) en septiembre de 2015. Para cada genotipo, se evaluó la reacción a la roya marrón utilizando la escala diagramática de 1 a 9 propuesta por Amorim *et al.* (1987). Las plantas se consideraron resistentes cuando presentaron valores de 1 a 3, mientras que valores superiores a 3 indicaron clones susceptibles. Siguiendo una estrategia de genotipado selectivo, se seleccionaron 60 clones con fenotipos extremos que conformaron la población de mapeoa la que se la denominó PT, de sus siglas en ingles “pooled-tails”.

Evaluación de severidad de roya marrón en campo

La severidad de roya marrón de la población PT y de ambos progenitores se determinó durante dos campañas del cultivo, caña planta (2017-2018) y soca 1(2018-2019) usando la escala de Amorim. El ensayo se realizó bajo un diseño completamente aleatorizado con dos repeticiones. La variedad LCP 85-384 (altamente susceptible) se plantó bordeando el ensayo para promover la infección natural.Los individuos de la población PT se clasificaron en resistentes o susceptibles según la severidad máxima promedio de ambas campañas. Las correlaciones de Spearman entre los puntajes máximos de severidad para ambos ciclos de cultivo se estimaron utilizando el software InfoStat (Di Rienzo *et al.* 2021).

Evaluación de severidad de roya marrón en condiciones controladas

Plantas de seis meses de edad de la población PT y ambos progenitores fueron inoculados hasta punto de goteo con una suspensión de esporas de *P. melanocephala* (1×10^5 urediniosporas/mL). Luego de 25 días de la infección se determinó la severidad en todas las hojas de cada planta empleando la escala de Amorim. A partir de los valores de severidad máximos promedios obtenidos, se clasificó a cada individuo de la población PT en resistente y susceptible.

Comparación de los datos fenotípicos

Se estimó el coeficiente de correlación de Spearman entre los valores de severidad en campo y en condiciones controladas mediante el software InfoStat (Di Rienzo *et al.* 2021).

Datos genómicos

Se genotipó a la población PT, ambos progenitores y el cultivar R570 mediante la tecnología de secuenciado masivo *DArTSeq*.

Análisis de ligamiento entre los marcadores y el carácter de resistencia

Se realizó un análisis de marca simple (SMA) mediante un análisis de la varianza (ANOVA) empleando el software R (R Core Team 2018). A continuación, se estimaron las frecuencias de presencia y ausencia de los SNPs en los grupos resistentes y susceptibles. Para estimar la contribución de cada marcador SNP asociado a la variación fenotípica observada individualmente, se realizó una regresión lineal simple. Por otro lado, para estimar la contribución de la combinación de los SNPs a la variación fenotípica total se realizó una regresión lineal múltiple en el programa InfoStat (Di Rienzo *et al.* 2021).

RESULTADOS

Evaluación de severidad de roya marrón en campo

El coeficiente de correlación de Spearman entre los valores de severidad de la enfermedad de ambas campañas fue de 0.93 ($p<0.0001$). Con excepción de cinco genotipos (genotipo 4, 9, 13, 20 y 57), los clones presentaron la misma reacción (resistente/sensible) en ambas edades. El padre resistente, RA 87-3, fue clasificado como resistente (valor de severidad de 1); mientras que el padre susceptible, TUC 00-36, mostró una reacción altamente susceptible (valores de severidad de 8 y 7 en la primera y segunda campaña respectivamente). Respecto a la población PT, 36 clones fueron clasificados como resistentes, mientras que 24 clones fueron catalogados como susceptibles.

Evaluación de severidad de roya marrón en condiciones controladas

Bajo infecciones artificiales, 35 clones fueron clasificados como resistentes y 25 clones como susceptibles. TUC 00-36 mostró una reacción susceptible, mientras que RA 87-3 fue clasificado como resistente.

Comparación de los datos fenotípicos

La correlación de Spearman entre la severidad de la enfermedad en ambas condiciones de infección fue alta, positiva y significativa, 0,79 ($p<0,0001$). Cincuenta y un clones fueron clasificados consistentemente bajo condiciones de campo e infecciones controladas, mientras que nueve clones mostraron diferentes reacciones a la enfermedad, dependiendo de la condición de infección (campo o condiciones controladas) (Figura 1). Dado que se observaron diferentes clasificaciones para nueve genotipos bajo infecciones naturales y artificiales, se llevaron a cabo análisis de ligamiento independientes para cada condición de infección.

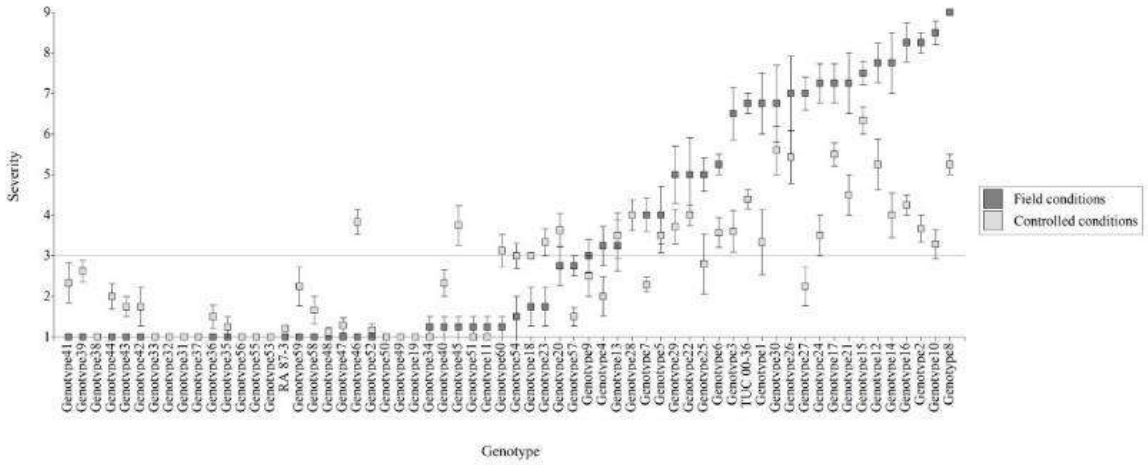


Figura 1. Valores máximos promedio de severidad a roya marrón de la población PT y sus progenitores bajo condiciones de infección natural en campo. Las barras en cada tratamiento indica el error estándar. La línea para un valor de escala de 3 indica el cambio de reacción de resistente a susceptible.

Datos genómicos y análisis de ligamiento entre los marcadores y el carácter de resistencia.

Se obtuvo un total de 23.299 SNP a partir de la tecnología DArTSeq. A partir del SMA y del análisis de frecuencias se detectaron 48 marcadores ligados significativamente al carácter de resistencia. Los análisis de regresión múltiple mostraron que la contribución (R^2) a la variación fenotípica observada para los SNP en conjunto fue de 0,69 para condiciones de campo y de 0,66

para condiciones controladas (Cuadro 1). De los 48 SNP, 34 marcadores resultaron significativos en ambas condiciones de fenotipado. Los mismos estuvieron presentes en todos los clones resistentes de la población PT y ausentes en el grupo susceptible.
De los 34 SNP, 32 marcadores no se encontraron en el cultivar R570, positivo para el gen de resistencia Bru1.

Tabla 1. Coeficiente de correlación (R^2) individuales y en conjunto para los SNP ligados a la resistencia a roya marrón en infecciones naturales a campo y en infecciones artificiales controladas.

SNP	$R^{2\,a}$	
	Infección natural	Infección artificial
SNP1 to SNP29 SNP31 to SNP35	0.61[b]	0.59[c]
SNP38 SNP41	0.62	0.53[c]
SNP45	0.54	0.42[c]
SNP30 SNP42	0.65[b]	0.54
SNP 36 SNP 48	0.58	0.56
SNP39 to SNP40 SNP43	0.54	0.49
SNP37	0.59	0.54
SNP47	0.51	0.55
SNP46	0.57	0.54
SNP44	0.50	0.49
In combination	0.69	0.66

[a] Todos losR^2fueron significativos (p=0.001).
[b] Perfiles significativos (p=0.05) en el análisis múltiple acoplado al procedimiento stepwise para la condición de infección natural a campo.
[c] Perfiles significativos (p=0.05) en el análisis múltiple acoplado al procedimiento stepwise para la condición de infecciones artificiales controladas.

DISCUSIÓN

El análisis comparativo mostró que 51 clones se clasificaron consistentemente bajo infecciones de campo y condiciones controladas, mientras que nueve clones mostraron reacciones diferentes. Esto podría deberse a la interacción genotipo × ambiente, ya que la susceptibilidad a la roya está influenciada en gran medida por factores ambientales (Daugrois *et al.* 1996). Cinco clones clasificados como resistentes en condiciones de campo fueron clasificados como susceptibles en condiciones controladas. Posiblemente, para esos clones, las condiciones de campo no eran óptimas para el progreso de la enfermedad. Además, algunos mecanismos de resistencia intrínsecos de las plantas expresados durante la infección natural podrían verse anulados o no expresarse por completo en condiciones controladas. Por otro lado, cuatro clones clasificados como susceptibles bajo infección natural en campo fueron clasificados como resistentes en inoculaciones artificiales. La variabilidad patogénica podría haber estado

sesgada ya que las infecciones artificiales se realizaron con uredosporas recolectadas solo del cultivar LCP 85-384.

Los análisis basados en SMA y frecuencias alélicas mostraron 48 SNP significativamente ligados a la resistencia a roya marrón para ambas clasificaciones fenotípicas. Posteriormente, el análisis de regresión múltiple mostró que de los SNP candidatos, 34 marcadores resultaron significativamente asociados al carácter en ambas condiciones de infección. Con excepción de los SNP18 y SNP32, el resto de los SNP se encontraron ausentes (alelo nulo/nulo) en el cultivar R570, lo que sugiere que pueden estar vinculados a una fuente de resistencia alternativa, diferente de *Bru*1.

CONCLUSIÓN

En una progenie seleccionada, se encontraron 34 SNP fuertemente asociados a una fuente de resistencia del cultivar RA 87-3 tanto en condiciones de infección natural como artificial. Estospodrían ser útiles para desarrollar el mejoramiento asistido por marcadores moleculares para una selección más precisa de clones resistentes que albergan las nuevas fuentes resistentes. Esto ampliará el espectro de cultivares que contengan diferentes alelos de resistencia en el campo con la consiguiente ampliación de la vida útil de las fuentes de resistencia.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) y por el Instituto de Tecnología Agroindustrial del Noroeste Argentino (ITANOA, CONICET-EEAOC) como parte del proyecto PICT 2016-3734 2017-2021 y PICT 2018-03321 de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT).

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Amorim, L., Bergamin Filho, A., Sanguino, A., Cardoso, C. O. N., Moraes, V. A., y C. R.Fernandes. 1987. Metodologia de avaliação da ferrugem da cana-de-açúcar (Puccinia melanocephala). Boletim Técnico Copersucar, 39, 13-16.

Daugrois, J. H.: Grivet, L.: Roques, D.: Hoarau, J. Y.; Lombard, H.; Glaszmann, J. C.M; y A. D'Hont. 1996. A putative major gene for rust resistance linked with a RFLP marker in sugarcane cultivar 'R570'. *Theoretical and applied genetics*, *92*(8), 1059-1064.

Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Robledo CW. 2021. *InfoStat versión 2020.* Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL http://www.infostat.com.ar.

Glynn, N. C.; Laborde, C.; Davidson, R. W.; Irey, M. S.; Glaz, B.; D' Hont, A. yJ. C. Comstock. 2013. Utilization of a major brown rust resistance gene in sugarcane breeding. Mol. Breed. 31: 323-331.

R Core Team. 2018. *R: A language and environment for statistical computing.* R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.

Racedo, J.; Perera, M. F.; Bertani, R.; Funes, C.; González, V.; Cuenya, M. I. yA. P. Castagnaro. 2013. *Bru1* gene and potential alternative sources of resistance to sugarcane brown rust disease. Euphytica, 191(3), 429-436.

APORTE DEL RESIDUO AGRÍCOLA DE COSECHA (RAC) DE CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA UNA AGRICULTURA SUSTENTABLE

Criado A.A; Digonzelli P.A; Leggio Neme M.F; Romero E.R; Fernández de Ullivarri J.

Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) - Av. William Cross 3150, Las Talitas (4101). Tucumán – Argentina. acriado@eeaoc.org.ar

Palabras claves: cosecha en verde; relación carbono - nitrógeno; peso seco

Introducción

Los principios de la agricultura actual se basan en la sustentabilidad lo que implica satisfacer las demandas de productos agrícolas, usando la tecnología para lograr más eficiencia y productividad conservando los recursos naturales y logrando reducir el impacto ambiental.

Actualmente, los combustibles fósiles aportan más del 80 % de la energía utilizada por la humanidad. Las crecientes demandas energéticas y las limitadas disponibilidades de estas fuentes de energía, determinan la necesidad de aplicar y ampliar los aportes de energías alternativas (Dresselhaus y Thomas, 2001).

La caña de azúcar es un cultivo productor de azúcar, etanol y bioenergía, y es cultivada en más de 100 países con climas tropicales y subtropicales.

Argentina es considerada un mediano productor en la industria sucroalcoholera y concentra su actividad en la región Noroeste (NOA) de su territorio. La actividad industrial en el NOA se desarrolla en 20 ingenios azucareros cuya producción equivalente es de 2,2 a 2,5 millones de t de azúcar, 720 millones de litros de etanol de caña y 100 MW/h por cogeneración eléctrica de biomasa (CAA, 2022).

Tucumán es el mayor productor de caña de azúcar y de azúcar del país, con una superficie de 269.400 ha y aporta más del 60 % de la producción total de azúcar nacional (CAA. 2022; Fandos *et al.,* 2022).

La cosecha mecanizada en verde se realiza en el 98 % del área cañera de la provincia (Aybar Guchea *et al.*, 2020). Este tipo de cosecha deja sobre la superficie del suelo una importante cantidad de hojas verdes, secas y despunte, lo que se denomina residuo agrícola de cosecha (RAC). Las cantidades de RAC en Tucumán pueden variar entre 7 y 18 toneladas de materia seca por hectárea (t MS/ha) (Digonzelli *et al.*, 2011). Las alternativas de manejo del RAC pueden ser: conservarlo sobre el suelo, incorporarlo en el perfil del suelo o retirarlo del campo para su aprovechamiento como fuente de energía (Sandhu *et al.,* 2013).

Diversas investigaciones consideran una práctica conservacionista, mantener el RAC de manera parcial o total sobre la superficie del suelo, debido a sus múltiples beneficios. Entre los

principales se pueden mencionar: aporte de materia orgánica al suelo, control de la erosión hídrica y eólica, conservación de la humedad edáfica, mejora de la infiltración del agua en el suelo, aumento del carbono en los suelos, reciclado de nutrientes, control de algunas malezas e insectos (Tortora *et al*., 2013; Fernández de Ullivarri *et al*., 2015; White y Webber, 2017; Sanchez Ducca *et al*., 2022).

El objetivo de este trabajo fue analizar la descomposición del RAC cuando permanece como cobertura sobre la superficie del suelo, en un ensayo realizado en la provincia de Tucumán durante seis campañas agrícolas utilizando la variedad TUC 95-10.

Materiales y métodos

El ensayo se realizó en la finca El Potrero, propiedad de la empresa Bulacio Argenti SA, que se encuentra en el departamento Simoca, región de la Llanura Deprimida Salina, Tucumán, Argentina.

Durante seis ciclos agrícolas se evaluó la descomposición del RAC dejado como cobertura sobre la superficie del suelo. Las campañas analizadas fueron: 2012/13 (después de la cosecha de la caña planta), 2013/2014 (soca 1), 2014/15 (soca 2), 2015/2016 (soca 3), 2016/17 (soca 4) y 2017/2018 (soca 5).

Todos los años, la cosecha se realizó en verde con máquina integral. El RAC se mantuvo como cobertura y la variedad evaluada fue TUC 95-10. Ésta variedad abarca el 18 % del área cañera de Tucumán (Aybar Guchea *et al*., 2020).

Se empleó un diseño experimental completamente aleatorizado con tres repeticiones. Las parcelas experimentales estuvieron formadas por cinco surcos de 10 m cada uno.

Periódicamente se tomaron al azar muestras del RAC contenido en 1 m^2 de suelo, y a partir de dos submuestras obtenidas por cada parcela se evaluaron los siguientes parámetros: a) Cantidad de RAC en peso seco (t MS/ha): las muestras se colocaron en estufa a 70-72ºC hasta peso constante, b) Relación C/N: para el carbono orgánico se utilizó el método de Walkley and Black (1933); y para el N, el método de Kjeldahl, c) Contenido de C, N, P y K en kg/ha: al inicio y fin de cada ciclo agrícola se evaluó el contenido de P y K por métodos colorimétricos y fotométricos, respectivamente.

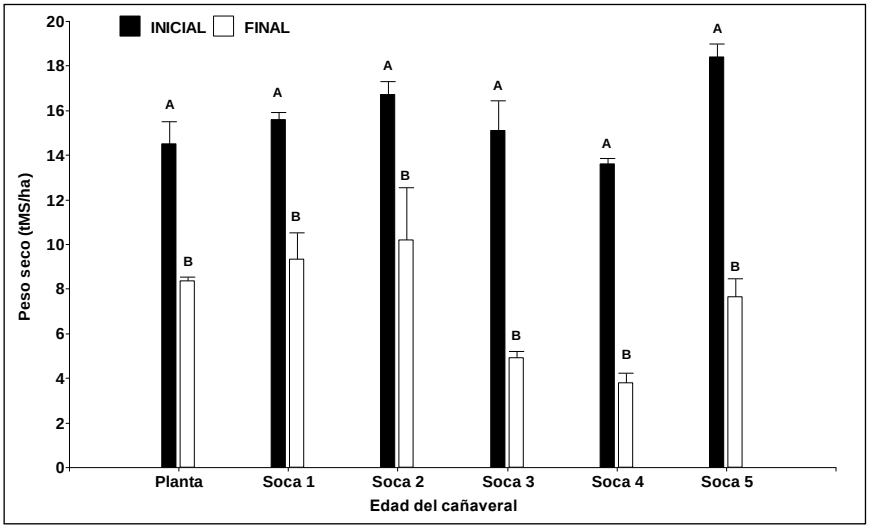
Con los datos obtenidos se determinó la cantidad de estos cuatro elementos (kg/ha) que retorno al suelo con el RAC, inmediatamente después de cada cosecha, y se calculó la cantidad que se liberó a partir del RAC al finalizar cada ciclo agrícola.

Para las variables peso seco del RAC y relación C/N se ajustaron modelos lineales mixtos alternativos. El efecto fijo fue cada variable y el efecto aleatorio la parcela. En los casos donde se observó heterogeneidad de varianza, se corrigió utilizando un modelo heterocedástico para peso

seco del RAC y relación C/N. Para las variables C, N, P y K se ajustaron modelos lineales generales. Los efectos fijos fueron cada variable y la parcela. Posteriormente, se compararon los modelos mediante la prueba de cociente de verisimilitud seleccionando el de menor AIC (criterio de akaike). Se usó la interfaz gráfica para R del paquete nlme incluida en Infostat. La comparación de medias se realizó con el test de LSD de Fisher (α = 0,05) utilizando medias marginales estimadas a partir del modelo (Di Rienzo *et al.,* 2022; Pinheiro *et al.,* 2022).

Resultados y discusión

En la figura 1 se observa la cantidad de RAC (t MS/ha) que quedó en el campo inmediatamente después de la cosecha y al finalizar cada ciclo agrícola para la variedad TUC 95-10.



Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas (p<0,05) dentro de la misma edad del cañaveral.

Figura 1. Cantidad de RAC en t MS/ha de caña de azúcar luego de cosecha (inicial) y al final de cada ciclo agrícola (final) para la variedad TUC 95-10 y los seis ciclos agrícolas estudiados. Tucumán, Argentina, 2012-2018.

La cantidad de RAC después de la cosecha (inicial) varió entre 14 y 18 t MS/ha y la final varió entre 4 y 10 t MS/ha. En todos los ciclos agrícolas evaluados se observaron diferencias estadísticamente significativas cuando se compara el contenido de RAC inicial con el final. El porcentaje de descomposición del RAC, al final de cada ciclo agrícola varió entre 39 % y 72 %.

En la tabla 1 se observa la relación C/N (R C/N) del RAC inmediatamente después de la cosecha y al final de cada ciclo. En todas las edades del cañaveral se observaron diferencias significativas entre la R C/N inicial y final. Los valores iniciales variaron entre 65 y 95; y los finales entre 23 y 41. Los porcentajes de disminución de la R C/N variaron entre 47 % y 66 %,

lo que evidencia una mineralización del RAC. Los valores antes expuestos de R C/N son considerados elevados en comparación con los reportados para una leguminosa como la arveja, que posee una R C/N de 10 y su mineralización es más rápida que una gramínea, cuya relación C/N es de 87 (Weil y Brady, 2017). Esto demuestra que el RAC es un residuo de lenta mineralización. Los valores encontrados para la relación C/N del RAC fueron similares a los que obtuvieron en Brasil, (Lisboa *et al.*, 2018); en Australia (Robertson y Thorburn, 2007a), y en Argentina (Digonzelli *et al.*, 2015).

Además, Digonzelli *et al.* (2015) y Dietrich *et al.* (2017), en Argentina y Brasil respectivamente, obtuvieron valores similares de porcentaje de disminución de la R C/N.

Tabla 1. Relación C/N después de la cosecha (inicial) y al finalizar cada ciclo agrícola (final) del RAC de caña de azúcar, en seis ciclos agrícolas y para la variedad TUC 95-10.

RC/N RAC	Planta	Soca 1	Soca 2	Soca 3	Soca 4	Soca 5
Inicial	67 a	71 a	77 a	95 a	85 a	65 a
Final	23 b	25 b	41 a	36 b	32 b	31 b
DIS %	66	65	47	62	58	52

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas (p<0,05) dentro de la misma edad del cañaveral.

RC/N RAC (relación C/N del RAC). DIS% (porcentaje de disminución).

La velocidad de descomposición del RAC, y la consiguiente liberación de nutrientes, está influenciada por la composición del RAC (contenido de celulosa, hemicelulosa, lignina y polifenoles), por la relación C/N y por el contenido inicial de N del residuo. Así, los residuos de elevado contenido de celulosa, hemicelulosa, lignina y polifenoles, alta relación C/N y menor contenido inicial de N presentan una baja tasa de descomposición. Existen, además, otros factores de gran importancia en el proceso de descomposición tales como la temperatura, el contenido hídrico, el grado de contacto residuo-suelo y la actividad microbiológica, entre los más importantes (Robertson y Thorburn, 2007a; Dietrich *et al.*, 2017).

En la tabla 2 se presenta las cantidades de C, N, P y K en el RAC expresadas en kg/ha iniciales, finales y liberadas al agroecosistema (LBA) para la variedad TUC 95-10 y los seis ciclos agrícolas estudiados.

Tabla 2. Cantidad de C, N, P y K en el RAC (kg/ha), inmediatamente después de la cosecha (inicial) y al finalizar el ciclo agrícola (final), para la variedad TUC 95-10 y los seis ciclos agrícolas estudiados.

CRAC (kg/ha)	Planta	Soca 1	Soca 2	Soca 3	Soca 4	Soca 5
C						
Inicial	7195 a	6533 a	8608 a	7582 a	6592 a	8909 a
Final	2020 b	2065 b	2630 b	1520 b	1246 b	2013 b
LBA	5175	4468	5978	6062	5346	6896
N						
Inicial	108 a	92 a	112 a	81 a	78 a	136 a
Final	85 a	80 a	62 a	41 a	36 a	64 a
LBA	22	12	50	40	42	72
P						
Inicial	9 a	7 a	8 a	5 a	5 a	10 a
Final	5 a	5 b	6 a	3 a	3 a	5 a
LBA	4	2	2	2	2	5
K						
Inicial	116 a	112 a	141 a	54 a	39 a	67 a
Final	9 b	8 b	8 b	4 b	4 b	6 b
LBA	107	103	133	50	35	61

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p<0,05$) dentro de la misma edad del cañaveral.

CRAC (contenido en el RAC en kg/ha). LBA (liberación al agroecosistema)

Como se observa en la tabla 2, con el RAC se aportaron al agroecosistema importantes cantidades de los cuatro elementos evaluados. Entre 4,5 y 6,9 t de C/ha; entre 12 y 72 kg de N/ha; entre 2 a 5 kg de P/ha y entre 35 y 133 kg de K/ha.

El C es el elemento que se encuentra en mayor cantidad en el RAC y por lo tanto es el elemento que se liberó en mayor cantidad. En todos los ciclos, los valores iniciales de C fueron significativamente mayores que los finales.

Para el caso del N, P y K, en todos los ciclos hubo diferencias entre los valores iniciales y finales, siendo en todos los casos los iniciales mayores a los finales, pero no para todos los casos con diferencias estadísticamente significativas. En Argentina, Digonzelli *et al.*, 2011 y 2015, en diferentes ensayos en la provincia de Tucumán, encontraron valores de liberación al agroecosistema de entre 3,3 y 5,7 t de C/ha; entre 7 y 50 kg de N/ha; entre 52,7 y 91 kg de K/ha y para el caso del P, entre 2,9 y 4,3 kg/ha, estos valores son similares a los obtenidos en este trabajo.

Conclusiones

Luego de la cosecha en verde de la caña de azúcar quedan sobre la superficie del suelo importantes cantidades de RAC el cual tiene una relación C/N elevada, lo que indica que es un residuo de lenta mineralizacion. Sin embargo, se observó que al final de todos los ciclos agrícolas, el RAC sufrió una significativa descomposición. En este proceso de descomposición del RAC retornan al agroecosistema cantidades variables de C, N, P y K.

Los nutrientes que el RAC puede aportar al agroecosistema, podrían en el mediano plazo modificar su disponibilidad para el cañaveral y por lo tanto influir en el manejo de la fertilización.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la sección Suelos y Nutrición Vegetal de la EEAOC y al Jefe de Laboratorio de esta, Lic. Hugo Rojas Quinteros, por el análisis del RAC; y a la empresa Bulacio Argenti SA y al gerente de esta firma, Sr. Santiago Moyano, por la colaboración prestada para la ejecución y mantenimiento de este ensayo.

Bibliografía

- Aybar Guchea M.; Ostengo S.; Espinosa M. A.; Díaz J.V.; Chavanne E.R.; Costilla D.D. 2020. Relevamiento de la distribución de variedades y de otras tecnologías aplicadas al cultivo de la caña de azúcar en la provincia de Tucumán: campaña 2019/2020. Reporte Agroindustrial. Vol (195):1-13. Disponible en: https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=ra-195-relevamiento-de-la-distribucion-de-variedades-y-de-otras-tecnologias-aplicadas-en-el-cultivo-de-cana-de-azucar-en-la-provincia-de-tucuman-campana-2019-2020-parte-i. Consulta: Octubre 2022.

- Centro Azucarero Argentino, 2022 [En línea] Disponible en: https://centroazucarero.com.ar/produccion/ (consultado octubre 2022).

- Di Rienzo J.A.; Casanoves F.; Balzarini M.G; Gonzalez L; Tablada M; Robledo C.W. Versión. 2022. InfoStat [Internet]. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. [En línea] Disponible en: http://www.infostat.com.arusando Consultado mayo 2022

- Digonzelli, P. A.; Romero E. R.; Alonso L.; Fernández de Ullivarri J.; Rojas Quinteros H.; Scandaliaris J.; Fajre S. 2011. Assessing a sustainable sugarcane production system in Tucuman, Argentina. Part 1: Dynamics of sugarcane harvest residue (trash) decomposition. Rev. Ind. y Agric. De Tucuman (RIAT) 88 (1): 1-12.

- Digonzelli, P. A; Fernández de Ullivarri J; Medina M. M; Tortora L; Romero E. R; Rojas Quinteros H. 2015. Dynamics of sugarcane harvest residue decomposition. Rev. Industrial y Agricola de Tucuman (RIAT) 92 (1): 39-49.

- Dietrich, G.; Sauvadet M.; Recous S.; Redin M.; Pfeifer I. C.; Garlet C. M.; Bazzo H.; Giacomini S. J. 2017. Sugarcane mulch C and N dynamics during decomposition under different rates of trash removal. Agric, Ecosystems an Environment. 243:123-131.

- Dresselhaus M.; Thomas I. 2001. Alternative energy technologies. Nature 414: 332-337.

- Fandos C.; Scandaliaris J.; Scandaliaris P.; Carreras Baldrés, J.I.; Soria F. 2022. Área cosechable y producción de caña de azúcar para la zafra 2022 en Tucumán. Rep. Ag. Nº 250. p: 1-13.

- Fernández de Ullivarri, J.; Digonzelli P. A.; Medina M.; Criado A.; Romero E. R. 2015. Evaluación del efecto de diferentes sistemas de producción de cana de azúcar en el contenido de humedad del suelo, la población de tallos y la producción de cana en Tucumán-Argentina. Resúmenes X Congreso de la Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar.

- Lisboa, I. P.; Cherubin M. R.; Lima R.P.; Cerri C. C.; Satiro L. S.; Wienhold B. J.; Schmer M. R.; Jin V. L.; Cerri C. E. P. 2017. Sugarcane straw removal effects on plant growth and stalk yield. Industrial Crops and Products. Journal homepage. [En línea] Disponible en https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.11.049 (consultado octubre 2022).

- Pinheiro J.; Bates D.; DebRoy S; Sarkar D. Core Team [Internet] nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package. 2022. [En línea] Disponible en: http://CRAN.R-project.org/package=nlme. Consulta: mayo 2022.

- Robertson, F. A.; Thorburn P. J. 2007a. Decomposition of sugarcane harvest residue in

different climatic zones. Australian Journal of Soil Research 45: 1–11.

- Sandhu, H. S.; Gilbert R. A.; Kingston G; Subiros J. F.; Morgan K., Rice R. W.; Baucum L.; Shine J. M; Davis L. 2013. Effect of sugarcane harvest residue on nutrient recycling and cane yield. XVIII International Society of Sugar Cane Technologists Congress. 24-27 de junio. San Pablo, Brasil, pp. 1-3.

- Sánchez Ducca A.; Fernández de Ullivarri J.; Vargas P. D.; Sabaté S.; Barcelló M. F.; Romero E. R., Criado A.; Digonzelli P. A. 2022. Efecto del residuo agrícola de cosecha (RAC) sobre distintas poblaciones de malezas y su impacto en el rendimiento cultural del cultivo de caña de azúcar en Tucumán, Argentina. Presentado en el congreso TECNICAÑA – Colombia 2022.

- Tortora, M. L.; Vera L.; Grellet Naval N.; Fernandez de Ullivarri J.; Digonzelli P. A.; Romero E. R. 2013. Efecto de la cobertura con residuo agrícola de cosecha sobre el desarrollo de microorganismos de importancia agronómica y ambiental. Avance Agroindustrial 34 (4).

- Walkey, A.; Black I. A. 1933. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37 (1): 29-38.

White Jr. P. M; Webber C. L. 2017. Green-Cane harvested sugarcane crop residue decomposition as a function of temperature, soil moisture, and particle size. Sugar tech. [En línea]. Disponible en https:// doi.org/10.1007/s12355-017-0579-6. (Consultado octubre 2022).

- Weil, R. R.; Brady N. C. 2017. The Nature and Properties of Soils. Published by Pearson Education, fifteenth edition.

EVALUACIÓN DE LA PLANTACIÓN MECANIZADA DE CAÑA DE AZÚCAR CON DOS DENSIDADES DE PLANTACIÓN EN TUCUMAN – ARGENTINA.

Duarte, D.; Giardina, J.A; Fajre, S.; Medina, M.; Digonzelli, P.A.; Romero, E.R.
Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres. Av. W. Cross 3150. Las Talitas, Tucumán, Argentina (4101).
dduarte@eeaoc.org.ar

Palabras claves: yemas viables, plantadora mecánica, modo.

Introducción

En Tucumán, tradicionalmente, las plantaciones comerciales se realizan en forma manual distinguiéndose tres épocas: verano, otoño-invierno y primavera, siendo otoño–invierno la época en la cual se realizan la mayoría de ellas. El diseño de plantación más utilizado es en surcos de base ancha (0,40-0,60 m en la base de surco), distanciados a 1,60 m entre surcos y con una profundidad de surcado de 10 – 20 cm.

El número de yemas plantadas por metro lineal de surco (densidad), para la época otoño-invierno, es de 25 yemas por metro (y/m), lo que corresponde a una plantación con tres a cuatro cañas cruzadas. Esto representa una cantidad excesiva de semilla, aumentando los costos de plantación (Digonzelli *et al*., 2009).

Durante los últimos años en Tucumán se comenzaron a utilizar plantadoras mecánicas de caña troceada. Para la campaña 2019/2020 la estimación de la superficie plantada con este sistema fue del 28,4% (Aybar Guchea *et. al*., 2020).

La máquina plantadora realiza todas las operaciones en una sola pasada: apertura de surcos, distribución de la caña semilla troceada, aplicación de productos sólidos y/o líquidos y tapado de la caña semilla. Junto a la plantadora mecánica trabajan, en secuencia, la máquina cosechadora integral (corta y trocea la semilla) y carros autovuelcos que proveen de la caña semilla a la tolva de la plantadora conformando este conjunto un Sistema de Plantación Mecanizada (SPM).

En Brasil, Ripoli *et al.* (2006) determinaron para una plantación mecanizada la cantidad de yemas viables, yemas dañadas y yemas totales por metro de surco, y el peso de la caña semilla utilizada por hectárea. También en Brasil, Stolf *et al.* (1985) caracterizaron la calidad de plantación de acuerdo a los porcentajes de fallas evaluados. Una mayor densidad de yemas en la plantación mecanizada no resulta, necesariamente, en una disminución de fallas y consecuentemente, no mejora la producción agrícola (Janini, 2007).

El objetivo de este trabajo fue evaluar en un SPM con alta y baja densidad de plantación, el número de yemas viables por metro (yv/m), el consumo de caña semilla, la emergencia de brotes, las fallas y la estimación de producción (t/ha).

Materiales y métodos

Las evaluaciones se llevaron a cabo en la localidad de Taco Palta, departamento Burruyacú, Tucumán, Argentina. La plantación se realizó el 3 de septiembre de 2018, y la variedad utilizada fue LCP 85-384.

El ensayo se realizó en lotes comerciales utilizando un diseño en parcelas pareadas, con cinco réplicas. Cada parcela experimental fue de 480 m² y los tratamientos comparados fueron:

1) el SPM con alta densidad de plantación (38 - 40 yemas/m) y 2) el SPM con baja densidad de plantación (28 - 30 yemas/m).

Se evaluó en cada densidad de plantación el consumo de caña semilla, la emergencia de brotes, las fallas y se estimó la producción, para ello se establecieron, en cada parcela, una estación de muestreo conformada por 5 metros corridos de surco y las mediciones se realizaron en cada metro sucesivo.

Para cada densidad de plantación se determinó el número de yemas viables, las dañadas mecánicamente y las afectadas por plagas.

Para el consumo de caña semilla se pesó el total de la caña depositada en los dos surcos centrales de cada parcela. Con ese valor se estimaron las toneladas de caña semilla utilizadas por hectárea.

El porcentaje de emergencia se determinó en función del total de yemas viables plantadas por tratamiento y se contabilizaron los brotes emergidos. Esta evaluación se realizó semanalmente hasta la estabilización o fin de la emergencia. El bajado del bordo se realizó 57 días después de la plantación para ambos tratamientos.

Con el cañaveral ya establecido, se evaluaron las fallas en cada tratamiento según el índice de fallas o método de Stolf, sumando las longitudes de los espacios de surco sin brotes, iguales o superiores a 50 cm (considerando fallas a los espacios vacíos de surco sin plantas de caña). Con esta información (metros de surco sin caña) se calcularon los siguientes indicadores.

F%: porcentaje de fallas (metros de fallas en 100 m de surco).

TM: tamaño medio de fallas (centímetros).

Frecuencia: representa cada cuantos metros de surco lineal, se encuentra una falla.

Para la estimación de producción, en cada una de las parcelas de los diferentes tratamientos se determinó el número de tallos/metro y el peso de 10 tallos sucesivos (pelados y despuntados en el punto de fragilidad natural) con estos valores se estimó el rendimiento cultural (t de caña/ha). Para el cálculo del rendimiento cultural se consideraron 60 surcos por hectárea.

Para el análisis del consumo de caña semilla, el porcentaje de emergencia y la estimación de producción, se realizó la prueba “t” de Students de comparación de medias.

Resultados

En el SPM con alta densidad, se contabilizó un promedio de 45 yv/m, teniendo un porcentaje de yemas con daños mecánicos del 26,1% (16 yemas) y 0,65% (0,4 yemas) para daños por plagas, respectivamente (Figura 1).

Como en este SPM, la cantidad de yemas distribuidas por la plantadora en cada metro de surco no es uniforme, se decidió utilizar el **Modo** (valor más frecuente) y los valores extremos como representativos de la población, ya que tomar el valor promedio de yemas por metro como guía de la distribución general, presentaba limitaciones. Los resultados muestran una variación entre 29 y 64 yv/m y un modo de 53 yv/m. Los valores extremos de yemas que presentaron daños mecánicos fueron de 6 y 32 y/m y el modo de 12 y/m. Para el daño por plagas se registró como valor máximo 3 y/m y 0 y/m los valores mínimos y del modo respectivamente.

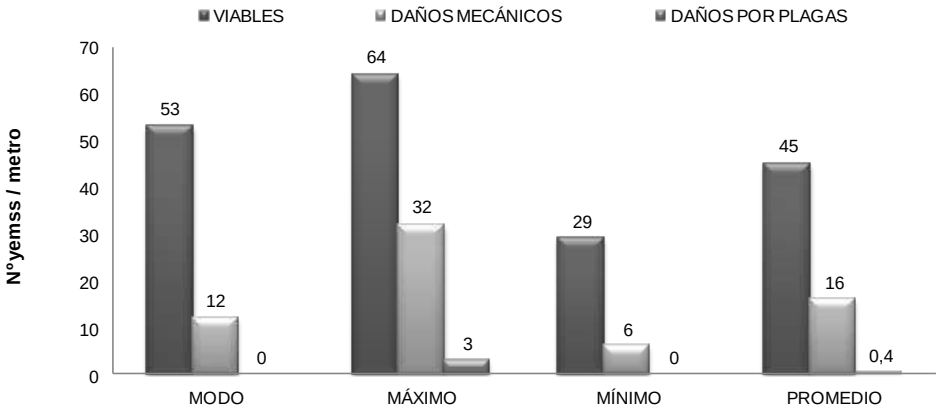


Figura 1. Determinación del Modo, Máximo, Mínimo y Promedio de yemas viables y dañadas distribuidas por metro en el Sistema de Plantación Mecanizada con alta densidad.

En el SPM con baja densidad (Figura 2), se determinó el mismo comportamiento en la distribución de yemas por la máquina plantadora, sin lograr que fuese uniforme. La densidad varió entre 15 y 41 yv/m, con un Modo de 22 yv/m. En el caso de yemas dañadas mecánicamente los valores extremos estuvieron entre 5 y 18 y/m y el modo fue de 9 y/m. Para el caso de las yemas dañadas por plagas el valor máximo fue de 1 y/m. Los valores promedios encontrados fueron de 24 yv/m y el nivel de daño mecánico en promedio fue de 29,3% (10 yemas) y el de daño por plagas de 0,3% (0,1 yemas). Similares niveles de daños mecánicos fueron reportados por Ripoli *et.al.* (2006).

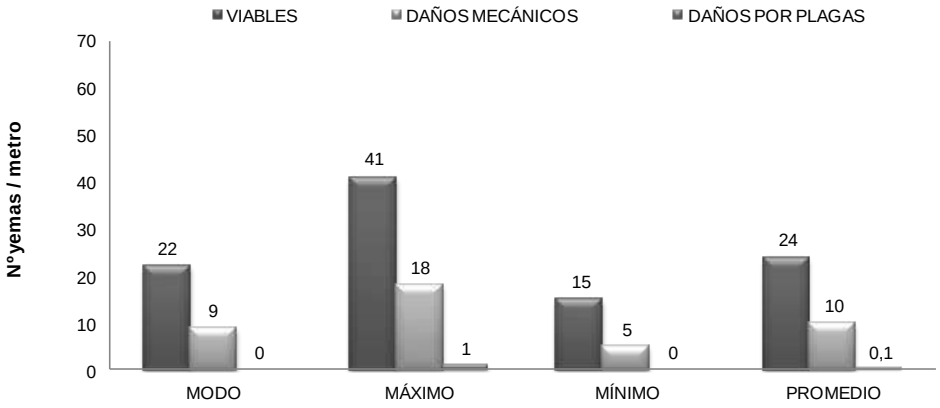


Figura 2. Determinación del Modo, Máximo, Mínimo en yemas viables y distribuidas por metro en el Sistema de Plantación Mecanizada con baja densidad.

El consumo promedio de caña semilla en el SPM con alta densidad fue 13,6 t/ha y con baja densidad, fue de 6 t/ha. Comparando ambos, el SPM trabajando con alta densidad, utilizó más del doble de caña semilla por unidad de superficie, siendo esta diferencia estadísticamente significativa. El aumento de la cantidad de caña semilla incrementa el costo de plantación *(Digonzelli et al*., 2009).

Los porcentajes de emergencias se determinaron a los 21 días después del bajado del bordo. En la figura 3, se observa que los porcentajes de emergencia fueron del 19% y 41% para alta y baja densidad, respectivamente. La diferencia entre estos porcentajes de emergencia resultó estadísticamente significativa.

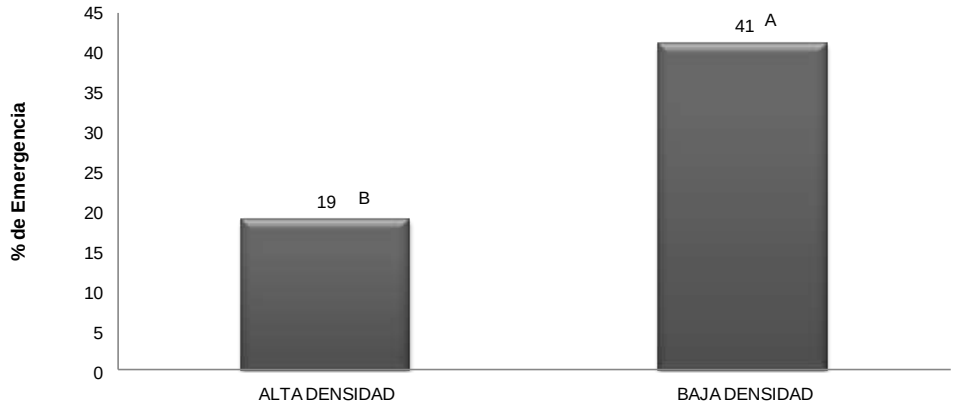


Figura 3. Porcentaje de emergencia en el SPM con alta y baja densidad de plantación.

En la Tabla 1 se puede observar que los porcentajes de fallas fueron del 5,9% y 1,9% en el SPM con alta y baja densidad, respectivamente. Estos porcentajes de fallas se encuentran dentro del rango de una excelente calidad de plantación según *Stolf et al. 1985*.

Tabla 1: Porcentaje de fallas, número de fallas, frecuencia de fallas y tamaño medio de fallas para cada tratamiento.

SPM	F % (Porcentaje de fallas)	Nº DE FALLAS	FRECUENCIA (m de surco)	TM (Tamaño medio de fallas en cm)
Alta densidad	5,9	12	9,4	59
Baja densidad	1,9	4	29,4	57

Las estimaciones de producción demostraron que, entre las dos densidades de plantación evaluadas no se registraron diferencias estadísticamente significativas. Aunque, se observó una producción algo mayor (5,4 t/ha) con la menor densidad de plantación evaluada (Figura 4). Estos valores concuerdan con los reportados Janini (2006).

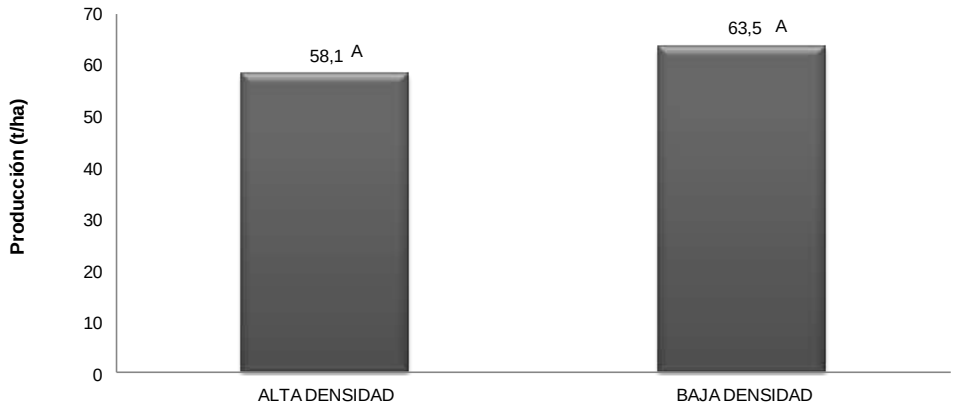


Figura 4. Estimación de producción de Sistema de Plantación Mecanizada con alta y baja densidad de yemas.

En ambas densidades de plantación se alcanzaron similares producciones de caña por hectárea, por lo que, utilizando una baja densidad se logró una buena emergencia de tallos y un menor porcentaje de fallas.

A pesar del bajo porcentaje de emergencia en el SPM con alta densidad no se observaron fallas significativas en la plantación lo cual probablemente se debe al alto número inicial de yemas plantadas que permitió salvar las deficiencias en la emergencia. Sin embargo, esto significa un desperdicio de recursos injustificado.

Una plantación mecanizada con baja densidad permite utilizar más eficientemente la caña semilla y disminuir los costos de plantación.

Conclusiones

El SPM es una tecnología que avanza pero requiere de ajustes constantes en todas sus etapas.

El porcentaje de yemas que presentaron daños mecánicos estuvo entre 26% y 29%.

El SPM con alta densidad de plantación requirió más del doble en cantidad de caña semilla que el con baja densidad.

El porcentaje de emergencia fue mayor en el SPM con baja densidad.

Los niveles de fallas en los SPM con ambas densidades fueron bajos, aunque el porcentaje de fallas fue mayor en el SPM con alta densidad.

El rendimiento cultural fue similar en ambos SPM.

El SPM con alta densidad representó un mayor consumo de caña semilla que no se expresó ni en mejores porcentajes de emergencia, menores fallas o mayor producción cultural.

Citas bibliográficas

Digonzelli P.; Giardina J.; Casen S.; *et al*. 2009. Plantación de la caña de azúcar. En: Romero, E. R., P. A. Digonzelli y J. Scandaliaris (Eds), Manual del Cañero, EEAOC, 2009. Las Talitas, R. Argentina, pp. 65-76.

Aybar Guchea M.; Ostengo S.; Espinoza M.; *et al.* 2020 Relevamiento de la distribución de variedades y de otras tecnologías aplicadas en el cultivo de caña de azúcar en la provincia de Tucumán: campaña 2019/2020. Reporte Agroindustrial N 195. Jul 2020. ISSN 2346-9102.

Ripoli TCC, Ripoli MLC, Casagrandi DV (2006). Plantio de Cana de Açúcar: estado dá arte. Piracicaba.

Stolf R.; Iaia, MA. Índice de falha o segundo método de Stolf; correlacao com a produtividade em cana planta. Araras, IAA/PLANALSUCAR. COSUL 1985, 9p.

Janini Daniel Alexandre. Análise operacional e económica do sistema de plantio mecanizado de cana de açúcar (Saccharum spp.). Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Máquinas Agrícolas. 148 p. Piracicaba 2007.

RNAi CONFIERE RESISTENCIA AL VIRUS DEL MOSAICO DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN EL CAMPO.

EasdaleCI [1];Del Vas M[2]; Gómez M[3]; Serino G[4]
[1] *Ledesma SAAI. Salta s/n. Libertador General San Martín. Jujuy 4512 Argentina*
[2] *Instituto de Agrobiotecnología y Biología Molecular (IABIMO), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), De los Reseros y N. Repetto s/n, Hurlingham (B1686IGC), Buenos Aires, Argentina.*
[3] *Bioma Ventures SRL, San José 1769, Funes, Santa Fe (2152) Argentina*
[4] *Chacra Experimental Agrícola Santa Rosa. Camino Vecinal no. 8 km 6. Colonia Santa Rosa. Salta 4531 Argentina*; gserino@chacraexperimental.org

Palabras clave: Ingeniería genética, transgénesis, caracteres agronómicos, silenciamiento genético, interferencia mediada por ARN

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de resistencia genética a los virus causales del mosaico, la enfermedad viral de mayor difusión e impacto globalen caña de azúcar, es un objetivo prioritariode los programas de mejoramiento genético del cultivo. En las últimas décadas se han realizado esfuerzos paradesarrollar resistencia al mosaico mediante ingeniería genética, que resultaron en distintos niveles de respuesta a la enfermedad en invernáculo y a campo (Apriasti *et al.* 2018, Aslam *et al.* 2018, Gilbert *et al.* 2005, Guo *et al.* 2015, Ingelbrecht *et al.* 1999, and Yao *et al.* 2017). En este trabajo describimos el proceso de evaluación en invernáculo y a campo de una cohorte de 395 eventos transgénicos diseñados para obtener resistencia al mosaico mediante tecnología de ARN interferente (RNAi). En este proceso, que implicó 11 años de pruebas en invernáculo y a campo en las que testigos del genotipo donante no transgénicosevidenciaron altos niveles de infección, se identificaron cinco clones de caña de azúcar resistentes a mosaico. Según nuestro conocimiento, este es el primer registro publicado de ensayos a campo demostrando resistencia al mosaico obtenida mediante ingeniería genética en caña de azúcar.

OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es validar en el campo la estrategia RNAi aplicada aldesarrollo de caña de azúcar resistente a virus.

MATERIALES Y MÉTODOS

Eventos transgénicos. Clones de caña generados mediante transformación biolística de los genotipos de caña de azúcar susceptibles a mosaico NA84-3419, NA84-3013, NA97-3463, NA97-3152 y CP72-2086 con la construcción pUBI VIR3 NPTII (Gómez, 2012) fueron cultivados en macetas de 0,5 L en el invernáculo de bioseguridad.

Inoculación artificial en invernadero. Se inocularon plantas de caña en el estadio de 4-6 hojas espolvoreando hojas 0 o +1 con el abrasivo carborundo (mesh 240) y frotándolas utilizando un guante previamente mojado con extracto infectivo obtenido de hojas de caña de azúcar infectadas con SCMV. Se evaluó visualmente la aparición de síntomas cada 15 días y se determinó la presencia del SCMVutilizando en hojas sintomáticas mediante la técnica de “leaf printing inmunnoassay” (Guzmán y Victoria, 2001).

Ensayo a campo de cepas individuales. Los plantines de invernadero fueron transplantados a campo espaciados 60 cm entre plantines y 1,5 m entre surcosconstituyendo parcelas de tamaño variable con entre 1 y 18 plantines según la disponibilidad de plantas de cada evento, y de los

testigos correspondientes. Se plantaron borduras (tressurcos) y cabeceras (de cinco metros de largo) con plantines infectados de NA 84-3013. Se evaluó visualmente la presencia desíntomas de mosaico, registrándose para cada planta la presencia/ausencia de síntomas. Al año de implantado el ensayo se realizó una evaluación de cada parcela para seleccionar aquellos eventos no infectados con mosaico y cuyo fenotipo (vigor, macollage, número de tallos por cepa, ausencia de clorosis u otrasenfermedades sintomáticas)se ajustó al esperado.

Ensayo a campo de parcelas de un surco. Se plantaron parcelas de un surco de 4 m de largo, espaciadas entre surcos en 1,5 m, con caña semilla de las parcelas experimentales de aquellos genotiposseleccionados en el ensayo de cepas individuales. Se observó la aparición de síntomas de mosaico durante tres años. Los clones no infectados al final de la 3er campaña fueron seleccionados para avanzar al estadio de multiplicación.

Multiplicación de semilla. Se plantaron lotes de multiplicación de semillaen parcelas de un surco de 10m de largo, espaciado 1,5 m delsurco adyacente con caña semilla de las parcelas experimentales de los clones seleccionados del ensayo previo. Se observó la presencia de síntomas de mosaico durante tres temporadas y se seleccionaron clones en base a la ausencia de sintomatología de mosaico y de fenotipo agronómico superior luego de soca 1.

Ensayo comparativo. Se plantó un ensayo de acuerdo a un diseño de bloques completos al azar con cuatro réplicas. Nueve candidatos potencialmente resistentes a mosaico fueron evaluados junto a tres genotipos susceptibles al mosaico libres de infección. Las parcelas fueron de tres surcos de 10metros de largo con espacio entresurco de 1,5 metros. Se observó la presencia de síntomas de mosaico y se realizaron mediciones de rendimiento cultural durante tres cosechas hasta el final del ensayo.

Bioseguridad. Los ensayos en invernáculo y a campo fueron realizados de acuerdo a la normativa vigente del Ministerio de Agricultura bajo los permisos 166699/2010, 288473/2011, 122328/2012 and 23140/2014.

Evaluaciones de mosaico a campo. Se evaluó la sintomatología de mosaico visualmente y la presencia o ausencia de síntomas fue registradadurante la duración de cada ensayo.

Determinación del rendimiento cultural. Se determinó el peso de parcelas tras cosecharlas manualmente, estimándose las toneladas de caña por hectárea (TCH) en base al tamaño de la parcela. Se analizaron estadísticamente los resultados utilizando el Software Infostat (Di Rienzo *et al.* 2017). Se analizaron los resultados aplicando modelos lineales generalizados mixtos (Test de Fisher con 0,05 de nivel de significancia), determinando al genotipo como efecto fijo y la repetición y la edad como efectos aleatorios.

RESULTADOS

Materiales evaluados. Se inició el proceso de evaluación con 3406 plantas correspondientes a 395 clones generados mediante transformación biolistica de los genotipos susceptibles a mosaico NA84-3419, NA84-3013, NA97-3463, NA97-3152 y CP72-206 con la construcción de resistencia a mosaico pUBI VIR3 NPTII (Gómez, 2012), en la que una estructura de RNA de doble cadena constituida por fragmentos conservados de los genomas de SCMV y SrMV en orientación sentido y antisentido separados por el intrón IVS6. Los fragmentos virales utilizados fueron seleccionados en base a un estudio de diversidad genética viral realizado en 2007 abarcando una superficie de aproximadamente 800.000 km^2 de regiones cañeras de Argentina, Bolivia, Uruguay y Paraguay. Las secuencias incluidas en la construcción de resistencia están indicadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Elementos genéticos que componen la construcción de resistencia a mosaico pUBI VIR3 NPTII. Los grupos virales objetivo fueron sugarcane mosaic virus (SCMV) y sorghum mosaic virus (SrMV). Para el caso de SCMV, se utilizaron secuencias derivadas de aislamientos de SCE (conservadas respecto a W) y MZ.

Grupo viral	Fragmento clonado	Posición en el genome viral (número de acceso de genebank)
SCMV - SCE y W	Fragmento de 395 pbdel gen P3 de SCMV – SCE	2558 a 2952 - SCMV (AJ278405)
SCMV – MZ	Fragmento de 316 pb del gen CP de SCMV – MZ	9079 a 9394 - SCMV (AJ278405)
SrMV	Fragmento de 318 pb del gen CP de SrMV	8711 a 9028 – SrMV (U57358)

Se determinó una frecuencia de escapes del 24% en un subconjunto de plantas mediante PCR y se avanzó con las inoculaciones artificiales en invernáculo.

Inoculaciones artificiales en invernáculo. Las frecuencias de infección artificial fueron bajas en las plantas testigo y en las transgénicas (Tabla 2).

Tabla 2. Inoculaciones artificiales en invernáculo. Se inocularon plantas con un extracto foliar de plantas infectadas con SCMV-SCE y se evaluó la infección por mosaico mediante Leaf Printing Immunoassay.

	Genotipo donante (código de evento)				
	NA 84-3013 (BAF)	NA 84-3419 (CAF)	CP72-2086 (DAF)	NA 97-3152 (FAF)	NA 97-3463 (IAF)
Plantas control: infectadas / total (%)	2/13 (15%)	1/6 (17%)	-	0/9 (0%)	1/18 (6%)
Plantas transgénicas: infectadas / total (%)	228/1039 (22%)	98/896 (11%)	5/69 (7%)	4/19 (21%)	49/1383 (3,5%)
Eventos putativos inoculados	124	120	14	1	136
Eventos demostrando infección (%)[1]	83 (67%)	59 (49%)	4 (29%)	1 (100%)	28 (21%)
Eventos no infectados[2]	41 (33%)	61 (51%)	10 (71%)	0 (0%)	108 (79%)

[1] al menos una planta infectada según determinado serológicamente.
[2] ninguna planta infectada según determinado serológicamente.

Un total de 175 eventos putativos incluyeron al menos una planta infectada con mosaico. Los remanentes 220 eventos putativos avanzaron a la siguiente etapa.

Ensayo de cepas individuales. Se observaron síntomas de mosaico transcurridos 85 y 145 días respectivamente.La frecuencia de sintomatología de mosaico en las parcelas testigoconfirma la efectividad de la infecciónen el experimento. La tabla 3 ilustra los resultados de las evaluaciones de mosaico 140 días post plantación. Así, se acotó la población de materiales a evaluar a 151, de los que se seleccionaron los 87 clones no infectados que presentaron fenotipo agronómico deseable (altura de la planta, vigor, población de tallos). Se determinó la presencia del transgén mediante PCR en los 87 clones seleccionados, confirmando que 86 eventos fueron transformados con la construcción de resistencia. La Fig. 1 ilustra los resultados para una serie de eventos evaluados.

Tabla 3. Ensayo de infección con mosaico en cepas individuales. Se evaluó visualmente la presencia de síntomas de mosaico 140 días después de plantación, en condiciones de infección natural.

	Genotipo donante				
	NA 84-3013	NA 84-3419	CP72-2086	NA 97-3152	NA 97-3463
Plantas testigo no transgénicas *invitro*: infectadas/total	18/27 (67%)	5/13 (38%)	-	0/19 (0%)	4/35 (11%)
Plantas testigo no transgénicas de caña semilla: infectadas/total	52/66 (78%)	13/22 (59%)	-	1/18 (5%)	2/45 (4%)
Clones potencialmente transgénicos: Infectados/total	82/314 (26%)	75/495 (15%)	5/52 (10%)	3/19 (16%)	21/1015 (2%)
Eventos Potencialmente transgénicos evaluados	41	68	9	1	107
Eventos potenciales infectados con al menos 1 planta infectada	27 (66%)	29 (43%)	3 (33%)	1 (100%)	15 (14%)
Eventos potenciales no infectados	14 (34%)	39 (57%)	6 (67%)	0 (0%)	92 (86%)

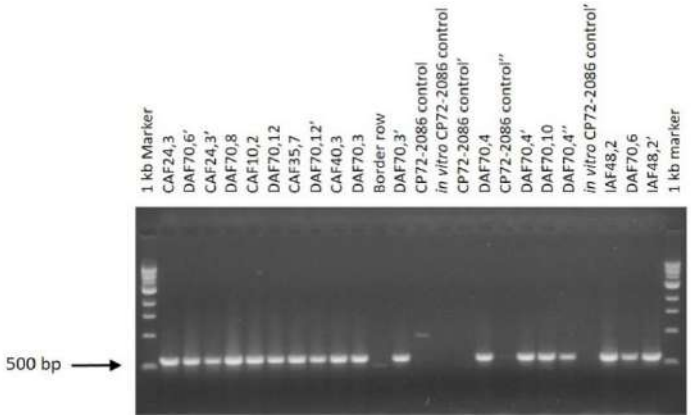


Figura 1. Confirmación de transgénesis mediante PCR. Se analizaron los productos de la amplificación de un fragmento de 580 pb de pUBI VIR3 NptII mediante electroforesis en geles de 1% agarosa teñidos con bromuro de etidio. "Border row":plantas no transgénicas del genotipo NA84-3013. CP72-2086 "control":plantas no transgénicas provenientes de yemas o propagadas *in vitro*. " ' " y " '' ": muestras duplicadas o triplicadas.

Ensayos en parcelas de un surco fueron plantados en el lote "Desmonte" de la Chacra para continuar en la evaluación debajo infección de mosaico durante dos ciclos de cultivo. Se seleccionaron 11 eventos para plantarlos en parcelas de multiplicación.

Parcelas de multiplicación fueron plantadas en el lote "Yapeyú" del Ingenio Ledesma, continuándose con la observación de síntomas de mosaico y resultando en el avance de nueve eventos a la instancia de ensayos replicados.

Ensayos replicados fueron evaluados visualmente para la expresión de síntomas de mosaico durante tres ciclos de cultivo, y el paso de las parcelas determinado después de cosecha manual. La tabla4 ilustra los resultados de las lecturas de sintomatología de mosaico durante los tres años de duración del ensayo replicado. El análisis estadístico de los resultados de Ton caña por

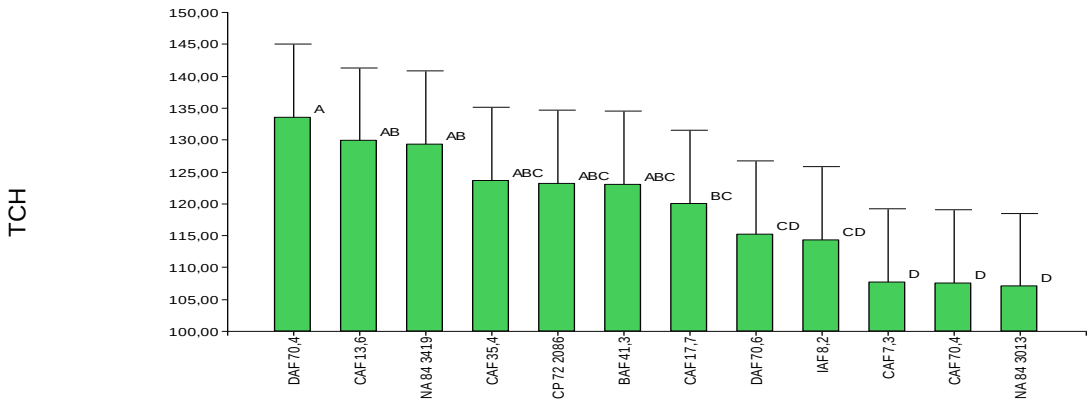
hectárea indicó como única diferencia significativa aquella entre el evento BAF41,3 y el genotipo donante NA84-3013.

Table 4. Evaluaciones de mosaico para eventos y testigos del genotipo donante no GM para tres ciclos de cultivo.

Genotipo	año	Parcela 1	2	3	1	Genotipo	año	Parcela 1	2	3	4
CAF 70.4	Planta	-	-	-	-	BAF 41.3	Planta	-	-	-	-
	S1	-	-	-	-		S1	-	-	-	-
	S2	-	-	-	-		S2	-	-	-	-
CAF 17.7	Planta	-	-	-	-	NA84-3013	Planta	6	11	18	12
	S1	-	-	-	-		S1	All	17	All	All
	S2	-	-	-	-		S2	All	All	All	All
CAF 70.6	Planta	-	-	3	-						
	S1	-	1	2	2						
	S2	-	-	-	2						
CAF 35.4	Planta	-	-	-	-	IAF 8.2	Planta	-	-	-	-
	S1	-	-	2	-		S1	-	-	-	-
	S2	3	-	-	-		S2	-	-	-	-
CAF 13.6	Planta	-	-	-	-						
	S1	1	-	-	-						
	S2	1	-	-	-						
CAF 7.3	Planta	-	-	-	-	DAF 70.4	Planta	-	4	-	2
	S1	-	-	-	-		S1	8	-	-	-
	S2	-	-	-	-		S2	2	1	-	1
NA84-3419	Planta	1	7	14	11	CP72-2086	Planta	3	11	7	5
	S1	All	All	All	All		S1	7	10	18	4
	S2	26	All	All	21		S2	4	9	11	8

CONCLUSIONES

Este trabajo valida la estrategia de resistencia al mosaico de la caña de azúcar mediante ingeniería genética. Demostramos que el mecanismo de RNAi aporta resistencia al virus del mosaico durante más de 10 años en condiciones de infección natural a campo. Se requieren estudios adicionales para evaluar la Resistencia a distintos tipos virales, así como estudios de largo plazo para determinar la durabilidad de la durabilidad de la resistencia. Se observe un incremento en rendimiento cultural (TCH) en comparación con el genotipo donante en uno solo de los eventos resistentes (BAF41,3), cuyo genotipo donante (NA84-3013) presenta la mayor susceptibilidad a virus según determinado en el PMG de Chacra.



Genotipo

Figura 2. Registros combinados de rendimiento cultural para los ciclos de caña planta, soca 1 y soca 2. Barras de error indican el error estándar de la muestra. Incrementos estadísticamente significativos en rendimiento cultural (letras sobre las barras) fueron observadas para el evento BAF41,3 y el genotipo donante NA84-3013.

APOYO FINANCIERO

Este trabajo fue parcialmente financiado mediante el Subsidiode la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica PID 2007-062.

REFERENCIAS

Apriasti R, Widyaningrum S, Hidayati WN*et al.* 2018. Full sequence of the coat protein gene is required for the induction of pathogen-derived resistance against sugarcane mosaic virus in transgenic sugarcane. Molecular Biololgy Reporter 45(6): 2749–2758. doi: 10.1007/s11033-018-4326-1

Aslam U, Tabassum B, Nasir IA*et al.* 2018. A virus derived short hairpin RNA confers resistance against sugarcane mosaic virus in transgenic sugarcane. Transgenic Research 27(2): 203–210. doi: 10.1007/s11248-018-0066-1

Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG*et al.* 2017. InfoStat version 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. http://www.infostat.com.ar

Gilbert RA, Gallo-Meagher M, Comstock JC*et al.* 2005. Agronomic evaluation of sugarcane lines transformed for resistance to sugarcane mosaic virus strain E. *Crop Science* 45: 2060–2067.

Gómez M. 2012. Desarrollo de caña de azúcar transgénica resistente al Sugarcane mosaic virus (SCMV) y al Sorghum mosaic virus (SrMV) por silenciamiento génico. Universidad Nacional de Buenos Aires. PhD. Thesis

Guo J, Gao S, Lin Q*et al.*2015. Transgenic sugarcane resistant to Sorghum mosaic virus based on coat protein gene silencing by RNA interference. Biomed Research International 2015:861907. doi: 10.1155/2015/861907

Guzmán RML, Victoria KJI. 2001. Evaluación de cinco enfermedades de la caña de azúcar mediante las técnicas de "dot-blot" y "tissue-blot" a partir de la misma muestra de tejido. *Fitopatología Colombiana* 25: 103-110.

Ingelbrecht IL, Irvine JE, Mirkov TE. 1999. Posttranscriptional gene silencing in transgenic sugarcane. Dissection of homology-dependent virus resistance in a monocot that has a complex polyploid genome. *Plant Physiology* 119: 1187-98.

Yao W, Ruan M, Qin L*et al.*2017. Field performance of transgenic sugarcane lines resistant to Sugarcane Mosaic Virus. *Frontiers in Plant Science* 8: 104. doi: 10.3389/fpls.2017.00104

TRANSFORMACIÓN GENÉTICA Y EDICIÓN GENÓMICA: HERRAMIENTAS BIOTECNOLÓGICAS PARA MITIGAR EL EFECTO DE LOS ESTRESES BIÓTICOS Y ABIÓTICOS EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR.

Enrique R; Budeguer F; Ostengo S; Noguera A.

Instituto de Tecnología Agroindustrial del Noroeste Argentino (ITANOA)-Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). William Cross 3150, Las talitas, Tucumán, Argentina.
E-mail: ramon.enrique.ar@gmail.com

La caña de azúcar (*Saccharum* spp.) es un cultivo tropical y subtropical de propagación vegetativa que contribuye aproximadamente con el 80% de la producción de azúcar y el 40% de la producción mundial de biocombustibles (Byrt y col., 2011). Los cultivos modernos de caña de azúcar son híbridos altamente poliploides y aneuploides con genomas extremadamente grandes (>10 Gigabases), que se han originado a partir del cruzamiento entre las especies *Saccharum officinarum* y *S. spontaneum* (Piperidis y D'Hont, 2020). La complejidad genética y la baja fertilidad del cultivo en condiciones naturales hacen que el mejoramiento tradicional sea extremadamente laborioso, costoso y lento. Esto, junto con su propagación vegetativa, que permite la transferencia y multiplicación estable de transgenes, hacen de la caña de azúcar un buen candidato para la mejora del cultivo mediante ingeniería genética. La producción de caña de azúcar se ve afectada negativamente por diversos estreses bióticos (enfermedades, plagas y malezas) y abióticos (sequía, salinidad, altas y bajas temperaturas, y baja fertilidad del suelo), reduciendo el rendimiento potencial medio y máximo del cultivo (Budeguer y col., 2021). Por esta razón, el mejoramiento convencional apoyado por la ingeniería genética busca constantemente desarrollar nuevos genotipos con mayores rendimientos de azúcar y biomasa y mayor tolerancia al estrés. Sin embargo, encontrar nuevos recursos genéticos naturales para generar variedades con mayor tolerancia es un reto. En este sentido, las variedades de élite son el material de partida para la mejora de los cultivos mediante ingeniería genética para añadir rasgos que confieran ventajas adaptativas para superar los estreses mencionados.

Entre las herramientas biotecnológicas disponibles, la transformación genética (TG) y la edición genómica (EG) son las más valiosas. La primera tecnología permite incorporar genes de otras plantas no relacionadas o de diferentes organismos. Por su parte, la EG puede editar, insertar o sustituir secuencias específicas dentro del genoma (Kumar y col., 2020).

Los factores de transcripción (FT) son proteínas reguladoras del proceso transcripcional en plantas y otros organismos. Entre los FT caracterizados en el girasol, se ha informado que el HaHB11, el cual pertenece a la familia del homeodominio-cremallera de leucina (HD-Zip), confiere tolerancia a la sequía, al anegamiento y a la salinidad, y otorga mayor rendimiento a *Arabidopsis*, maíz y alfalfa transgénicos (Cabello y col., 2017; Raineri y col. 2022).

La enzima Acetolactato Sintasa (ALS) cataliza la biosíntesis de los aminoácidos esenciales de cadena ramificada y es fuertemente inhibida por varios herbicidas, tales como sulfonilureas e imidazolinonas, entre otros. La resistencia a herbicidas inhibidores de ALS es controlada por mutaciones específicas presentes en los alelos *als*.

Ambas proteínas, HaHB11 y ALS, son objeto de estudio en el presente trabajo y mediante ingeniería genética se intervino el genoma de la caña de azúcar con el propósito de conferirle tolerancia a estreses ambientales como la escasez de agua y la presencia de malezas.

Objetivos

El presente trabajo tuvo como objetivos:

- Introducir mediante TG el gen *HaHB11* de girasol en la variedad elite de caña de azúcar TUC 03-12 y recuperar líneas genéticamente transformadas con aumento de biomasa y tolerancia a estreses abióticos.
- Editar, mediante la utilización de la tecnología CRISPR-Cas, los alelos *als* de la variedad TUC 03-12 de caña de azúcar, con el propósito de conferirle resistencia a herbicidas.

Materiales y Métodos

Material vegetal y condiciones para el cultivo de tejidos

Los callos embriogénicos de la variedad TUC 03-12 para el bombardeo con ADN (experimento de TG) ó ribonucleoproteínas (RNP) (experimentos de EG) fueron preparados siguiendo los protocolos de Bower y Birch (1992).

Construcción genética y RNPs para el bombardeo

La construcción genética (pASTα) contiene el gen *HaHB11* de girasol y el gen *npt*II de *E. coli* para la selección con geneticina. Ambos genes están fusionados a promotores fuertes constitutivos, el promotor de ubiquitina de maíz y el promotor de actina de arroz, respectivamente. Las RNPs para los experimentos de EG contienen concentraciones estequiométricas de la nucleasa, el ARN guía y el ADN linear de reparación. El bombardeo de los callos, tanto para los experimentos de TG como EG, fueron llevados a cabo siguiendo los procedimientos descriptos por Noguera y col. (2015).

Condiciones de selección, regeneración y micropropagación

Transformación genética con *HaHB11*: La selección de los callos transformados (1735) fue llevada a cabo utilizando un medio de cultivo suplementado con 45 mg l^{-1} de geneticina de acuerdo a Noguera y col. (2015).

Edición genómica de alelos *als*: la selección de los callos transformados (500) fue llevada a cabo utilizando un medio de cultivo suplementado con 0,2 µM del herbicida Bispiribac de sodio (Sigma, Suiza). Los callos seleccionados fueron regenerados en medio suplementado con 0,7 mg l^{-1} de BAP sin 2,4-D y los respectivos agentes selectivos bajo un régimen de luz de 16 h. Los brotes regenerados fueron micropropagados y enraizados de acuerdo a los protocolos previamente optimizados para la variedad de caña de azúcar RA 87-3 (Noguera y col. 2015), y posteriormente aclimatados en invernadero bajo condiciones especiales para el crecimiento *ex vitro* (2500 lux y 80–100 % HR).

Detección de plantas transgénicas por PCR

El ADN genómico fue extraído a partir de 200 mg de material de hoja molido en N_2 de 208 líneas resistentes a geneticina y de plantas control no transformadas (NT), utilizando el método descripto por Aljanabi y col. (1999). Se amplificó por PCR un fragmento de 174 pb del gen *HaHB11* utilizando los cebadores HB11f3 (5`-TCAAAACAGAAGGGCTCGCT-3`) y HB11r3 (5`-TCCTCCGTTTTCAGACCCAC-3`). La reacción de amplificación del fragmento del gen *HaHB11* fué realizado durante 30 ciclos de acuerdo a las siguientes condiciones: desnaturalización a 95 ºC durante 30 s, anillado a 59 ºC durante 30 s y extensión a 72 ºC durante 60 s. Los productos

de amplificación fueron analizados en geles de agarosa 1,5 % (p/v) teñidos con Gel Red (Biotium, EEUU). La eficiencia de transformación (%) se calculó aplicando la siguiente fórmula: Eficiencia de transformación (%) = (N° Total de plantas PCR positivas / Número Total de callos bombardeados) ×100.

Brotación de yemas y medidas morfológicas

Diez estacas uninodales por línea transgénica fueron plantadas en bandejas de celdas conteniendo la mezcla comercial de suelo Grow Mix Multipro (Terrafertil, Argentina). La brotación y crecimiento de las estacas fue realizado en invernadero bajo condiciones de luz natural y temperatura controlada (25 ± 5 ºC). El conteo de brotación de yemas se realizó cada 7 días durante 30 días luego de plantados (DAP) para determinar el Índice de Velocidad de Emergencia (IVE) utilizando la formula descripta por Maguire (1962). La altura de los tallos fue medida desde el nivel del suelo hasta la lígula de la hoja +1 (parcial o totalmente expandida) con una regla (cm). Las raíces fueron colocadas separadamente en bolsas de papel, secadas en estufa a 65 ºC y pesadas en una balanza de precisión hasta peso constante. Los experimentos fueron realizados por triplicado con un diseño de bloques completamente aleatorizados.

Medida de la actividad *in vivo* de la Acetolactato sintasa

La actividad enzimática de la enzíma ALS de muestras de tejido de las plantas editadas como en plantas control no editadas, fue cuantificada en presencia de distintas concentraciones (0; 0,1; 1 y 10 µM) del inhibidor Bispiribac de sodio (Sigma, Suiza) siguiendo los procedimientos de Yu y col. (2003).

Resultados

Obtención de líneas transgénicas *HaHB11* de caña de azúcar

Un total de 1735 callos de la variedad comercial TUC 03-12 fueron transformados con el vector pASTα, que porta los transgenes *HaHB11* y *npt*II. Se obtuvieron *in vitro* un total de 208 líneas transformadas, geneticina resistentes, las cuales se aclimataron a condiciones *ex vitro* en invernadero. De estas 208, 117 resultaron PCR positiva para la presencia del gen *HaHB11* de girasol (6,74 % de eficiencia de transformación).

Estudio de las líneas transgénicas en condiciones normales de crecimiento en invernadero

De las 117 líneas transgénicas aclimatadas, se seleccionaron 16 líneas por su parecido fenotípico con la variedad parental TUC 03-12, y fueron estudiadas desde la brotación de las estacas uninodales hasta el establecimiento de los plantines, bajo condiciones controladas de crecimiento.

Análisis de la brotación de yemas y del desarrollo de tallo

Luego de 30 días, todas las líneas transgénicas con excepción de una (línea 1.5) presentaron mayor IVE con respecto a las plantas control NT. Cabe destacar que cinco líneas transgénicas (8.11, 1.1, 1.44, 2.20 y 4.5) presentaron 100 % de brotación de yemas a los 7 DAP (datos no mostrados). Además, cuatro líneas transgénicas (8.11, 1.12, 1.22 y 4.5) mostraron mayor altura de tallo que las plantas NT a los 30 DAP (Figura 1).

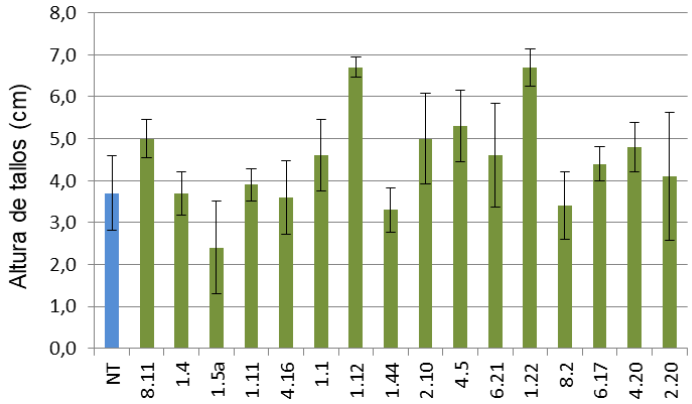


Figura 1. **Evaluación de la elongación del tallo de 16 líneas transgénicas a los 30 DAP.** Los datos están expresados como media y error estándar de las medias.

Análisis del desarrollo de raíces

Finalmente, se estudiaron los sistemas radiculares de las siete líneas transgénicas con mejor performance y la línea 1.5 de peor performance, con respecto a las plantas NT. Las siete líneas transgénicas presentaron un mayor desarrollo radicular que las plantas NT, mientras que la línea 1.5 presentó un menor desarrollo de raíces (Figura 2). Además, se cuantificaron mediante peso seco los sistemas radiculares evaluados. Los sistemas radiculares de todas las líneas transgénicas, con excepción de la 1.5, fueron dos veces más pesadas que las raíces de las plantas NT. Cabe destacar, que las raíces de la línea 8.11 fueron 4 veces más pesadas respecto a las raíces de plantas NT (datos no mostrados).

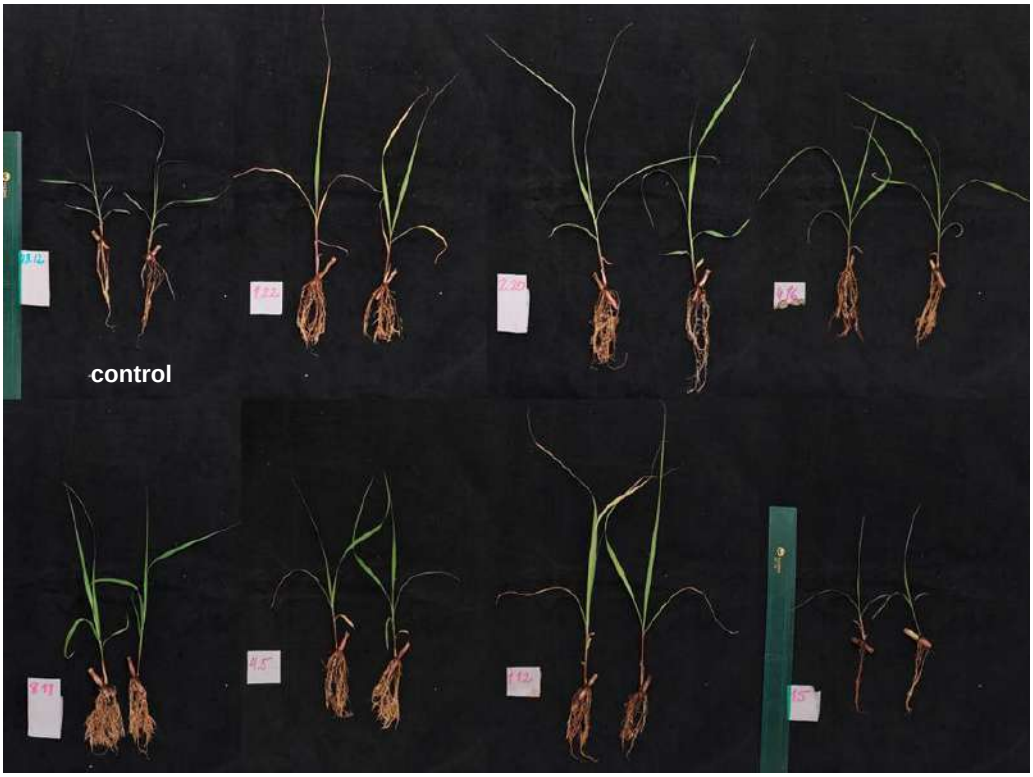


Figura 2. Fenotipado de las líneas transgénicas. La figura muestra siete líneas transgénicas y las plantas control NT a los 45 DAP, bajo condiciones normales de crecimiento.

Obtención de líneas de caña de azúcar editadas en los alelos *als*

Un total de 500 callos de la variedad comercial TUC 03-12 fueron bombardeados con partículas de oro recubiertas de RNPs. Se obtuvieron *in vitro* un total de 10 líneas potencialmente editadas, resistentes al herbicida Bispiribac de sodio (Figura 3), las cuales se encuentran en proceso de micropropagación *in vitro* y aclimatación *ex vitro* en invernadero. De estas 16, se realizaron ensayos de medida de actividad de la enzima ALS *in vivo*.

Figura 3. Prueba de resistencia *in vitro* de las plantas editadas. Plántulas de dos líneas editadas vs control luego de 7 días de crecimiento en medio con Bispiribac de sodio (0,2 µM)

Medida de la actividad enzimática de ALS *in vivo*

Los resultados preliminares muestran una recuperación de hasta un 40 % de la actividad de ALS en algunas líneas editadas, con respecto a las plantas control no editadas, en presencia de distintas concentraciones del inhibidor Bispiribac de sodio (0; 0,1; 1 y 10 µM) (datos no mostrados).

Conclusiones

- Mediante bombardeo con partículas de oro recubiertas con el vector pASTα se obtuvieron 117 líneas transgénicas *HaHB11* de la variedad TUC 03-12 de caña de azúcar las cuales fueron multiplicadas *in vitro* y aclimatadas en invernadero.
- En ensayos de fenotipado en condiciones normales de crecimiento en invernadero, se observó líneas transgénicas destacadas con mayor IVE, longitud de tallo y sistema radicular, respecto a las plantas NT.
- Futuros estudios moleculares y pruebas de concepto en condiciones de estrés son necesarios para verificar la funcionalidad del gen *HaHB11* y correlacionar los cambios fenotípicos observados en las líneas transgénicas con un aumento de la tolerancia a estreses ambientales.
- Mediante bombardeo con partículas de oro recubiertas con RNPs, se obtuvieron 10 líneas editadas en los alelos *als* de la variedad TUC 03-12 de caña de azúcar las cuales fueron multiplicadas *in vitro* en presencia del Bispiribac de sodio.
- Análisis bioquímicos preliminares muestran actividad de la enzima ALS en presencia del herbicida para algunas líneas editadas.
- Futuros estudios moleculares, bioquímicos y fenotípicos son necesarios para determinar su efectividad frente a herbicidas comerciales en condiciones *ex vitro*.

Bibliografía

Aljanabi S.; Forget L.; Dookun A. 1999. An improve and rapid protocol for the isolation of polysaccharide and polyphenol free sugarcane DNA. Plant Molecular Biology Reporter 17:281

Bower R.; Birch R.G. 1992. Transgenic sugarcane plants via microprojectile bombardment. The Plant Journal, 2(3): 409-416.

Budeguer F.; Enrique R.; Perera M.F.; Racedo J.; Castagnaro A.P.; Noguera A.S. y Welin B. 2021. Genetic Transformation of Sugarcane, Current Status and Future Prospects. Frontiers in Plant Sciences. 12:768609. doi: 10.3389/fpls.2021.768609

Byrt C.S.; Grof C.P.L.; Furbank R.T. 2011. C-4 Plants as biofuel feedstocks: optimizing biomass production and feedstock quality from a lignocellulosic perspective. Journal of Integrative Plant Biology. 53:120-135. doi: 10.1111/j.1744-7909.2010.01023.x

Cabello J.V.; Giacomelli J.I.; Gómez M.C.; Chan R.L. 2017. The sunflower transcription factor HaHB11 confers tolerance to water deficit and salinity to transgenic Arabidopsis and alfalfa plants, Journal of Biotechnology. 257: 35-46, ISSN 0168-1656, https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2016.11.017.

Kumar K.; Gambhir G.; Dass A.; Tripathi A.K.; Singh A.; Jha A.K.; Yadava P.; Choudhary M. y Rakshit S. 2020. Genetically modified crops: current status and future prospects. Planta 251(4): 1-27.

Maguire J.D. 1962. Speed of germination - aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop Sciences. 2: 176-177

Noguera A.; Enrique R.; Perera M.F. y col. 2015. Genetic characterization and field evaluation to recover parental phenotype in transgenic sugarcane: a step toward commercial release. Molecular Breeding 35(5):1-15.

Piperidis N.; D'Hont A. 2020. Sugarcane genome architecture decrypted with chromosome-specific oligo probes. The Plant Journal. 103:2039-2051. doi: 10.1111/tpj.14881

Raineri J., Caraballo L., Rigalli N., Portapila M., Otegui M.E.; Chan R.L. 2022. Expressing the sunflower transcription factor HaHB11 in maize improves waterlogging and defoliation tolerance. Plant Physiology 189 (1):230-247, https://doi.org/10.1093/plphys/kiac054

Yu Q.; Zhang X. Q.; Hashem A.; Walsh M. J. y Powles S. B. (2003). ALS gene proline (197) mutations confer ALS herbicide resistance in eight separated wild radish (*Raphanus raphanistrum*) populations. Weed Science, 51(6), 831-838.

ESTUDIO DEL CULTIVO DE SOJA COMO ANTECESOR DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR EN TUCUMAN. PERIODO CONSIDERADO: 2018-2022

Fandos C; Scandaliaris P; Carreras Baldrés J I y Soria F J
Estación Experimental Agroindustrial "Obispo Colombres"
Avenida William Cross 3150, C.C. Nº 9 (T4101XAC), Las Talitas, provincia de Tucumán, Argentina
carminaf@eeaoc.org.ar

Palabras clave: teledetección, SIG, rotación soja/caña de azúcar, diversidad

Introducción

El sistema de producción de cultivos extensivos en la provincia de Tucumán está integrado principalmente por los cultivos de caña de azúcar y de granos. Dentro de los granos estivales, la soja es el cultivo con mayor superficie, seguido por el maíz.

Las rotaciones de cultivos contribuyen a la sustentabilidad de los sistemas agroproductivos a través del tiempo, puesto que permiten incorporar diversidad, lo cual garantiza el completo ciclo de nutrientes y facilita la regulación de las poblaciones de plagas, entre otros beneficios.

Con respecto al sistema de producción de caña de azúcar, la rotación con soja es una práctica agronómica que se realiza con el propósito de optimizar la posterior renovación del cañaveral. Entre otros beneficios, tales como contribuir al mantenimiento de un buen balance entre los elementos nutritivos del suelo, contribuye al control de malezas. Cabe destacar que una problemática importante en los cultivos de caña de azúcar es la infestación con malezas perennes, por lo que una de las prácticas recomendadas es realizar rotaciones con otros cultivos o barbechos químicos. En el caso de rotaciones, se puede rotar el lote sembrando variedades de soja resistentes al glifosato para usar dicho herbicida sin problemas de toxicidad (Figueroa *et al*., 2006; Digonzelli *et al*., 2009). Si bien la aparición de malezas resistentes al glifosato ha dificultado la utilización de ese herbicida en los cultivos de soja, el uso de herbicidas alternativos permite mantener el esquema de "limpieza" de malezas perennes previo a la plantación de cañaverales.

Por otra parte, existen antecedentes que indican que la rotación de los cañaverales con soja se traduce en un mejoramiento de los rendimientos de la caña durante su ciclo de vida, así como en una mejor conservación del recurso suelo (Giancola *et al.,* 2012). Garside *et al.* (2001) concluyen que cultivos de soja adecuadamente manejados pueden mejorar el rendimiento del cultivo siguiente de caña de azúcar entre 20% a 30% en el primer y segundo corte.

Las técnicas de percepción remota posibilitan una visión sinóptica y el seguimiento temporal de las áreas agrícolas (Chuvieco, 2008). La aplicación de metodologías de clasificación multiespectral en imágenes satelitales facilita la obtención de capas categorizadas que al estar geoposicionadas pueden ser vinculadas, especialmente, mediante análisis de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

La bibliografía indica abundantes publicaciones sobre análisis multitemporales de imágenes satelitales para el análisis de la dinámica de cultivos. En la provincia de Tucumán se destacan diversas publicaciones que analizan rotaciones de cultivos dentro del sistema cañero, entre las que se pueden citar a Benedetti *et al*. (2019) y Fandos *et al.* (2021).

La Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) posee información estadística y cartográfica de los cultivos de soja y caña de azúcar en las últimas campañas, producto de la clasificación digital de imágenes satelitales. El conjunto de coberturas temáticas,

que presentan la misma escala y proyección, posibilita el estudio de la dinámica espacial de los cultivos en las diferentes campañas agrícolas.

El objetivo del trabajo fue identificar y cuantificar la superficie con caña de azúcar que tuvo como antecesor cultivo de soja en la provincia de Tucumán, en el período 2018-2022.

Materiales y métodos

El área de estudio es la región cultivada con caña de azúcar en la provincia de Tucumán (Figura 1).

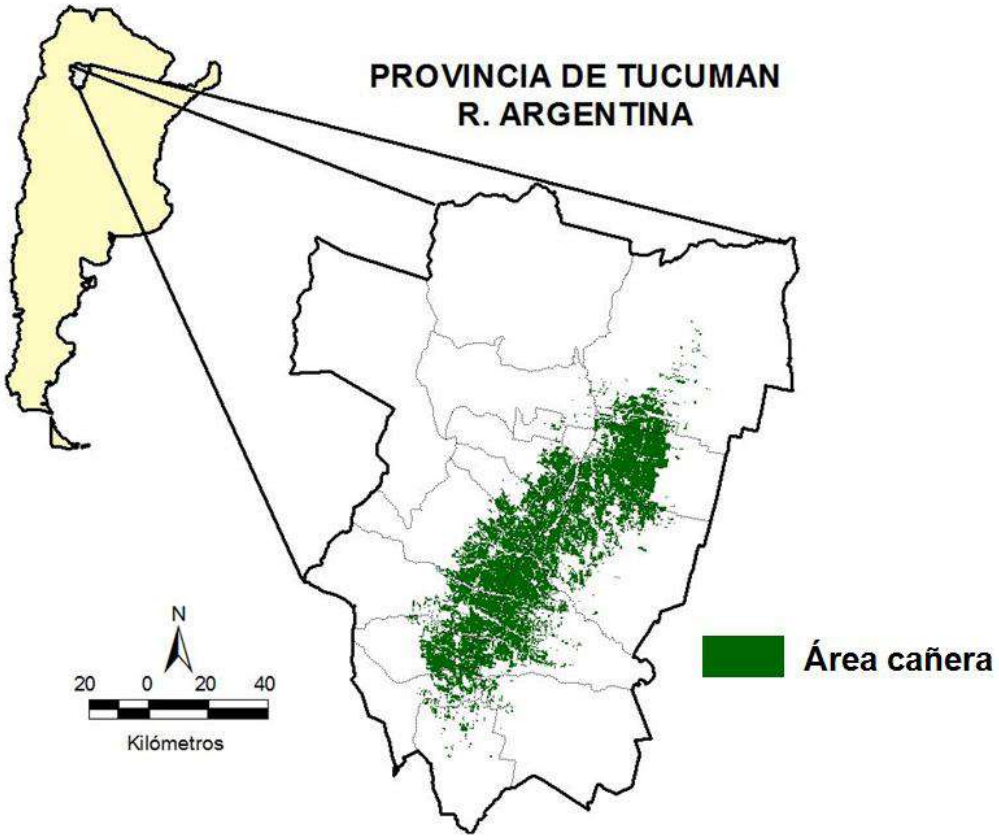


Figura 1. Situación relativa del área de estudio

Se realizó un análisis multitemporal de imágenes categorizadas, aplicando técnicas de SIG. Las coberturas temáticas utilizadas como base fueron las capas de caña azúcar obtenidas para los años 2018 a 2022 y de soja correspondientes al período 2017-2021, analizadas en (Fandos *et al*. 2022a y b). Dichas capas temáticas fueron generadas a partir de clasificaciones multiespectrales de imágenes satelitales Landsat 8 OLI y Sentinel 2A y 2B MSI, obtenidos de los sitios https://catalogos.conae.gov.ar/landsat8/ y https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home, respectivamente.

A cada cobertura correspondiente a caña se le superpuso la capa de cultivos de soja del año anterior. Dicho proceso se repitió para los cinco años en estudio.

Posteriormente, se agruparon las coberturas de caña con antecesor soja en la serie analizada. Dicho proceso se realizó teniendo en cuenta que es frecuente la renovación de los cañaverales alrededor de los cinco años de la implantación para lograr una producción económica (Acevedo, 1981), siendo este lapso mayor o menor según el nivel de rendimiento alcanzado en cada caso.

Los softwares utilizados para el trabajo fueron ERDAS Imagine, versión 8.4. y ARC GIS versión 9.0.

Resultados

En la Figura 2 se expone la superficie total implantada con caña de azúcar y la superficie cañera con cultivo antecesor soja en el período 2018-2022. Al analizar los porcentajes de caña proveniente de soja en cada zafra se aprecian valores que oscilan entre el 8% y el 11% de la superficie cañera en cada ciclo.

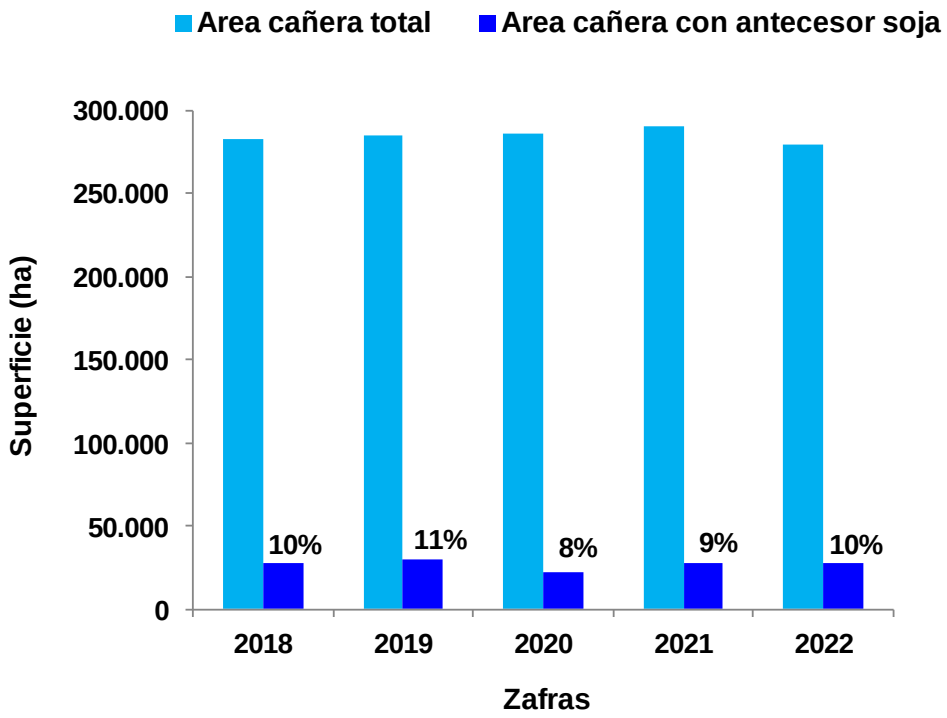


Figura 2: Superficie total con caña de azúcar y superficie cañera con cultivo antecesor soja en Tucumán, zafras cañeras 2018 a 2022.

De la agrupación de los lotes cañeros con antecesor soja en los cinco ciclos considerados, surge que el 48% del área cañera disponible para la zafra 2022 en Tucumán fue sembrada con soja al menos en una campaña entre los años 2017 y 2021.

En la Figura 3 se muestra la distribución de la superficie con caña de azúcar en la zafra 2022 diferenciada según presencia o ausencia de cultivo antecesor soja en el período 2017-2021. Se aprecia una mayor concentración en las zonas norte, este y sur del área cañera, mientras que en la zona central se constata una baja adopción de la práctica de rotación soja/caña de azúcar.

Entre las causas que dificultan dicha adopción se destacan la insuficiente escala, es decir el reducido tamaño de las explotaciones cañeras que obstaculiza, por ejemplo, la utilización de maquinarias; la rentabilidad relativa de la caña de azúcar respecto de otros cultivos y una arraigada tradición en el monocultivo de caña; en especial en el departamento Monteros (Giancola *et al.,* 2012). Por otra parte, los departamentos que muestran mayor renovación son los que incluyen productores o empresas cañeras de mayor escala económica y de base productiva diversificada (Benedetti *et al.,* 2019).

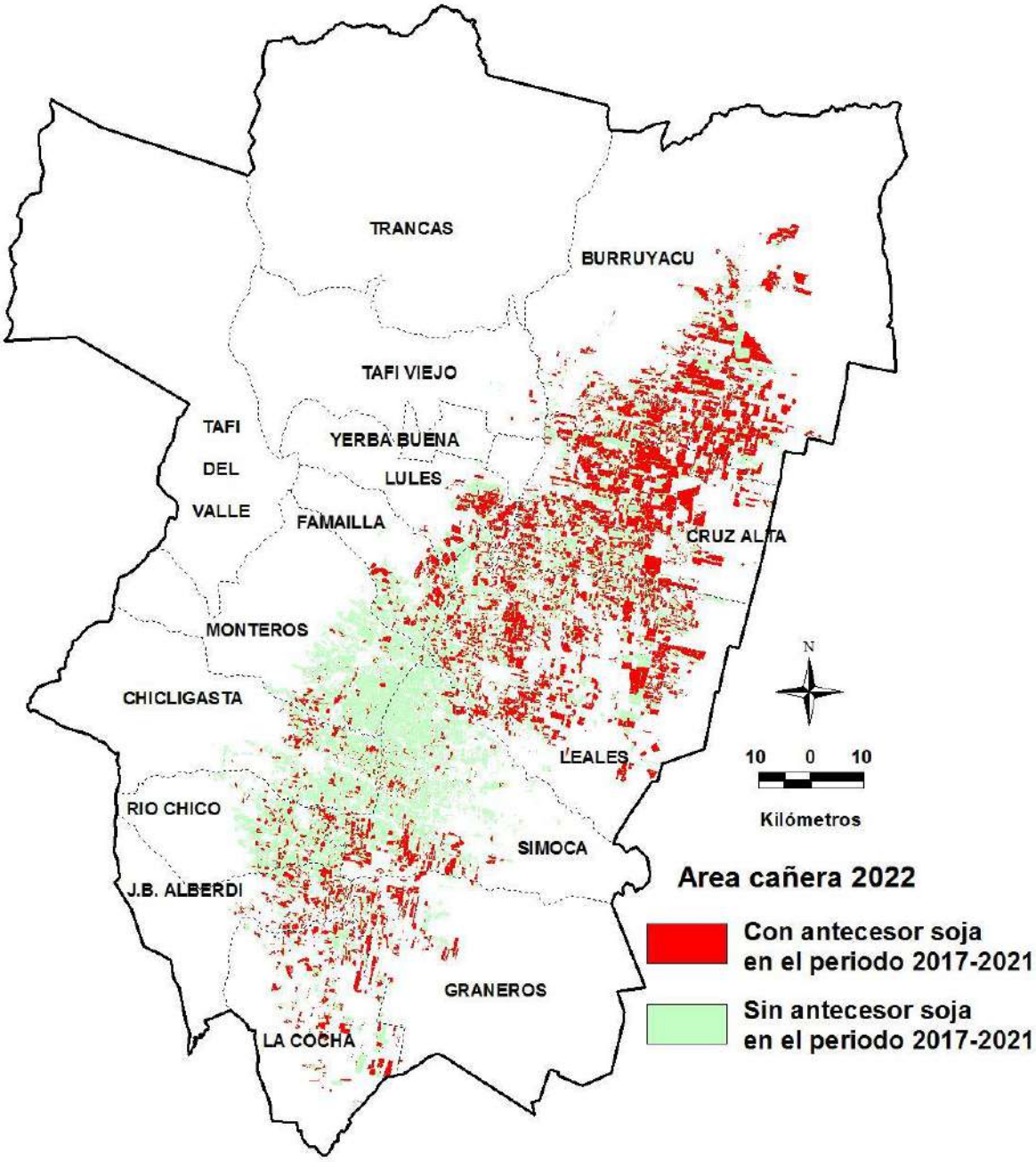


Figura 3: Distribución espacial de la superficie con caña de azúcar en la zafra 2022 diferenciada según presencia o ausencia
de cultivo antecesor soja en el período 2017-2021.Tucumán

Conclusiones

El uso del cultivo de soja dentro del sistema de rotación con caña de azúcar permite incorporar diversidad al agroecosistema cañero, incrementando su sustentabilidad.

El 48% del área cañera disponible para la zafra 2022 en Tucumán fue sembrada con soja al menos en una zafra entre los años 2017 y 2021.

El análisis de los porcentajes de caña proveniente de cultivo antecesor soja en cada zafra, en el período 2018-2022, indicó valores que oscilaron entre el 8% y el 11% de la superficie cañera en cada zafra.

En base a los resultados obtenidos se puede inferir que existen zonas del área cañera con mayor concientización en cuanto a la necesidad de rotar cultivos, principalmente las zonas norte, este y sur, que corresponden principalmente a departamentos con predominio de productores o empresas cañeras de mayor escala económica y de base productiva diversificada.

El análisis SIG generó información numérica y gráfica que contribuye a las estadísticas de cultivos y sirve de base para diversos estudios de índole agronómico y económico. En particular los mapas temáticos generados facilitan la identificación de las zonas con menor o mayor compromiso desde el punto de vista de la sustentabilidad de los agroecosistemas basada en la diversidad de cultivos, información básica para la elección de las prácticas agrícolas más adecuadas, medición de indicadores ambientales, y ordenamiento territorial basado en una planificación ambientalmente sostenible.

Bibliografía citada

Acevedo, A. 1981. Sepa plantar. Desarrollo Rural 1 (2): 11-19.

Benedetti, P. E.; C. del C. Morales; R. A. Moreno. 2019. Dinámica de plantación de caña de azúcar y rotación de cultivos a partir de sensores remotos, campaña 2018-2019. [En línea] Disponible en https://inta.gob.ar/documentos/dinamica-de-plantacion-de-cana-de-azucar-y-rotacion-de-cultivos-a-partir-de-sensores-remotos-campana-2018-2019. (consultado 26 octubre 2020). Ediciones INTA. Tucumán.

Chuvieco, E. 2008. Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio (3 ed.). (Planeta, Ed.). Barcelona, España.

Digonzelli, P. A.; J. Giardina; S. D. Casen; J. F. de Ullivarri; J. Scandaliaris; E. R. Romero; M. J. Tonatto y M. F. Leggio Neme. 2009. Capítulo 5: Plantación de la caña de azúcar, recomendaciones generales. En Romero, E. R.; Digonzelli, P. A., Scandaliaris, J; (eds.). Manual del Cañero. 1ª ed. EEAOC 65-76 pp.

Fandos C., J.I. Carreras Baldrés, F. Soria, P. Scandaliaris y M. Devani. 2021. Estudio multitemporal (2006-2020) del sistema productivo de caña de azúcar y granos para el análisis de la diversidad de cultivos en la provincia de Tucumán, R. Argentina. Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán 98 (2). 29-35.

Fandos C.; J. Scandaliaris; P. Scandaliaris; J. Carreras Baldrés y F. Soria. 2022a. Área cosechable y producción de caña de azúcar y azúcar para la zafra 2022 en Tucumán. Reporte Agroindustrial EEAOC 250. https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=area-cosechable-y-produccion-de-cana-de-azucar-para-la-zafra-2022-en-tucuman (consultado 21 seitembre 2022)

Fandos C.; J. Carreras Baldrés; F. Soria; P. Scandaliaris y M. R. Devani. 2022b. Capítulo F1: Incremento de la superficie de los cultivos de maíz y caña de azúcar como antecesores del cultivo de la soja en Tucumán. Análisis mediante teledetección y SIG del período 2017-2022. Pub. Especial 64: El cultivo de soja en el NOA campaña 2020/21. 119-123. https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=capitulo-f1-incremento-de-la-superficie-de-los-cultivos-de-maiz-y-cana-de-azucar-como-antecesores-del-cultivo-de-la-soja-en-tucuman-analisis-mediante-teledeteccion-y-sig-del-periodo-2017-2022 (consultado 05 octubre 2022).

Figueroa, R., C.; C. Hernández; M. Morandini, M. Devani y D. Pérez. 2006. Capítulo III Sistemas de labranza y nutrición: El manejo de suelos en el área productora de granos del Noroeste Argentino. En: Devani, M. R; Ledesma, F.; Lenis J. M y Ploper, L. D. (eds). Libro: Producción de soja en el Noroeste Argentino. 95-103 pp.

Garside, A. L.; M. J. Bell, J. E. Berthelsen y N. V. Halpin. 2001. Species and management of fallow legumes in sugarcane farming systems. Proceedings 10 th Australian Agronomy Conference (10th AAC). www.survey.regional.org.au (consultado 11 junio 2014).

Giancola, S. I.; J. L. Morandi; N. Gatti; S. Di Giano; V. Dowbley y C. Biaggi. 2012. Causas que afectan la adopción de tecnología en pequeños y medianos productores de caña de azúcar de la Provincia de Tucumán: enfoque cualitativo. Serie: Estudios socioeconómicos de la adopción de tecnología. Disponible en www.inta.gov.ar (consultado 17 mayo 2017).

REFERTILIZACIÓN FOSFATADA EN CAÑAS SOCAS DE EDAD AVANZADA EN TUCUMÁN, ARGENTINA.

Romero, J.I.[1]; E. Arroyo[1]; A. Peña Malavera[2]; H. Rojas Quinteros[1]; A. Sanzano[1]
[1]Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC); [2] ITANOA (EEAOC-Conicet)
Tucumán, Argentina. jiromero@eeaoc.org.ar

PALABRAS CLAVE: nutrición, longevidad, residualidad.

INTRODUCCION

El fósforo (P), es el segundo nutriente limitante de la productividad agrícola a nivel mundial. En los agroecosistemas, sus principales salidas son la exportación por cosecha y la erosión, y la única vía importante de reposición es la fertilización o la aplicación de enmiendas orgánicas.

Para obtener altos rendimientos de caña de azúcar, resulta esencial mantener niveles adecuados de P disponible. La deficiencia de P suele observarse con mayor frecuencia en cañas socas. Los síntomas tienden a incrementar con la edad.

En Tucumán, se establecieron tres situaciones diferenciales respecto a la disponibilidad de fósforo (BrayKurtz II) para el cultivo de caña de azúcar. Suelos con contenido de P menores a 13 ppm se asociaron con una respuesta “segura” a la fertilización fosfatada; los que presentaban contenidos medios (13-25 ppm), con una respuesta “probable” y con respuesta “nula” en suelos con más de 25 ppm en el suelo (Pérez Zamora *et al*., 1999; 2002). Tradicionalmente, los lotes con bajos niveles de P, se fertilizan en el fondo del surco de plantación con una sola dosis suficiente para cuatro a cinco cosechas, según la vida económica del cañaveral. Esta práctica aprovecha el comportamiento residual del P (Fontanetto, 2003) y permite simplificar la logística de fertilización en las socas sucesivas.

Las dosis de P recomendadas actualmente para Tucumán varían entre 20 kg y 35 kg de P_2O_5/ha*año^{-1}, en función del nivel de P en suelo y del rendimiento esperado. Estas dosis fueron establecidas siguiendo el criterio de suficiencia (Pérez Zamora *et al.,* 2002).

En experiencias locales establecidas en un suelo con bajos niveles de P, se estimaron balances negativos de P luego de cinco cosechas, a pesar de haber sido fertilizadas según la recomendación vigente. Las pérdidas de P incrementan considerablemente si se elimina el residuo agrícola de cosecha (RAC) (Romero *et al.*, 2022). De este modo, cañaverales de alta productividad en suelos con bajos niveles de P y en situaciones de quema, pueden mostrar balances de P negativos, aun habiendo sido fertilizados con P en la plantación; y así, las últimas socas o rebrotes, podrían verse limitadas por este elemento. En Tucumán, es frecuente la renovación de los cañaverales aproximadamente a los cinco años de su implantación, para que la producción sea económicamente rentable.

Uno de los mayores desafíos en la producción de caña de azúcar es incrementar la longevidad del cañaveral, ya que genera beneficios económicos, operativos, logísticos y ambientales. En lotes deficitarios en P, un correcto manejo de la fertilización fosfatada, adoptando estrategias que mejoren la eficiencia de uso de P, mejoraría la productividad de las cañas socas y la longevidad del cañaveral. Zambrosi (2020) destacó que una sola aplicación de altas dosis de P en la plantación podría no ser suficiente para mantener un adecuado status nutricional y elevadas producciones en las socas viejas.

En Argentina, no se cuenta con información sobre el efecto de la reaplicación de P en cañas socas. El objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto de dicha práctica en los

rendimientos de socas de edad avanzada, planteando una estrategia de fertilización bianual (una dosis de P suficiente para dos campañas) y con aplicación incorporada y superficial.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se estableció en la campaña 2018-19, en un lote de la variedad LCP 85-384, edad soca 4, ubicado en la localidad de Taco Palta, Burruyacu, Tucumán (26º47´00" S; 65º02´00" O). En ese lote la cosecha se efectúa mecánicamente y el RAC se mantiene en superficie. El suelo presenta textura franca, pH 6,2; conductividad eléctrica (CE) de 0,4 dS/m y sin concentraciones significativas de carbonato de calcio; el contenido de materia orgánica es 1,8% y el de P extractable (Bray-Kurtz II) de 10,8 ppm, dentro del rango de "respuesta segura" (deficiencia) al agregado de P.

El diseño del ensayo fue en bloques completos aleatorizados (DBCA), con cuatro repeticiones, con microparcelas de 5 surcos por 10 m de largo. Considerando el comportamiento residual del P como una ventaja operativa, los tratamientos fueron planteados para dos campañas consecutivas, aplicando una dosis de P suficiente para cubrir la necesidad de dos ciclos de cultivo, siguiendo la recomendación vigente. Se emplearon dos fuentes de P: superfosfato triple (SFT) y un fertilizante compuesto, que contiene principalmente N (en forma de nitrato de amonio calcáreo, CAN) y P y además aporta potasio (K), magnesio (Mg) y azufre (S). En la edad de soca 5 sólo se fertilizó con nitrógeno (CAN o Urea), sin aporte de P. Los tratamientos se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Tratamientos de fertilización empleados durante dos edades sucesivas de caña de azúcar. Burruyacu, Tucumán, Argentina.

	Soca 4 – Campaña 2018-19				Soca 5 – Campaña 2019-20		
	Trata-miento	**Producto**	**Dosis Nutriente** (kg/ha)		**Tratamiento**	**Producto**	**Dosis Nutriente** (kg/ha)
T1	**0**	----	0	→	**0**	----	0
T2	**N**	Urea (3kg/surco)	85 N	→	**N**		85 N
T3	**P**	SFT (2,1 kg/surco)	60 P2O5	→	**P residual**	----	0 P2O5
T4	**N+P**	Urea+ SFT (3+2,1 kg/surco)	85 N+60 P2O5	→	**N+P residual**	Urea (3kg/surco)	85 N
T5	**N+P (K+S+Mg)**	fertilizante compuesto (5,7 kg/surco)	75 N + 60 P2O5 (10K,14S,3Mg)	→	**N+P residual**	CAN (3kg/surco)	50 N

El SFT y la urea se incorporaron en la costilla del surco. El fertilizante compuesto y el CAN se aplicaron sobre la línea del surco sobre el rastrojo, según recomendaciones comerciales.

En la edad de soca 4, los fertilizantes se aplicaron el 23 de noviembre de 2018 y la cosecha se realizó el 28 de mayo de 2019. En la edad de soca 5, los tratamientos se aplicaron el 31 de octubre de 2019 y se cosechó el ensayo el 2 de junio del 2020.

En la campaña 2018-19 se registraron precipitaciones de 1400 mm. En 2019-20 alcanzaron 1050 mm, con registros inferiores a las medias registradas en la primavera y el verano (Fuente: https://agromet.eeaoc.gob.ar/). Además, en enero 2020 granizó en el ensayo.

En ambas campañas, en febrero se realizó un muestreo y análisis foliar del contenido de N y P. Se tomaron treinta hojas +1 en cada parcela y se analizaron en el Laboratorio de Suelos

de la EEAOC. Además, entre mayo y junio de ambas campañas, se realizó la estimación del rendimiento cultural. Para ello se determinó la población de tallos (conteo de 10 m lineales en los tres surcos centrales de cada parcela) y el peso de tallos (tres sub-muestras de 15 tallos consecutivos por parcela) de los diferentes tratamientos. En dichas muestras de tallos también se analizaron los parámetros de calidad de jugo.

Respecto al análisis estadístico, para las variables medidas se ajustaron modelos lineales, con efectos fijos de tratamiento y bloque. Las medias de los tratamientos se compararon mediante el test LSD de Fisher. Cada campaña fue analizada de manera independiente.

RESULTADOS Y DISCUSION

Análisis foliares

Los resultados de los análisis de tejido foliar (Tabla 2) mostraron una clara respuesta al agregado de P en la soca 4 y al fósforo residual en la soca 5 (T3, T4 y T5). El valor de P foliar reportado como crítico para caña de azúcar en Tucumán y otras zonas cañeras del mundo es de 0,16%-0,17% (Pérez Zamora, 1997; 1999); por lo tanto, sólo los tratamientos que recibieron P pudieron alcanzar ese valor. Los tratamientos T1 y T2 presentaron valores de deficiencia de P. En este sentido, Zambrosi (2020) observó que la fertilización con P incrementó la concentración de este elemento en hojas y su absorción por el cultivo, mostrando esta última una relación positiva con los rendimientos alcanzados.

Cabe destacar que no se observaron diferencias en el contenido de P foliar entre T4 y T5, lo que indicaría que no hubo diferencias en la disponibilidad del P aplicado tanto en superficie sobre el surco (fertilizante compuesto) como incorporado en la costilla del surco (SFT). Este resultado resulta de interés, ya que por la baja movilidad y fuerte interacción que presenta el P en el suelo, podría esperarse que su aplicación en superficie limitara la eficiencia de uso del fertilizante por la caña soca (Zambrosi, 2017). Sin embargo, el buen régimen de lluvias de la campaña 2018-19, sumado al mantenimiento de la humedad superficial gracias al RAC y la superficialidad del sistema radicular de las socas (Singh, 2013) pueden haber favorecido la incorporación y absorción del P en los centímetros superficiales del suelo. En la edad soca 5 (Tabla 2), el P foliar reflejó el efecto residual de este elemento en T4 y T5. Sin embargo, los contenidos de P fueron menores a los determinados en la soca 4.

Tabla 2: Análisis foliares. Contenido de N y P en caña de azúcar. Burruyacu, Tucumán, Argentina.

Tratamiento	Soca 4 (2018-19)		Soca 5 (2019-20)	
	N foliar (%)	P foliar (%)	N foliar (%)	P foliar (%)
T1 (0 / 0)	1,83	0,14 (A)	1,45 (A)	0,14 (A)
T2 (N / N)	1,88	0,14 (A)	1,58 (AB)	0,14 (A)
T3 (P / 0)	1,76	0,16 (B)	1,48 (A)	0,15 (A)
T4 (N+P / N)	2,01	0,19 (C)	1,75 (C)	0,16 (B)
T5 (N+P / N)	1,94	0,19 (C)	1,73 (BC)	0,16 (B)
	p=0,6	p<0.05	p<0.05	p<0.05

Las medias que no comparten la misma letra en la columna, son significativamente diferentes según LSD Fisher al 5% del nivel de significancia.

Los resultados indican que el nivel de respuesta al agregado de P fue de mayor magnitud en la soca 4, campaña en que se agregó el nutriente, que en la soca 5, donde se observó un

efecto residual del P (T4 y T5) pero con menores diferencias respecto al tratamiento nitrogenado (T2). Esto podría explicarse por la mejor condición ambiental y/o disponibilidad de N que contribuyó a una mayor eficiencia agronómica del P del fertilizante en el año de aplicación (Syers *et al.*, 2008), y/o por una menor cantidad de P disponible (remanente luego de la absorción y extracción de la caña en edad de soca 4 y la interacción con el suelo) que no haya sido suficiente para cubrir los requerimientos de P en edad de soca 5.

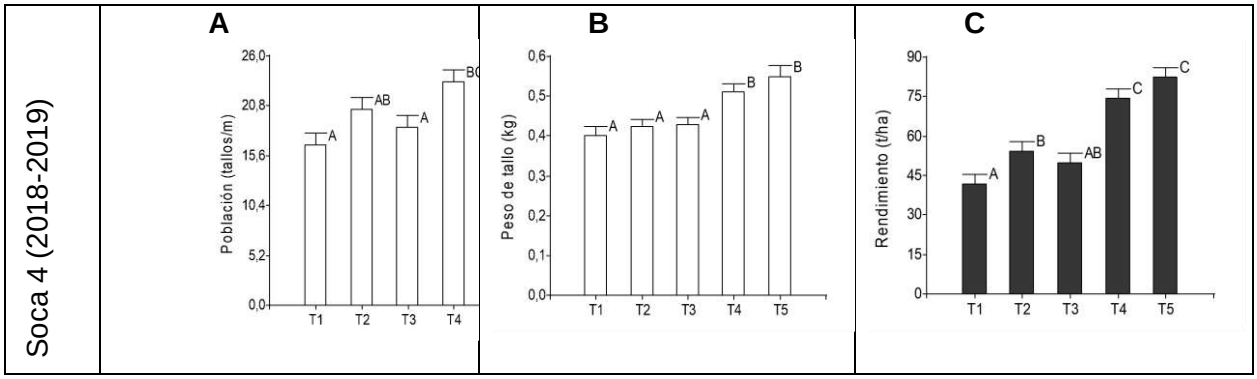
Componentes del rendimiento y estimación del rendimiento cultural

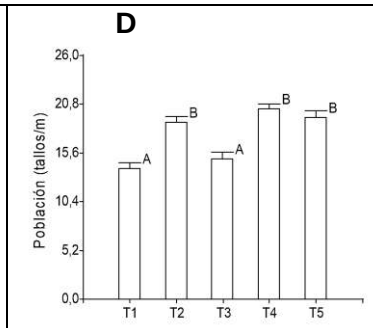
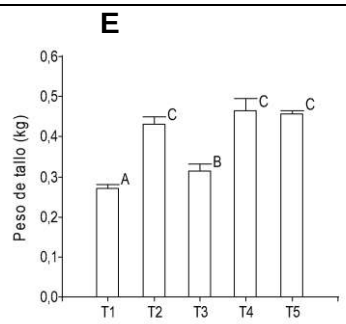
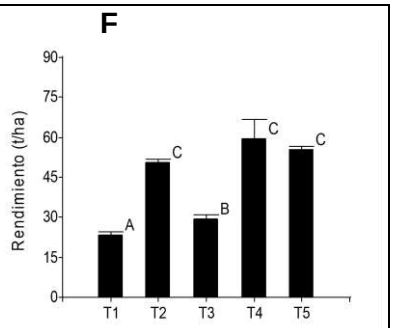
Respecto a los componentes de rendimiento cultural, la mejora en el estatus nutricional de P del cultivo (Tabla 2) generó incrementos significativos en población (Fig. 1A) y peso de tallos (Fig. 1B) en los tratamientos T4 y T5 (N+P) en la soca 4, manifestando la deficiencia de P en el sitio. Los tratamientos T4 y T5 mostraron aumentos de producción de 37% y 52% respecto a T2 (N), respectivamente, y de alrededor del 100% respecto a T1 (sin fertilizar) (Fig. 1C). Los rendimientos en dicha campaña fueron de 42 t/ha, 54 t/ha, 50 t/ha, 74 t/ha y 82 t/ha para los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5, respectivamente (Fig. 1 C).

La diferencia entre los tratamientos T2 y T4 se debe exclusivamente al agregado de P (SFT), ya que la fuente y dosis de N aplicada fue la misma en ambos. En el caso de T5, además de la sinergia entre N y P, otros posibles aportes a la respuesta obtenida en soca 4 podrían ser la combinación de fuente y dosis de N utilizada, la fuente de P y la presencia de otros nutrientes como azufre (S).

La respuesta al N (T2 vs T1) fue de 29%, y la respuesta al agregado de P solo (T3 vs T1) fue de 19%. Agregando N+P juntos (T4 y T5 vs T1) generó respuestas de 76% y 95%, evidenciando el efecto sinérgico del agregado de N y P en dicha campaña (Fig 1 A y B).

En la soca 5, las diferencias observadas entre T4 y T5 (N+P residual) respecto a T2 (N), no fueron estadísticamente significativas (Fig. 1D, E y F) a pesar de las diferencias en P foliar. Sin embargo, la respuesta promedio en rendimiento al P residual (T4 y T5) fue de 18% y 10% respecto a T2 (Fig1 F). Los tratamientos con N (T2, T4 y T5) se diferenciaron estadísticamente de los tratamientos sin N en todas la variables analizadas (Fig. 1D, E y F).



Soca 5 (2019-2020)			
Fig. 1	**A y D:** Número de tallos por metro lineal de surco (p<0,05).	**B y E:** Peso de tallo promedio por tratamiento (p<0,05).	**C y F:** Rendimiento de caña (t/ha) por tratamiento (p<0,05).

Las medias que no comparten la misma letra son significativamente diferentes según LSD Fisher al 5% del nivel de significancia.

Los componentes del rendimiento de todos los tratamientos en la campaña 2019-20 fueron menores que en la campaña 2018-19. Esto se explicaría por el efecto del envejecimiento de la cepa (edad); además del menor aporte de lluvias y el granizo ocurridos en 2019-2020.

Se observa que la caída de producción de T2 (N) de soca 4 a soca 5 fue solo del 5%, mientras que la caída en T4 (N+P) fue de 20%, habiendo recibido ambos el mismo aporte de N en las dos campañas. Según Blake *et al*. (2003), el efecto residual de la fertilización con P depende principalmente del balance de P y de la capacidad de adsorción del suelo.

El requerimiento de P de la variedad LCP 85-384 es 0,22 kg P/t de caña (Romero *et al.*, 2020). Así, con rendimientos de 82 y 74 t/ha para T5 y T4, el P en la biomasa aérea de la soca 4 fue de 41 kg y 37 kg de P_2O_5/ha, respectivamente. Una fracción de ese P retorna con el RAC, aunque no es de disponibilidad inmediata. La absorción de P en el ciclo 2018-19, superó la dosis anual de 30 kg P_20_5/ha aplicada. Syers *et al.* (2008) estableció que el P residual contribuye a la reserva fácilmente disponible para la planta, pero que su tasa de liberación puede no ser suficiente para cubrir los requisitos de cultivares de alto rendimiento. Se podría inferir que el P disponible para la soca 5 fue menor que en soca 4, resultando limitante para los rendimientos en un suelo con niveles de P extractable inferiores al crítico.

En el tratamiento T5, la menor respuesta en soca 5 (10% en lugar de 52%) puede deberse, además de lo anteriormente citado para el P, a una menor disponibilidad de N, ya que se fertilizó con isodosis de productos comerciales (3kg CAN/surco vs 3kg urea /surco).

Respecto a la calidad del jugo, no se observó diferencias significativas entre tratamientos.

Al incrementar los rendimientos, el P permitió prolongar la vida del cañaveral por dos cosechas más, generando beneficios económicos, logísticos y ambientales.

Los elevados niveles de respuesta al P observados en este ensayo tanto en aplicación incorporada como en superficie, resultan muy interesantes dada la edad avanzada del cañaveral e invitan a reanalizar posibles estrategias de manejo de este nutriente.

Además, la posibilidad de hacer un aporte de P a las cañas socas y sin la necesidad de incorporarlo al suelo, sino haciéndolo sobre el RAC, resulta una importante herramienta técnica y operativa para el productor que puede facilitar la adopción de estas estrategias.

CONCLUSIONES

- La refertilización con P en socas de edad avanzada, fertilizadas con N, generó respuestas significativas en los contenidos foliares de este elemento y en los rendimientos culturales de la caña de azúcar.

- El P manifestó efecto residual en las socas posteriores a la de su aplicación.
- La aplicación superficial de P generó respuestas similares a la aplicación incorporada. La posibilidad de aplicar P en superficie, implica una importante mejora operativa, pero debe evaluarse su eficiencia en las diferentes condiciones edafoclimáticas.
- Podrían plantearse mejoras en el manejo de la fertilización fosfatada orientadas a incrementar la productividad y longevidad del cañaveral, de forma eficiente, operativa y sustentable.

BIBLIOGRAFIA

1. Blake L., A.E. Johnston, P.R. Poulton y K.W.T. Goulding. 2003. Changes in soil phosphorus fractions following positive and negative phosphorus balances for long periods. Plant and Soil 254: 245-261.
2. Fontanetto, H., Vivas, H., Albrecht, R., &Hotian, J. L. (2003). La fertilización con N, P y S y su residualidad en una secuencia agrícola de la región central de Santa Fe. I- efecto sobre el rendimiento de granos. *Inta*.
3. Kingston, G. 2013. *Sugarcane: Physiology, Biochemistry, and Functional Biology*, 85–120.
4. Pérez Zamora. 1997. Consideraciones sobre fertilizantes para la caña de azúcar. Guía práctica para su uso en Tucumán. Publicación Especial Nº 13 – EEAOC.
5. Pérez Zamora, F.; J. Scandaliaris, R. Villegas, A. Menéndez y M. Morandini. 1999. Criterios modernos para la fertilización de caña de azúcar en Tucumán. Publicación especial Nº14. EEAOC.
6. Pérez Zamora, Federico; Jorge Scandaliaris, Rafael Villegas y Guillermo Fadda. 2000. “Efecto de la fertilización fosfórica sobre los niveles productivos de caña de azúcar en Tucumán. XVII CACS, Mar del Plata 2000, Buenos Aires, Argentina.
7. Pérez Zamora, F.; J. Scandaliaris, R. Villegas y G. Fadda. 2002. Efecto de la fertilización fosfórica sobre los niveles productivos de caña de azúcar en Tucumán. Informaciones Agronómicas Nº46.IPNI. p 11-13.
8. Romero, Juan I.; F. Madrid; J. Navarro Di Marco; H. Rojas Quinteros; A. Sanzano; E. R. Romero. 2020. Requerimiento y extracción de nutrientes de una variedad de caña de azúcar bajo riego por goteo y en secano en Tucumán-Argentina. RIAT 97 (1).
9. Romero, Juan I.; F. Madrid; J. Navarro Di Marco; H. Rojas Quinteros; G. Juárez**, R. Dellmans**, A. Sanzano* y E. R. Romero. 2022. Balance aparente de macronutrientes en caña de azúcar con riego por goteo y secano en Tucumán-Argentina. RIAT 99(1): 53-60.
10. Singh, P. *et al.* (2013) ‘Ratooning Induced Rhizospheric Changes Impede Nutrient Acquisition and Growth in Sugarcane Ratoon Crop During Grand Growth Stage in Sub-tropics’, *Sugar Tech*, 15(1), pp. 52–64.
11. Syers, J. K., A.E. Johnston, and D. Curtin. 2008. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin 18. FAO-UN. 107pp.
12. Zambrosi, F. C. B.; Vasconcelos Ribeiro R., Caruso Machado, E., y Garcia J. C.. 2017. ‘Phosphorus deficiency impairs shoot regrowth of sugarcane varieties’, *Experimental Agriculture*, 53(1), pp. 1–11.
13. Zambrosi, B. F. C. (2020) ‘Phosphorus Fertilizer Reapplication on Sugarcane Ratoon: Opportunities and Challenges for Improvements in Nutrient Efficiency’, *Sugar Tech*. Springer India, 23(3), pp. 704–708.

ALTERNATIVAS DE USO DE UN BIOESTIMULANTE Y EFECTOS SOBRE EL RENDIMIENTO CULTURAL DE CAÑA DE AZÚCAR

Leggio Neme, M. F.; Alonso, Luis G.; Fernández González, P.; Fajre, S.; Alderete, M. y Romero, E.R.
Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) - Av. Williams Cross 3150, Las Talitas (4101), Tucumán; Argentina; fleggio@eeaoc.org.ar

Palabras clave: bioactivadores, fertilización, déficit hídrico, caña de azúcar

Introducción

La producción de caña de azúcar es una de las actividades de mayor importancia económica y social en el noroeste argentino, y ese cultivo es la principal fuente para la obtención de azúcar y la materia prima más eficiente para la producción de bioetanol. Debido a su elevada capacidad de producción de biomasa y a la prolongada duración de su ciclo, la caña de azúcar posee elevados requerimientos tanto de nutrientes como de agua. Está comprobado, tanto en Tucumán como en todas las áreas cañeras del mundo, que la fertilización nitrogenada de la caña de azúcar resulta una práctica fundamental para la obtención de cañaverales de alto rendimiento (Franco *et al*., 2011; Thorborne*et al*., 2011).

El nitrógeno es uno de los constituyentes más importantes de la planta; forma parte de aminoácidos, proteínas y otros componentes orgánicos (Malavolta, 2006). Los principales efectos derivados de la aplicación del nitrógeno en el cañaveral se evidencian en un mejor y más rápido macollaje (mayor población de tallos), como también en un mayor crecimiento vegetativo (más follaje y mayor altura y peso de los tallos), lo que permite obtener un rendimiento superior en caña y azúcar/ha. Su deficiencia produce un amarillamiento de las hojas, cepas de poco vigor y una reducción drástica del rendimiento de la caña de azúcar (Romero *et al.,* 2009).

El fertilizante nitrogenado más utilizado mundialmente es la urea (46% de Nitrógeno). Diferentes estudios demuestran que éste presenta importantes pérdidas de N en forma de amoníaco (volatilización) cuando no es debidamente incorporado en el suelo, y también hay pérdidas por lixiviación a capas profundas (Cantarella*et al.,* 2008). Actualmente, está tomando relevancia el uso de nitrato de amonio calcáreo como alternativa, buscando mejorar la eficiencia en el uso del Nitrógeno y, como consecuencia, aumentar la producción de la caña de azúcar y favorecer la sustentabilidad del sistema productivo (Mariano *et al.,* 2016).

En este contexto del manejo sustentable, se enmarca tambien la utilización de los biofertilizantes como alternativa para reducir el uso de fertilizantes químicos. Los biofertilizantes están constituidos por bacterias promotoras del crecimiento de las plantas o bacterias PGPB (siglas en inglés de “plantgrowthpromoting bacteria”), capaces de mejorar la nutrición, la sanidad y el crecimiento vegetal a través de diferentes mecanismos tales como la fijación biológica de nitrógeno, la producción de fitohormonas y la solubilización de fosfatos (Saharan and Nehra, 2011).

Por otra parte, en los últimos años, se produjo una expansión del cultivo de la caña de azúcar hacia el este de la provincia, zona tradicionalmente cultivada con granos. Estas zonas resultan marginales para el cultivo de esta sacarífera, ya que la disponibilidad de agua es insuficiente para todo el ciclo de crecimiento del cañaveral, en especial durante la primavera e inicio del verano. El déficit hídrico en las fases iniciales (emergencia y parte del macollaje) debido a las primaveras secas, resulta significativo por su incidencia en el desarrollo fenológico y el momento del cierre, que definen el inicio del gran crecimiento. Su retraso a causa del estrés

hídrico afecta negativamente el rendimiento cultural, en magnitud diferente según los suelos, el manejo, la edad del cañaveral, la variedad y las lluvias estivales (Digonzelli y Romero, 2013).

Una herramienta biológica para minimizar los efectos del estrés es el uso de bioestimulantes.

Un bioestimulante es una sustancia, un microorganismo, o mezclas de ellos, que cuando se aplica a las semillas, a las plantas, o al suelo como medio de crecimiento de las raíces, promueve procesos biológicos que mejoran la disponibilidad de nutrientes y optimizan su absorción; aumentan la capacidad de las plantas para tolerar diversos factores de estrés abiótico, o mejoran el rendimiento y la calidad de las cosechas (du Jardin, 2015; Van Oosten*et al.*, 2017).

Por todo lo expuesto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de un producto bioestimulante (a base de extracto de algas) sobre el rendimiento cultural de la caña de azúcar, aplicado como fertilizante en caña planta, como complemento de la fertilización nitrogenada y como recuperador de estrés hídrico.

Materiales y Métodos

Se realizaron 10 ensayos desde 2018, distribuidos en lotes de localidades representativas de la zona cañera de la provincia de Tucumán (Tabla 1).

Tabla 1: Detalle de ensayos realizados con el bioestimulante en todas las campañas y localidades evaluadas. Tucumán, Argentina.

Ensayo	Campaña	Localidad	Variedad	Edad	Momento de aplicación (Bioproductos)	Tratamiento
Fertilizante	2019-2020	Acheral	LCP 85-384	planta	1º quincena diciembre	Testigo
						Biofertilizante 10 l/ha
						Bioestimulante 2 l/ha
Fertilizante	2019-2020	Coop. Mayo	LCP 85-384	planta	1º quincena diciembre	Testigo
						Biofertilizante 10 l/ha
						Bioestimulante 2 l/ha
Complemento de la fertilización	2018-2019	La Argentina	TUC 95-10	soca 1	1º quincena diciembre	CAN 250 kg/ha
						CAN 125 kg/ha + Bioestimulante 2 l/ha
Complemento de la fertilización	2018-2019	La Argentina	TUC 95-10	soca 2	1º quincena diciembre	CAN 250 kg/ha
						CAN 125 kg/ha + Bioestimulante 2 l/ha
Complemento de la fertilización	2020-2021	Acheral	LCP 85-384	soca 1	1º quincena diciembre	CAN 250 kg/ha
						CAN 125 kg/ha + Bioestimulante 2 l/ha

Complemento de la fertilización	2021-2022	Acheral	LCP 85-384	soca 2	1º quincena diciembre	CAN 250 kg/ha
						CAN 125 kg/ha + Bioestimulante 2 l/ha
Recuperador estrés estival	2019-2020	La Argentina	LCP 85-384	soca 1	3º década diciembre	Testigo
						Bioestimulante 2 l/ha
Recuperador estrés estival	2021-2022	La Argentina	LCP 85-384	soca 1	3º década febrero	Testigo
						Bioestimulante 1 l/ha
						Bioestimulante 2 l/ha
Recuperador estrés primaveral	2020-2021	La Argentina	LCP 85-384	soca 1	1º década noviembre	Testigo
						Bioestimulante 1 l/ha
						Bioestimulante 2 l/ha
Recuperador estrés primaveral	2021-2022	La Argentina	LCP 85-384	soca 1	1º década noviembre	Testigo
						Bioestimulante 1 l/ha
						Bioestimulante 2 l/ha

Fertilizante en caña planta: Los tratamientos fueron testigo sin fertilizar, Biofertilizante 10 l/ha (testigo aplicado) y Bioestimulante 2 l/ha. Las aplicaciones se realizaron durante la primera quincena de diciembre (Tabla 1). El diseño experimental empleado fue el de parcelas en bloques al azar con tres repeticiones. Cada parcela estuvo constituida por cuatro surcos de 50 metros de largo, distanciados a 1,6 metros, abarcando una superficie de 240 m2. Para las aplicaciones se utilizó una mochila manual, pulverizando sobre el follaje con un caudal de 100 litros/ha.

Complemento de la fertilización nitrogenada: Los tratamientos fueron testigo fertilizado con CAN 250 kg/ha y CAN 125 kg/ha + Bioestimulante 2 l/ha (como potencial alternativa al biofertilizante utilizado actualmente). Las aplicaciones del bioproducto se realizaron durante la primera quincena de diciembre (Tabla 1). El diseño experimental empleado fue el de parcelas en bloques al azar con tres repeticiones. Cada parcela estuvo constituida por cuatro surcos de 75 - 100 metros de largo, distanciados a 1,6 metros, abarcando una superficie de 480 a 640 m^2. Los tratamientos se aplicaron con equipos para abonos sólidos de dos surcos con las mangueras de los bajadores sobre la línea del surco, aplicados en superficie.

Recuperador de estrés hídrico: Los tratamientos fueron testigo (fertilizado de base con CAN dosis completa), Bioestimulante 1 l/ha y Bioestimulante 2 l/ha. Los cañaverales presentaban importantes síntomas de estrés hídrico (hojas acartuchadas, retraso en el crecimiento), por lo tanto las aplicaciones se realizaron posteriores a una lluvia de intensidad apropiada (30 mm aproximadamente) para lograr una condición óptima en el follaje receptor del producto (Tabla 1). El diseño experimental empleado fue el de parcelas en bloques al azar con tres repeticiones. Cada parcela estuvo constituida por cuatro surcos de 50 metros de largo, distanciados a 1,6

metros, abarcando una superficie de 240 m^2. Para las aplicaciones se utilizó una mochila manual, pulverizando sobre el follaje con un caudal de 100 litros/ha.

Evaluaciones:

Para determinar la población de tallos, al momento de cosecha, se contó el número de tallos en 10 metros, en tres surcos de cada parcela. Para determinar el peso individual de tallos se pesaron 30 tallos por parcela, pelados y despuntados en su punto natural de quiebre. Con el número y el peso de los tallos se estimó la producción cultural.

Para la medición de los parámetros de calidad fabril (Brix % y Pol % jugo), se analizaron muestras de 10 tallos en el laboratorio de Investigación Azucarera de la Sección Química de la EEAOC, y a partir de esos valores se pudo estimar la producción de azúcar.

Se realizó un análisis de la varianza y el test de comparación de medias fue LSD de Fisher, con un nivel de significancia de 10%. Se utilizó el software InfoStat (Di Rienzoet al., 2014).

Resultados

En la Tabla 2 se muestran los resultados promedios obtenidos para cada tratamiento.

Tabla 2: Valores promedio de rendimiento cultural (t/ha) para los ensayos del bioestimulante como fertilizante en caña planta, como complemento de la fertilización nitrogenada y como recuperador de estrés. Tucumán-Argentina.

Fertilizante caña planta		**Complemento fertilización nitrogenada**		**Recuperador de estrés hídrico**	
	Rto. cult. t/ha		**Rto. cult. t/ha**		**Rto. cult. t/ha**
Testigo	51,1 A	**CAN 250 kg/ha**	80,2 A	**Testigo**	57,1 A
Biofertilizante 10 l/ha	56,9 A			**Bioestimulante 1 l/ha**	66,9 B
Bioestimulante 2 l/ha	57,7 A	**CAN 125 kg/ha + Bioestimulante 2 l/ha**	77,1 A	**Bioestimulante 2 l/ha**	66,3 B

Fertilizante en caña planta:No se encontraron diferencias significativas entre el testigo sin fertilizar y las aplicaciones del biofertilizante usado comercialmente y el bioestimulante evaluado. Los incrementos alcanzados, si bien no llegan a superar significativamente al testigo sin aplicar, son esperados, ya que las cañas plantas tienen una menor necesidad de ser fertilizadas porque disponen de mayores cantidades de N asimilable en el suelo. Esto último se debe a la incorporación de materia orgánica realizada durante el descepado del cañaveral anterior y a los aumentos en la tasa de mineralización(Romero *et al.,* 2009).

Complemento de la fertilización nitrogenada:El resultado promedio del rendimiento cultural alcanzado por los cuatro ensayos demostró que la media dosis del fertilizante nitrogenado sintético, complementado con 2 l/ha del bioestimulante a base de algas, tuvo un resultado similar

al logrado con la dosis completa de CAN. Esto demuestra que el bioestimulante logró mejorar el aprovechamiento del fertilizante sintético por parte de la planta, tal lo afirmado para el uso debiofertilizantespor Alonso *et al.* (2010 y 2012).

Recuperador de estrés hídrico: Los incrementos de rendimiento cultural logrados por la aplicación del bioestimulante con respecto al testigo sin aplicar fueron significativos estadísticamente en las dos dosis evaluadas. Estos incrementos (Figura 1) luego de un déficit hídrico estival fueron significativos y mayores (11% a 23% con respecto al testigo) que los primaverales (9% al 19%). Esta diferencia podría atribuirse al efecto más marcado de la aplicación de un producto bioestimulante durante el período de gran crecimiento de la caña de azúcar. El cultivo pudo haber realizado un uso más eficiente del agua y mejorar su comportamiento metabólico ante esas condiciones de estrés (Alonso *et al.*, 2012 y Leggio Neme *et al.*, 2022). Evidencias científicas corroboran la acción estimulante de diferentes tipos de extractos promoviendo la tolerancia de las plantas a distintas condiciones de estrés abiótico (Van Oosten*et al.*, 2017; Di Stasio*et al.*, 2018; Sharma*et al.*, 2019).

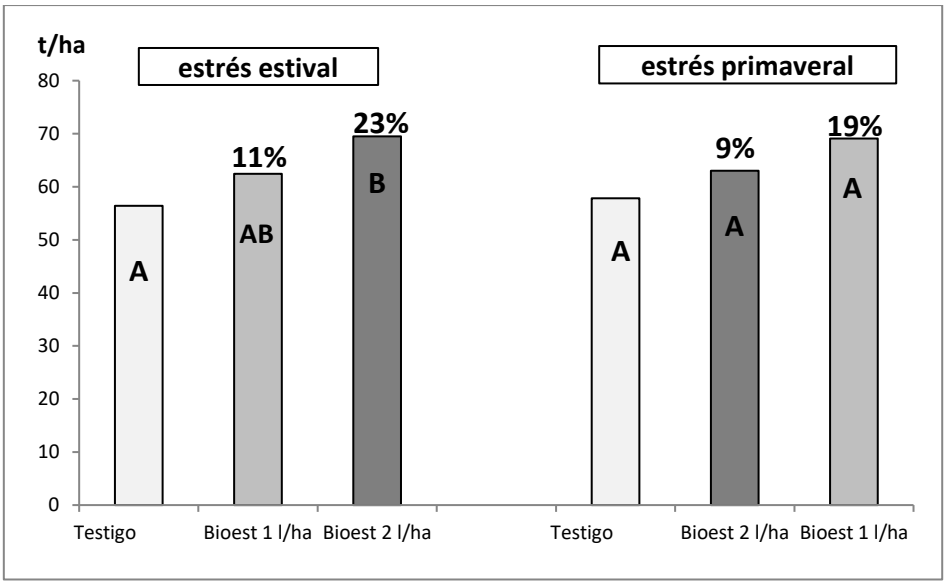


Figura 1: Rendimiento cultural promedio de todos los ensayos, obtenido para cada tratamiento bioestimulante y el testigo sin aplicar, posterior a un estrés estival y primaveral. Tucumán-Argentina.

En caña de azúcar, Chen*et al.* (2021) y Karthikeyan y Shanmugam (2017) realizaron evaluaciones de aplicación de este tipo de bioestimulantes con incrementos satisfactorios sobre el rendimiento de tallos molibles.

En cuanto a los parámetros de calidad de jugo evaluados (Brix% y Pol% jugo), no hubo diferencias entre tratamientos. Esto indica que no hubo efectos negativos sobre la acumulación de azúcar con ninguno de los bioestimulantes y dosis empleados.

Conclusiones

Este bioestimulante con extracto de algas mostró un comportamiento similar al biofertilizante comercial utilizado para la fertilización de caña planta, en cuanto al incremento del rendimiento cultural.

Los resultados alcanzados cuando fue utilizado como complemento de media dosis del fertilizante nitrogenado,fueron similares a los logrados con la dosis completa del fertilizante sintético.

Las aplicaciones realizadas luego de condiciones de sequía estival y primaveral mejoraron los valores de rendimiento cultural, con respuestas significativas en la aplicación estival.

Ninguno de los tratamientos evaluados en todas las alternativas de uso del bioestimulante, tuvo efecto negativo en los parámetros de calidad fabril del cultivo.

El creciente interés en el desarrollo y ajuste de productos bioestimulantes requiere estudios más profundos y continúan siendo temas centrales para nuestras investigaciones.

Referencias

Alonso, L.; Romero, E.; Leggio, M.F.; Fernández González, P.; Casen, S.; Véliz, S. y Fajre, S. 2010. Trabajo presentado en la XVI Reunión Técnica de SATCA 2010. Tucumán, Argentina.
Alonso, L; Romero, E.; Fernández González, P.; Leggio, M.F.; Fajre, S.; Rodríguez Bravo, M. 2012. Trabajo presentado en la XVIII Reunión Técnica de SATCA 2012. Tucumán, Argentina.

Cantarella, H.; P. C. OcheuzeTrivelin; T. L. MichelucciContin; F. L. Ferreira Dias; R. Rossetto; R. Marcelino; R. Badran Coimbra and J. A. Quaggio. 2008. Ammonia volatilization from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. Scientia Agricola 65 (4): 397-401.
Chen D., Zhou W., Yang J., Ao J., Huang Y., Shen D., Jiang Y., Huang Z., Shen H. 2021. Effects of seaweed extracts on the growth, physiological activity, cane yield and sucrose content of sugarcane in China. Frontiers in Plant Science 12, 659130. doi: 10.3389/fpls. 2021.659130
Di Rienzo, J. A.; F. Casanoves; M. G. Balzarini; L. Gonzalez; M. Tablada y C. W. Robledo. InfoStat. 2014. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. [En línea] Disponible en: http://www.infostat.com.ar
Digonzelli, Patricia y Romero, Eduardo R. 2013. La caña de azúcar y la disponibilidad hídrica. RevistaAvanceAgroindustrial. EEAOC. Tucumán, Argentina, Nº34-4, pp. 14-15.
du Jardin P. 2015. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. ScientiaHorticulturae 196: 3-14; doi: 10.1016/j.scienta.2015.09.021.
Franco, H. C. J.; R. Otto; C. E. Faroni; A. C. Vitti; E. C. A. Oliveira and P. C. O. Trivelin. 2011. Nitrogen in sugarcane derived from fertilizer under Brazilian field conditions. Field Crops Research 121: 29-41.
Karthikeyan, K., and Shanmugam, M. (2017). The effect of potassium-rich biostimulant from seaweed kappaphycusalvarezii on yield and quality of cane and cane juice of sugarcane var. Co 86032 under plantation and ratoon crops. *J. Appl. Phycol.* 29:3245. doi: 10.1007/s10811-017-1211-6.
Leggio Neme, M. F.; Alonso, L.; Fernández González, P.; Fajre, S.; Alderete, M. y Romero, E. 2022. Efecto de dos bioestimulantes aplicados como recuperadores de estrés en caña de azúcar, Tucumán – Argentina. Memorias del XII Congreso Tecnicaña. Septiembre 2022, Cali, Colombia.

Malavolta, E. 2006. Manual de Nutriçi ão Mineral de Plantas [Manual ofPlant Mineral Nutrition]. São Paulo, Brazil: Agronômica Ceres, pp. 638.
Mariano; E.; J. M. Leite; M. X. Vieira-Megda; I. A. Ciampitti; A. C. Vitti; C. E. Faroni.; H. C. J. Franco and P. C. O. Trivelin. 2016. Biomass and nutrient content as sugarcane as affected by fertilizer nitrogen sources, Crop Science Madison 56: 1234-1244.
Romero, E. R.; L. G. Alonso; S. D. Casen; M. F. Leggio Neme; M. J. Tonatto; J. Scandaliaris; P. A. Digonzelli; J. A. Giardina y J. Fernández de Ullivarri. 2009. Fertilización de la caña de azúcar. Criterios y recomendaciones. Capítulo 7. Manual del Cañero. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres. (Eds.) Romero, E. R; P. A. Digonzelli y J. Scandaliaris, pp. 87-100.
Saharan, B. S. and V. Nehra. 2011. Plant growth promoting rhizobacteria: a critical review. Life Sciences and Medicine Research 21: 1-30.
Thorburn, P. J.; J. S. Biggs; S. J. Webster and I. M. Biggs. 2011. An improved way to determine nitrogen fertiliser requirements of sugarcane crops to meet global environmental challenges. Plant and Soil 339: 51-67.
Van Oosten MJ, Pepe O, De Pascale S, Silletti S, Maggio A. 2017. The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. Chemical and Biological Technologies in Agriculture 4(5): 1-12; doi: 10.1186/s40538-017-0089-5.

CENSO VARIETAL DE CAÑA DE AZUCAR 2022 EN JUJUY Y SALTA

Nanni ML[1] ; Blesa T[2] ; Easdale C[3] ; Lema R[4] ; Capobianco M[5] ; Serino G[1] ; Yañez Cornejo F[1]

1 Chacra Experimental Agrícola Santa Rosa. Colonia Santa Rosa, Salta, Argentina
2 Union Cañeros Independientes de Jujuy y Salta. San Pedro, Jujuy, Argentina
3 Ledesma. Libertador General San Martín, Jujuy, Argentina
4 Seaboard Alimentos y Energías Renovables. San Martín de Tabacal, Salta, Argentina
5 Ingenio Río Grande. La Mendieta, Jujuy, Argentina
mnanni@chacraexperimental.org, fyanez@chacraexperimental.org.

Palabras clave: *Saccharum officinarum*; Mejoramiento genético; Cultivares; Relevamiento; NOA

Introducción

El Norte Argentino (provincias de Jujuy y Salta) ocupa 26% de la superficie de producción de caña de azúcar del país. Las características agroecológicas de esta región, incluyendo régimen hídrico, distribución de temperaturas, frecuencia de heladas, superficie bajo riego, tamaño promedio de las explotaciones, y otras características de índole productivo difieren notablemente respecto a la región cañera de la provincia de Tucumán, que ocupa prácticamente el resto de la superficie del cultivo. La Chacra Experimental Agrícola Santa Rosa desarrolla cultivares de caña buscando satisfacer las necesidades productivas de la región Norte.

Objetivos

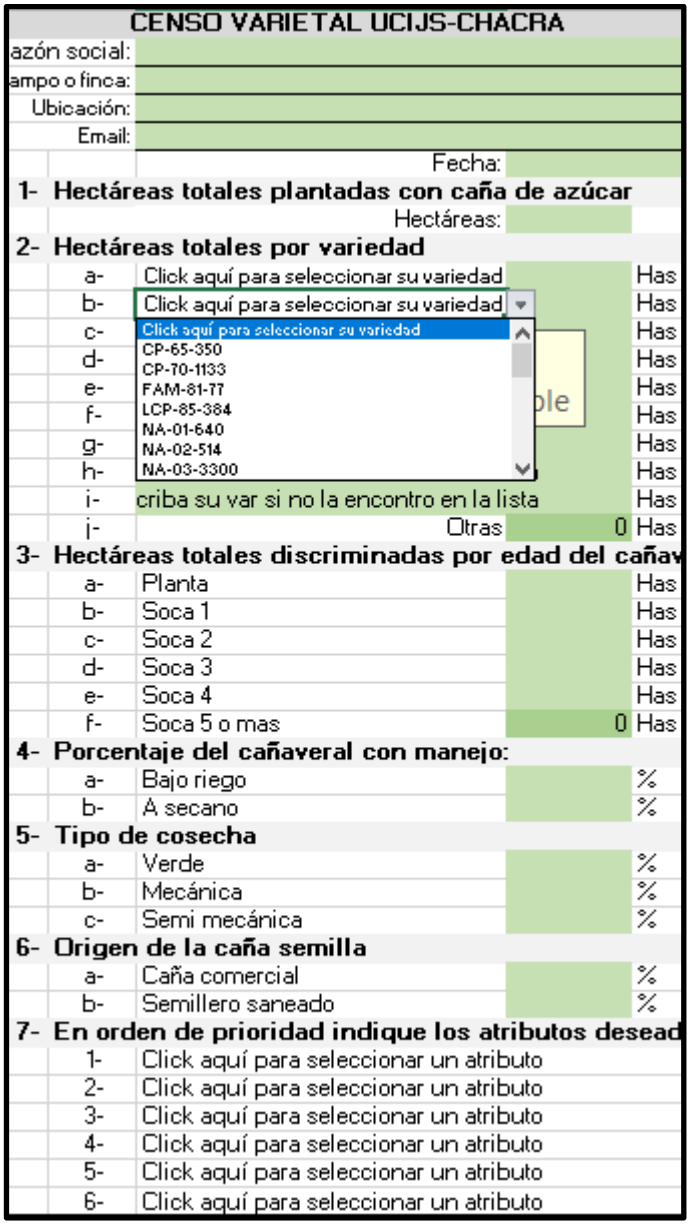
Este trabajo tiene como objetivo principal describir la composición varietal actual de la región cañera del norte y la evolución de ésta respecto al censo llevado a cabo en el año 2020 (Ostengo et al., 2021).

Materiales y métodos

Se realizó una encuesta a los productores de Jujuy y Salta incluyendo productores asociados a la Unión Cañeros Independientes de Jujuy y Salta, productores no asociados, e Ingenios. La encuesta se confeccionó como formulario digital incluyendo información precargada para facilitar y estandarizar la carga y el procesamiento de datos (Figura 1). Se solicitó información sobre superficie total implantada, superficie discriminada por variedad, edad de los cañaverales. Además, se solicitó información sobre área bajo riego, tipo de cosecha, origen de caña semilla, y sobre los atributos deseados en un clon comercial, aspectos que no son el objeto de este trabajo. La encuesta fue distribuida a los productores y la información resultante enviada a la Chacra Experimental Agrícola Santa Rosa para su carga, procesamiento y análisis.

Se sumó la superficie indicada en cada relevamiento plantada con cada cultivar para obtener la superficie total. Se calculó el porcentaje de participación de cada cultivar dividiendo las hectáreas plantadas con el cultivar sobre las hectáreas totales relevadas. La variación de las superficies implantadas con cada cultivar se calcularon en referencia a las superficies censadas en 2020 (Ostengo et al., 2021).

La estimación de superficie plantada con cultivares NA en el censo 2020 y en este trabajo excluye, en ambos casos, 6% de “otros cultivares” donde no se indica el programa de origen.



CENSO VARIETAL UCIJS-CHACRA

azón social:				
ampo o finca:				
Ubicación:				
Email:				
		Fecha:		
1-	**Hectáreas totales plantadas con caña de azúcar**			
		Hectáreas:		
2-	**Hectáreas totales por variedad**			
	a-	Click aquí para seleccionar su variedad		Has
	b-	Click aquí para seleccionar su variedad		Has
	c-			Has
	d-			Has
	e-			Has
	f-			Has
	g-			Has
	h-			Has
	i-	criba su var si no la encontro en la lista		Has
	j-	Otras	0	Has
3-	**Hectáreas totales discriminadas por edad del cañav**			
	a-	Planta		Has
	b-	Soca 1		Has
	c-	Soca 2		Has
	d-	Soca 3		Has
	e-	Soca 4		Has
	f-	Soca 5 o mas	0	Has
4-	**Porcentaje del cañaveral con manejo:**			
	a-	Bajo riego		%
	b-	A secano		%
5-	**Tipo de cosecha**			
	a-	Verde		%
	b-	Mecánica		%
	c-	Semi mecánica		%
6-	**Origen de la caña semilla**			
	a-	Caña comercial		%
	b-	Semillero saneado		%
7-	**En orden de prioridad indique los atributos desead**			
	1-	Click aquí para seleccionar un atributo		
	2-	Click aquí para seleccionar un atributo		
	3-	Click aquí para seleccionar un atributo		
	4-	Click aquí para seleccionar un atributo		
	5-	Click aquí para seleccionar un atributo		
	6-	Click aquí para seleccionar un atributo		

Click aquí para seleccionar su variedad
CP-65-350
CP-70-1133
FAM-81-77
LCP-85-384
NA-01-640
NA-02-514
NA-03-3300

Figura 1. Imagen del archivo digital enviado a productores de Salta y Jujuy para el relevamiento varietal realizado por Chacra Experimental Agrícola Santa Rosa correspondiente a la campaña 2022.

Resultados

La información recabada corresponde a 88.840 hectáreas. Esta superficie representa aproximadamente 90% de las 98.092 hectáreas cosechables de caña de Jujuy y Salta reportadas

por Benedetti (2018). La información obtenida corresponde a cañaverales de los Ingenios San Isidro, Río Grande, Seaboard, y Ledesma, así como a 19 cañeros independientes asociados y no asociados a la UCIJYS. La superficie relevada se redujo en 3870 hectáreas respecto al censo de 2020 (Ostengo et al., 2021).

Según los resultados recabados, en 2022 ocho cultivares componen 82,7% del cañaveral, indicando una diversificación en la genética de los cañaverales que ocupan la mayor superficie del cañaveral respecto a 2020, cuando siete cultivares ocupaban una superficie similar.

El cultivar más plantado actualmente es NA 05-860, ocupando un 14,6% de la superficie cañera (Tabla 1). Este cultivar, registrado en 2014, ocupaba el séptimo lugar en 2020, habiendo incrementado su superficie un 70%, cuando ocupaba 8,3% de la superficie cañera del Norte. El segundo puesto en el ranking corresponde al cultivar NA 97-3152 (14,5%), que redujo su superficie en un 16%, manteniendo su posición relativa en la lista respecto a 2020. En tercer lugar se encuentra el cultivar LCP 85-384 (13,44%), que redujo su superficie en 27% respecto a 2020, cuando lideraba el ranking con 17,8% de superficie cañera. A seguir, NA 96-2929 (13,07%) ocupa el cuarto puesto en adopción, habiendo incrementado su superficie en 29% respecto a 2020. El ranking de participación varietal se ve completado por TUCCP 77-42 (quinto lugar con 9,4% de la superficie); CP 70-1133 (sexto lugar con 8,9%); NA 03-3300 (séptimo lugar con 4,65% de la superficie), que incrementó su superficie en 22%, ingresando al conjunto de variedades que componen más del 80% del cañaveral; y NA 90-1001, que vio su superficie reducida en 54% respecto a 2020. Respecto a la adopción de cultivares NA, ésta incrementó en 55% del cañaveral censado en 2020 al 62% del censo actual. La edad promedio de los cultivares adoptados es de 30,9 años, presentando una mejora leve respecto a los 31,85 años de 2020 (datos no publicados).

Tabla 1. Superficie (2022), participación relativa (2020 y 2022), y variación en la participación relativa de los cultivares que componen 82% de la superficie relevada.

Posición	Cultivar	Total sup. (ha)	2022	2020 [1]	Variación en la participación
1	NA 05-860	12.972	14,6%	8,3%	6,3%
2	NA 97-3152	12.853	14,5%	16,6%	-2,1%
3	LCP 85-384	11.938	13,4%	17,8%	-4,4%
4	NA 96-2929	11.613	13%	9,8%	3,2%
5	TUCCP 77-42	8.378	9,4%	8,5%	0,9%
6	CP 70-1133	7.931	8,9%	8,9%	0%
7	NA 03-3300	4.134	4,7%	3,7%	1%
8	NA 90-1001	3.605	4%	8,4%	-4,4%
	Otros	15.416	17,3%	18%	
	Total	88.840	100%	100%	

1. Fuente: Ostengo et al. 2021

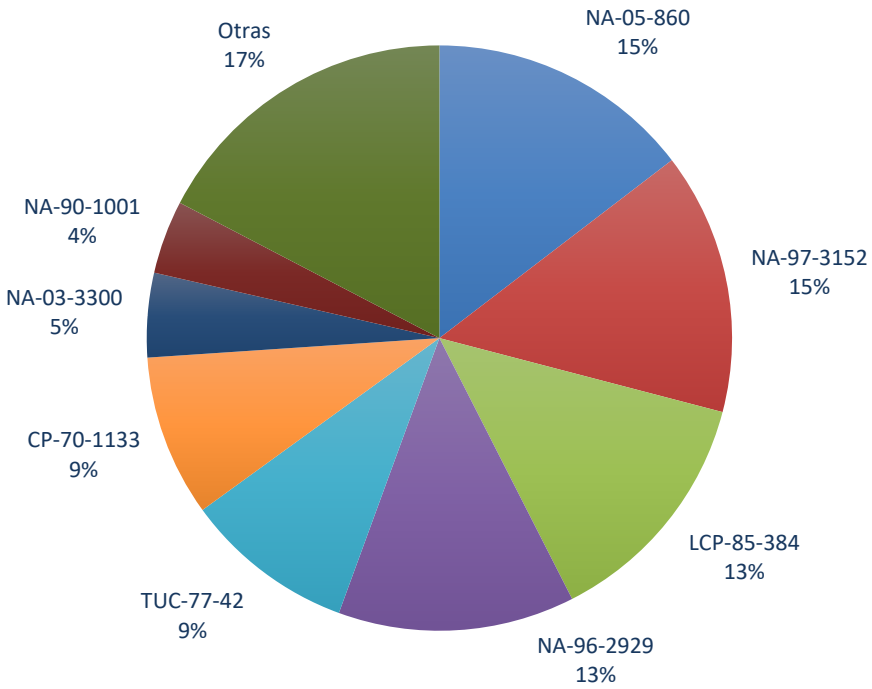


Figura 2. Participación relativa de cultivares en la superficie implantada con caña de azúcar en Jujuy y Salta relevada.

Conforme a los datos de edad de cañaveral obtenidos (Tabla 2) observamos una distribución uniforme desde caña planta a soca 3, coincidiendo con el promedio de edad de cañaveral comercial generalmente aceptado de 3,6 años para la región de Jujuy y Salta. A partir de soca 4 la superficie disminuye.

Tabla 2. Edad de los cañaverales relevados en Jujuy y Salta.

Edad	Ha	%
Planta	16.035	18%
Soca 1	14.802	17%
Soca 2	13.469	15%
Soca 3	12.050	14%
Soca 4	8.965	10%
Soca 5 o más	23.517	26%
Total general	**88.840**	**100%**

Conclusiones

El trabajo representa el segundo censo de adopción de cultivares en el Norte Argentino, abarcando aproximadamente 90% de la superficie de caña de azúcar implantada en las provincias de Jujuy y Salta. Se identifica ocho cultivares predominantes, que ocupan cerca de 83% de la superficie total relevada. Se destaca la participación de NA 05-860, que lidera el ranking de cultivares, con un incremento del 70% de la superficie implantada respecto del censo realizado en 2020. Además, se evidencia una distribución relativamente aceptable de la genética varietal, en la que ningún cultivar supera el 15% de la superficie total. Los cultivares desarrollados por Chacra Experimental Agrícola Santa Rosa (siglas NA) representan actualmente el 62% de la superficie relevada, mejorando los resultados de adopción respecto a los obtenidos en el censo 2020 (55%). La edad de los cañaverales se encuentra bien distribuida hasta soca 4, lo cual pone de manifiesto una buena planificación de las plantaciones. En próximas encuestas se profundizará sobre la superficie implantada en edades mayores a soca 5 por separado, ya que el dato obtenido (26%) revela la existencia de una fracción significativa de los cañaverales incluidos en este grupo etario.

La publicación de censos periódicos con información de adopción de cultivares en Jujuy y Salta permitirá disponer con información pública y confiable sobre la genética disponible para cañaverales comerciales, ayudando al productor en la toma de decisiones de adopción de cultivares.

Bibliografía

Benedetti, P.E., 2018, Primer relevamiento del cultivo de caña de azúcar de la República Argentina a partir de imágenes satelitales para la campaña 2018. EEA INTA Famailla. https://inta.gob.ar/sites/default/files/intainformerelevamientodelcultivodecanadeazucarenargentinaduranteel_2018_a_partide_imagenes_satelitales_1_0.pdf.

Ostengo, S.; Serino, G.; Perera, M.F.; Racedo, J.; Mamaní González, S.Y.; Yañez Cornejo, F.; Cuenya, M.I. 2021, Sugarcane Breeding, Germplasm Development and Supporting Genetic Research in Argentina, Sugar Tech (Jan-Feb 2022) 24(1):166–180.

EVALUACIÓN DEL DAÑO DE *DIATRAEA SACCHARALIS* (LEPIDOPTERA:CRAMBIDAE) EN VARIEDADES COMERCIALES DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA PROVINCIA DE TUCUMÁN

Pérez M. L. del P.[1]; Budeguer Isa R.[2]; Iovane R. J.[1]; Rodríguez D.[1]; Hernández D.[1];Ostengo S.[1]; Gastaminza G.[1]

[1] Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres

es (EEAOC). Av. William Cross 3150. Las Talitas, Tucumán, R. Argentina, T4101XAC.

[2] Instituto de Tecnología Agroindustrial del Noroeste Argentino (ITANOA), Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), CCT NOA Sur. Av. William Cross 3150. Las Talitas, Tucumán, R. Argentina, T4101XAC.

Palabras clave: gusano perforador, TUC 03-12, TUC 95-10, LCP 85-384.

INTRODUCCIÓN

El barrenador de la caña de azúcar, *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae), es la plaga económica más importante de estecultivo en las principales provincias productoras dela Argentina.En Tucumán, el promedio de Intensidad de infestación permanece estable a través de los años y ronda el 5 %, encontrándose sitios con altos niveles de daño, predominantemente en los departamentos de Cruz Alta, Burruyacú y La Cocha (Pérez *et al.,* 2022).

El empleo de cultivares tolerantes o menos susceptibles es clave al momento de optimizar los programas de manejo de integrado de plagas. Enla Argentina no existen datos sobre la caracterización del comportamiento los de los cultivares actualmente más difundidos frente a *D. saccharalis*. La información disponible en la literatura nacional (Willink*et al*., 1980; Willink*et al*., 1984)se enfocaenla diferencia de ataque de la plaga en variedades que no se cultivan en la actualidad.

En los últimos años, se evidencia una aceptación de los cultivares liberados por la EEAOC (AybarGuchea*et al*., 2020), observándose un 12 % de superficie ocupada por variedades TUC.Conocer el comportamiento de estas variedades frente al ataque de *D. saccharalis*es un aporte importante al sistema productivo provincialal momento de realizar un cambio varietal. Por ello, el objetivo de este trabajo fue comparar el daño de *D. saccharalis,*en condiciones de infestación natural,en tres variedades comerciales TUC de caña de azúcar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Monitoreos a campo y estimación de variables de daño de *Diatraea saccharalis*

Al momento de la cosecha de las campañas 2020, 2021 y 2022, se realizaron monitoreos en lotes de caña de azúcar de edad planta o soca 1, donde coexistían TUC 95-10, LCP 85-384 y TUC 03-12, o al menos dos de ellas. Los lotes monitoreados se ubicaron en las localidades de Delfín Gallo y San Agustin,departamento Cruz Alta, La Tipa, departamento Monteros y Tala Pozo y La Ramada, departamentoBurruyacú.

En la toma de muestrasse colectaron 10 muestras de 10 tallos cada una y se registraron los siguientes datos: número de entrenudos totales, número de entrenudos con una o más perforaciones, número de yemas con perforación y longitud de galería ocasionados por *D saccharalis*.Para la determinación de la última variable mencionada, se abrieron longitudinalmente los tallos y se midiócon una cinta métrica el largo de las galerías presentes dentro de cada tallo.

Para cada cultivar se estimaron las siguientes variables:

1. **Índice de intensidad de infestación (I.I.%)**= número de entrenudos perforados / número de entrenudos totales *100.
2. **Índice de infestación de yema (I.I.Y.%)**= número de yemasdañadas / número de yemas totales*100.
3. **Longitud de galería (L.G. cm)**: sumatoria de la longitud de las galerías de cada tallo.

Además, se estimó la Diferencia Relativa porcentual (DR %) de las variables antes mencionadas. Para ello se aplicó la siguiente fórmula:

D.R. (%)=(Variable de la variedad 1 –variable de la variedad 2) /variable de la variedad 2 * 100. Entendiéndose como la variedad 2 aquella que se toma como punto de comparación.

Por último, se estimó la D.R. % promedio de cada par varietal.

Análisis estadístico

En primer lugar, se ordenaron los datos en tres pares varietales. Este agrupamiento permitió analizar cada variable de daño en base a los monitoreos realizados en localidades donde se encontraba presente cada par de cultivar:

Par varietal 1:se comparó el daño de *D. saccharalis* entre TUC 95-10 y LCP 85-384. Se tomó la base de datos que incluían los monitoreos realizados en Delfín Gallo, cosechas 2020 y 2021;La Tipa, cosecha 2021 y Tala Pozo,cosecha 2022. El nº de repeticiones del Par varietal 1 fue 500.

Par varietal 2: se comparó el daño de *D. saccharalis* entre TUC 03-12 y LCP 85-384.Se trabajó con la misma base de datos descripta para el Par varietal 1.

Par varietal 3: se comparó el daño de *D. saccharalis* entre TUC 03-12 y TUC 95-10.Se trabajó con la base de datos del Par varietal 1; además se incluyeron los monitoreos realizados en la cosecha 2022 de las localidades de Delfín Gallo yLa Ramada (Burruyacú) ySan Agustin (Cruz Alta). El nº de repeticiones delPar varietal 3 fue 1180.

Para la estimación de la D.R. %, el cultivar de comparación en cada par varietal fue aquel que presentó mayor superficie plantada en la provincia (AybarGuchea*et al*., 2020).En los pares varietales 1 y 2, la variedad de referencia fue LCP 85-384 y en el par 3 fue TUC 95-10.

El análisis estadístico se realizó entre las variables de daño dentro de cada par varietal y entre la D.R. % promedio entre pares. Se usó el test t mediante el programa estadístico Infostat (Di Rienzo*et al*., 2018).

RESULTADOS

Todas las comparaciones realizadas entre los cultivares dentro de cada par varietalmostraron diferencias significativas en lasvariables estudiadas ($p<0,05$).

Par varietal 1

Al comparar la variedad LCP 85-384 con TUC 95-10,se observó que la I.I.% fue mayor en LCP 85-384 (25,2%), mientras que TUC 95-10 registró un 20,7 % (Figura 1); esto representa una DR de la I.I.% del 17 %. Esto significa que TUC 95-10 presentó un 17% menos de entrenudos perforados que LCP 85-384 (Tabla 1).

Tabla 1. Diferencia relativa porcentual (D.R. %) de las variables de daño Intensidad de infestación (I.I. %), intensidad de infestación de yema (I.I.Y. %) y longitud de galería (L.G.), para la variedad TUC 95-10, en comparación con lLCP 85-384 (Par varietal 1); TUC 03-12 en comparación con LCP 85-384 (Par varietal 2) y TUC 03-12 en comparación con TUC 95-10 (Par varietal 3).

Variables	Par varietal 1	Para varietal 2	Par varietal 3
D.R. % I.I.	-17,9	-42,1	-20,3
D.R. % I.I.Y.	-44,2	-65,4	-33,3
D.R. % L.G.	-34,9	-58,6	-33,3
D.R. % Promedio	-32,3	-55,3	-29,0

En cuanto a la I.I.Y. %,TUC 95-10 tambiénpresentó menor daño que LCP 85-384 (DR= 44,2%),con valores de 2,9% y 5,2%, respectivamente para cada variedad. Respecto a la variable longitud de galería, siguió la misma tendencia que el análisis de las variables anteriores:en TUC 95-10 la longitud promedio por tallo alcanzó los 11 cm y en LCP 85-384 se registró un promedio de 16,9 cm.

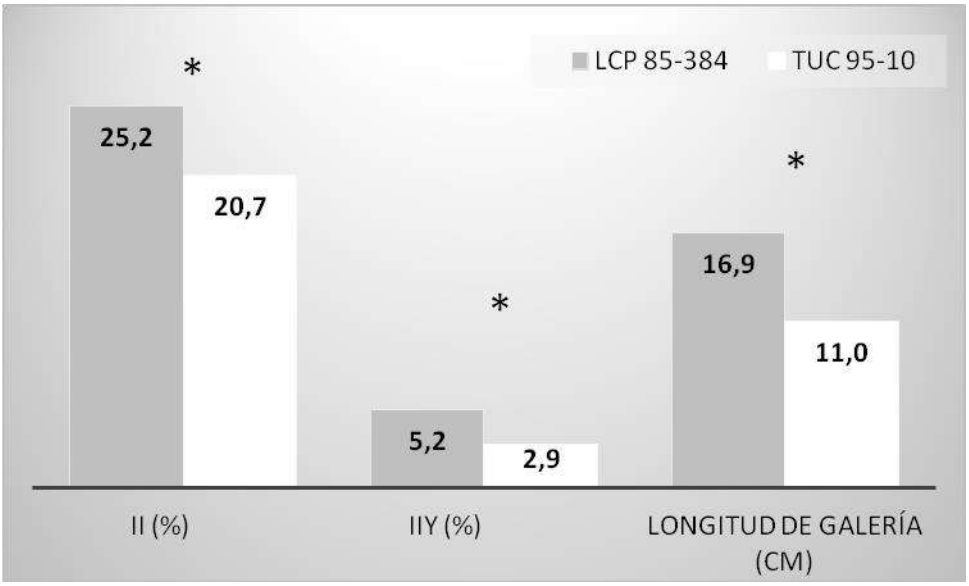


Figura 1. Intensidad de infestación (I.I.%), intensidad de infestación de yema (I.I.Y. %) y longitud de galería (cm) de *Diatraea saccharalis* en las variedades de caña de azúcar LCP 85-384 y TUC 95-10) *: Diferencias significativas detectadas mediante test t.

Par varietal 2

En la Figura 2 se observa que paralas tres variables de daño estudiadas TUC 03-12 presentó menores valores que LCP 85-384. Al analizar este par varietal se observóque la D.R. %promedio de las tres variables evaluadas fue mayor al 50 % y se diferenció estadísticamente de los otros pares varietales($p<0,005$) (Tabla 1).

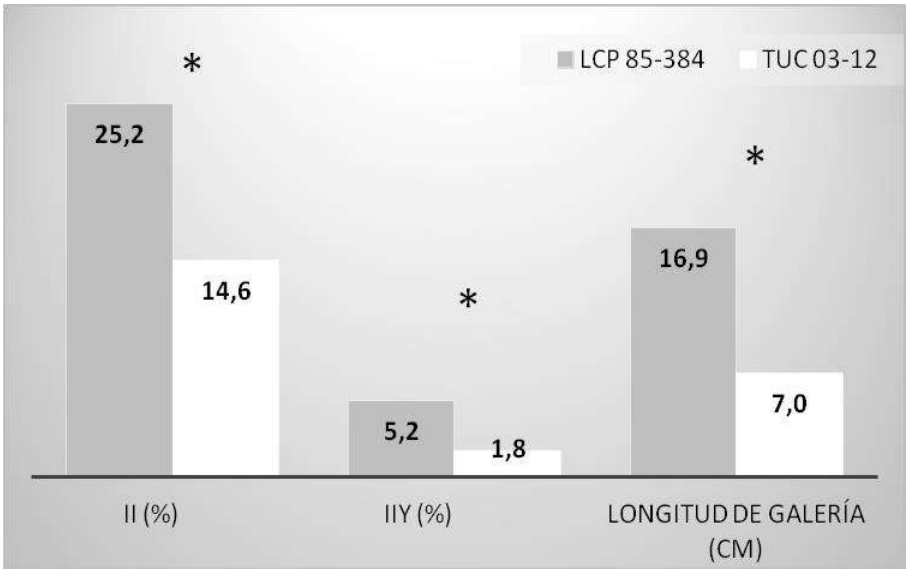


Figura 2. Intensidad de infestación (I.I.%), intensidad de infestación de yema (I.I.Y. %) y longitud de galería (cm) de *Diatraea saccharalis* en lasvariedades de caña de azúcar LCP 85-384 y TUC 03-12.*: diferencias significativas detectadas mediante test t.

Par varietal 3

Al analizar la I.I. %, TUC 03-12 (10,2 %) presentó menor daño que TUC 95-10 (12,8 %)(Figura 3). En cuanto a la I.I.Y %, TUC 03-12 alcanzó un promedio de 1,2 %, frente a 1,8 % de TUC 95-10.La longitud de galería fue de 4,6 cm por tallo en TUC 03-12 y de 6,9 en TUC 95-10. La D.R. % promedio de las variables de daño fue de 28 %. Este par varietal fue el que presentó la menor D.R. % respecto a los pares varietales 1 y 2.

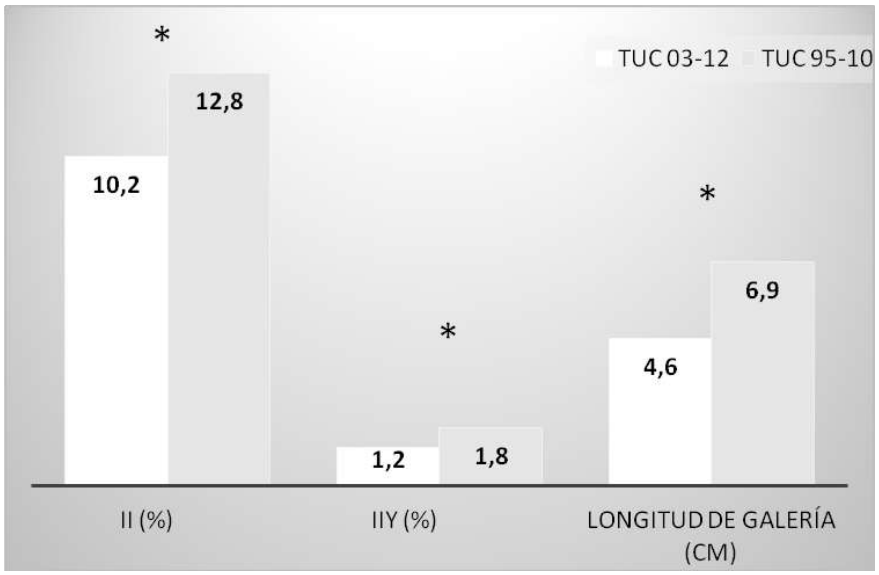


Fig. 3. Intensidad de infestación (I.I.%), intensidad de infestación de yema (I.I.Y%) y longitud de galería (cm) de *Diatraea saccharalis* en lasvariedades de caña de azúcarTUC 03-12 y TUC 95-10 *: diferencias significativas detectadas mediante test t.

CONCLUSIÓN

El sistema productivo sucroalcoholero de la provincia de Tucumán evidencia un recambio varietal; en este sentido, conocer elcomportamiento de las variedades de caña de azúcar más difundidas en la provincia, frente al ataque de *D. saccharalis*,aporta una herramientaadicional para la toma de decisión en la diversificación varietal.

En el presente trabajo se observó que LCP 85-384 presentó mayor intensidad de infestación, intensidad de infestación de yemas y longitud de galería de *D. saccharalis* respecto a las variedades TUC evaluadas. Cabe destacar que TUC 03-12 fue la variedad menos afectada por plaga.

BIBLIOGRAFÍA

Aybar Guchea M.; Ostengo S.; Espinosa M.A.; Medina P.; Díaz J.V.; Chavanne E.R.; Costilla D.D.; Cuenya M.I.2020. Reporte Agroind. EEAOC 195. https://www.eeaoc.gob.ar/wp-content/uploads/2020/08/RA-195.pdf.

Di Rienzo J.A.; Casanoves F.; Balzarini M.G.; et al. 2018. InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL http://www.infostat.com.ar.

Osores V.; Willink E. y Costilla M. 1980. Generaciones de *Diatarea saccharalis* y daño producido en cañaverales d ela provincia de Tucumán. Revista Industrial y Agrícola de Tucumán 58 (2): 49-56.

Pérez M.L.P.; Easdale C.; Iovane R.J.; Scandaliaris P., Budeguer Isa R.; Rodríguez D.B.; Bardin F., Gastaminza G.A., Romero E. and Goebel F.R. 2022. Damage distribution and yield losses caused by *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) in northwestern Argentina. Sugar Tech. 10.1007/s12355-022-01213-4.

Willink E.; Osores V. y Gargiulo 1984. Resistencia de variedades de caña de azucar a *Diatraea saccharalis* en Tucumán. Revista industrial Agrícola de Tucumán 61 (1): 85-97.

BROMOXINIL: UNA ALTERNATIVA A LA ATRAZINA PARA EL MANEJO POSTEMERGENTE DE *Sicyos polyacanthus* Cogn. EN CAÑA DE AZÚCAR

Sánchez DuccaA[1y2]; VargasP. D[1y2]; SabatéS[1]; Barceló M. F[1]; Romero E. R[1y2] yRaimondoJ[2].
[1]Investigador Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) Tucumán-Argentina.
[2] Docente Facultad de Agronomía y Zootecnia – UNT.
asanchezducca@eeaoc.org.ar

Palabras Claves: Topramezone, Mesotrione, Tupulo, EIQ

Introducción

Entre los factores bióticos, las malezas son uno de los principales componentes del agroecosistema cañero que interfieren en el desarrollo y productividad de este cultivo (Kuva *et al.*, 2003).

En Tucumán *Sicyos polyacanthus* (n.c. tupulo) es la maleza latifoliada más importante en el cultivo de caña de azúcar (Sánchez Ducca *et al*., 2020).El manejo post-emergente de esta maleza hasta el año 2018, se hacía exclusivamente con la mezcla de herbicidas hormonales (fluroxipir o dicamba) más atrazina (Olea, 2000). A partir de ese año se registró el herbicida topramezone, el cual es altamente eficiente para esta maleza, pero para poder alcanzar el grado decontrol deseado también debe mezclarse con atrazina.

En este contexto, el productor cañero de esta región es altamente dependiente de la atrazina (perteneciente al Grupo 5 según la clasificación de la HRAC, 2020) para el control post-emergente de tupulo,sumado a que es uno de los herbicidas residuales más utilizado en este cultivo(Sánchez Ducca *et al*., 2020). Esto genera dos posiblesproblemas: por un lado, la potencial contaminación de aguas subterráneas debido al elevado índice de GUS de la atrazina (2,57), lo cual ya fue reportado para la provincia de Tucumán (Portocarrero *et. al*., 2016). Por otra parte, su uso repetitivo aumenta el riesgo de seleccionar biotipos resistentes a este mecanismo de acción, tan importante para el manejo de malezas en varios cultivos de la región.

Los herbicidas topramezone y mesotrione, este último en vías de registro para caña de azúcar, inhiben la enzima 4-hidroxifenilpiruvato dioxigenasa (4-HPPD), afectando la síntesis de carotenoides (Grupo 27, según HRAC, 2020). Como resultado de la inhibición de la síntesis de carotenoides y la consecuente degradación de la clorofila, provoca clorosis, albinismo y/o necrosis en las plantas susceptibles (Bollman *et al.,* 2008). La recomendación de uso de estosherbicidas siempre se encuentra asociada a la mezcla con herbicidas inhibidores del fotosistema II (FSII), debido a que la eficacia de los inhibidores de HPPD se incrementa con bajas dosis de FSII (Abendroth *et al.,* 2006).La recomendación de marbete paraestos herbicidas en diferentes cultivos contempla su mezcla con atrazina, pero no se dispone de información sobre la interacción con otros herbicidas FSII para el control de esta maleza.

Dentro de los herbicidas FSII existe otro sitio de acción,correspondiente al Grupo 6, y hasta el momento no se detectó resistencia cruzada con el Grupo 5. El Grupo 6 incluye al herbicida bromoxinil,el cual posee un riesgo muy bajo para contaminar napas subterráneas (GUS: -0,09) y un mejor perfil ambiental que la atrazina. Este herbicida tiene además la ventaja de

diponer de registro para caña de azúcar, pero no es utilizado por los productores locales(Olea *et al*., 2011).

Este trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto herbicida (EH) y la toxicidad del herbicida bromoxinil, como una alternativapara remplazar la atrazina en aplicaciones postemergentes para el control de tupulo.

Materiales y métodos

Se realizaron cuatroensayos entre 2015 y 2019, en lotes comerciales implantados con el cv LCP 85-384. Los lotes seleccionados tenían una presión elevada de tupulo, con guías que iban de los 30 a 150 cm de largo. Los tratamientos, aplicados en forma total con mochila de CO_2,se presentan en la Tabla 1.El volumen de aplicación rondó entre 120 y 140 l ha^{-1} en cada ensayo.

Para comparar el impacto ambiental de cada tratamiento se utilizó el Coeficiente de Impacto Ambiental (EIQ, por sus siglas en ingles), el cual permite comparar de manera rápida los mismos (Grant, 2020) e identificar cuáles son las mezclas que generarían menor carga ambiental(Tabla1). También se presenta la reducción porcentual del EIQ de campo con respecto del tratamiento convencional (T5).

Tabla 1. Tratamientos evaluados, mecanismos según HRAC, EIQ de campo (EIQ x concentración de activo x dosis de uso) y reducción % del EIQ de campo respecto al T5.Todos los tratamientos fueron combinados con aceite metilado de soja (76% ia) 0,5 v/v.EIQ < 5, bajos para EIQ < 20, medio EIQ < 45 y alto EIQ ≥ 45.*Testigo químico

Tratamiento	Herbicida	Modo de acción HRAC	Dosis P.C. (l o kg ha^{-1})	EIQ de Campo	Reducción EIQ (%)
T1	Sin herbicida	-	-	-	-
T2	Atrazina (50%)	5	2	22,9	-18,5
T3	Bromoxinil (34,9 %)	6	1,5 l/ha	8,9	-68,3
T4	Fluroxipir (48 %)	4	0,3	5,3	-81,1
T5*	Fluroxipir + atrazina	4 + 5	0,3 + 2	28,1	0,0
T6	Fluroxipir + bromoxinil	4 + 6	0,3 + 1,5	14,2	-49,5
T7	Topramezone (33,6%)	27	0,1	0,9	-96,8
T8	Topramezone + atrazina	27 + 5	0,1 + 2	23,8	-15,3
T9	Topramezone + bromoxinil	27 + 6	0,1 + 1,5	9,8	-65,1
T10	Mesotrione (48 %)	27	0,3	2,7	-90,4
T11	Mesotrione + atrazina	27 + 5	0,3 + 2	25,5	-9,3
T12	Mesotrione + bromoxinil	27 + 6	0,3 + 1,5	11,6	-58.7

El diseño experimental fue de bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones, donde cada bloque estuvo conformado por el año de evaluación. El EH sobre las malezas y toxicidad sobre el cultivo fueron evaluados comparativamente con un testigo sin tratamiento, para lo que se utilizaron las escalas sugeridas por la Asociación Latinoamericana de Malezas (ALAM, 1974).

Los valores porcentuales del EH en todas las fechas de evaluación se transformaron en arco seno de la raíz cuadrada para cumplir con los supuestos del análisis de varianza. Luego, fueron re-transformados para la presentación de los resultados. El EH fue analizado mediante modelos lineales generales con efectos fijo de tratamiento y bloque. Se realizó un ajuste con la función de varianza “varIdent”para tratamientos. Para realizar la comparación de medias se utilizó el test DCGa posteriori. El tratamiento sin herbicida (T1) no fueanalizado ya que los valores de EH fueron 0 (sin variación).

Resultados

A los 7 días después de aplicación (DDA) los tratamientos T6, T8, T9, T11 y T12 presentaron un muy buen EH, sin diferenciarse estadísticamente del testigo químico (T5). En la segunda evaluación el EHalcanzado por ellosfue excelente (≥ 91 %), lo que se mantuvo hasta la última evaluación a los 34 DDA.

Tanto para los herbicidas atrazina como bromoxinil,aplicados de forma individual (T2 y T3), se observaron síntomas de necrosis en las hojas aplicadas de tupulo. El mayor EH se observó a los 14 DDA (Figura 1), donde se observaron niveles de EHsuficiente y regular respectivamente. A partir de los 21 DDA, el EH disminuyó a regular en ambos casos debido al rebrote de las plantas tratadas. En ninguna de las evaluaciones estos tratamientos se diferenciaron estadísticamente.

El herbicida individual con peor desempeño fue fluroxipir (T4). Si bien las plantas tratadas presentaron síntomas característicos de los herbicidas hormonales (epinastia, crecimiento desordenado, etc.), comenzaron a rebrotar a partir de los 14 DDA. Lascombinaciones de atrazina o bromoxinil con fluroxipir (T5 y T6), presentaron un excelente EH a partir de los 14 DDA sin diferenciarse estadísticamente entre ellas.

Las hojas de los tupulos tratados con topramezone solo presentaron albinismo a los 7 DDA, lo que evolucionó a necrosis a los 14 DDA. Sin embargo, los tallos permanecieron verdes y a partir de los 21 DDA comenzaron a rebrotar, ofreciendo un EHregular. Las combinacionesde topramezone con atrazina o bromoxinil (T8 y T9) alcanzaron un EH excelentea partir de los 14 DDA, sin diferenciarse estadísticamente del testigo químico (T5).

Mesotrione (T10) fue el herbicida aplicado de forma individual que mejor efecto tuvo sobre esta maleza. En la primera evaluación, a los 7 DDA, las hojas de las plantas tratadas presentaron

albinismo, evolucionando a partir de los 14 y 21 DDA a necrosis. En la última evaluación, 34 DDA, se observó que las plantas de menor tamaño (hasta 60 cm) fueron controladas, pero las más grandes comenzaron a rebrotar. El EH alcanzado fue muy bueno a los 34 DDA. La adición de atrazina o bromoxinil al mesotrione (T11 y T12), incrementó su EH a excelente a partir los 14 DDA, sin diferenciarse estadísticamente del testigo químico (T5).

No se observaron daños visibles en el cultivo de caña de azúcar en ninguno de los tratamientos en los 5 años de evaluación.

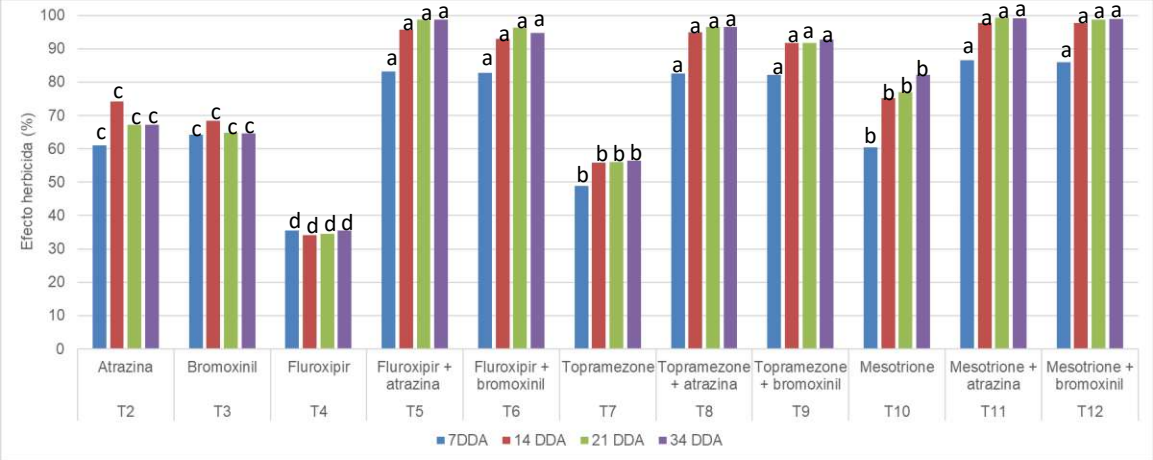


Figura 1. Efecto herbicida sobre tupulo en los distintos momentos de evaluación.Distintas letras indican diferencias significativas según el test DCG (p > 0,05).

Conclusiones

Los resultados obtenidos en las diferentes experiencias realizadas a campo, muestran que en el control de *S. polyacanthus* no existió diferencia entre el uso de bromoxinil o atrazina como herbicida acompañante de fluroxipir, topramezone o mesotrione. Además, se corrobora que en ningún caso se observó afectación del cultivo con cualquiera de las mezclas evaluadas.

Desde el punto de vista del posible efecto ambiental de las alternativas utilizadas para el manejo de tupulo en cañaverales, todas las mezclas con bromoxinil tienen potencialmente un menor efecto ambiental, lográndose una reducción entre un 50 % y 65 % del EIQ respecto al tratamiento convencional.

Con respecto a la necesidad de realizar una rotación de mecanismos de acción herbicida, el estudio pone en evidencia que combinandoel uso de topramezone o mesotrione con bromoximil es posible rotartodos los modos de acción respecto al tratamiento convencional fluroxipir más atrazina.

Si bien, todas las combinaciones herbicidas fueronefectivas para el manejo de tupulo, se debe tener en cuenta el resto del espectro de malezas presentes en el lote al momento de definir la mezcla a utilizar en cada condición.

En la actualidad, se continúan realizando estudios con el objetivo de ajustar la dosis de bromoxinil para su combinación con los herbicidas HPPD evaluados en esta experiencia. Además, se está impulsando el registro de las nuevas mezclas a fin que puedan ser utilizadas por los productores.

Bibliografia

Abendroth, J. A.;Martin, A. R.;Roeth, F. W. 2006.Plant Response to Combinations of Mesotrione and Photosystem II Inhibitors.Weed Technology, 20(1), 267–274. https://doi.org/10.1614/wt-05-020r.1

Asociación Latinoamericana de Malezas (ALAM). 1974. Resumen del panel sobre Métodos para la Evaluación de Ensayos en Control de Malezas en Latinoamérica. Revista de la Asociación Latinoamericana de Malezas. II Congreso de ALAM, Cali, Colombia. 6-12.

Bollman, J. D; Boerboom C. M.; Becker R. L.; Fritz V. A. 2008.Efficacy and tolerance to HPPD-inhibiting herbicides in sweet corn. Weed Technol., v. 22,n. 4, p. 666–674.

Grant, J. A. 2020.Calculator for Field Use EIQ (Environmental Impact Quotient). New York State Integrated Pest Management Program, Cornell Cooperative Extension, Cornell University.Disponible enhttps://nysipm.cornell.edu/eiq/calculator-field-use-eiq/

HRAC. 2020. Global HRAC MOA Classification Working Group Report.Disponible en: https://hracglobal.com/files/GHRAC_MOA_UPDATE_2020.pdf

Kuva, M.A.; Graveba, R; Pitelli, R.A.; Christoffoleti, P.J.; Alves, P.L.C.A. 2003. Períodos De Interferência Das Plantas Daninhas Na Cultura Da Cana-De-Açúcar.– Capim-Braquiária (*Brachiaria decumbens*) E CAPIM-COLONIÃO (*Panicum maximum*). Planta Daninha 21:37–44

Olea, I. Nuevas fórmulas para control químico de tupulo (*Sicyos* sp.) en caña de azúcar. Resultados preliminares. 2000. Avance Agroind. 21 (3): 17-20.

Olea, I.; Vinciguerra, H. F.; Luchina, J. N, Sabaté, S.; Lazarte,A. 2011. Herbicidas utilizados actualmente en Tucumán: problemas y necesidades futuras. Memorias de la XVII Reunión Técnica Nacional de la Caña de Azúcar. p. 99-103.

Portocarrero, R.;Aparicio, V. C.;De Gerónimo, E.; Morales, C.;Lizondo, M.;Costa, J. L. 2016. Presencia de ametrina y atrazina en los sistemas hídricos superficiales y subterráneos del este cañero de la provincia de Tucumán. Memorias de la XX Reunión Técnica Nacional de la Caña de Azúcar.

Sánchez Ducca, A; Vargas, P. D; Sabaté, S; Romero E. R. 2020. Relevamiento sobre el manejo de malezas en caña de azúcar en la provincia de Tucumán, encuesta 2020. Avance Agroindustrial 40 – 1. p. 24 - 28. Disponible en: https://www.avance.eeaoc.gob.ar/wp-content/uploads/2020/03/malezas.pdf

EFECTO DEL RESIDUO AGRÍCOLA DE COSECHA (RAC) SOBRE DISTINTAS POBLACIONES DE MALEZAS Y SU IMPACTO EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR DURANTE CUATRO AÑOS DE EVALUACIÓN EN TUCUMÁN, ARGENTINA

Sánchez Ducca, A.[1y2]; Fernández de Ullivarri, J.[1y2]; Vargas, P. D.; Sabaté, S. [1]; Barceló, M. F[1]; Romero, E. R.[1y2]; Criado, A[1]yDigonzelli, P. A[1y2]
[1]Investigador Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) Tucumán-Argentina.[2] Docente Facultad de Agronomía y Zootecnia – UNT.

asanchezducca@eeaoc.org.ar – agustin_sd22@hotmail.com

Palabras claves: malezas, control cultural, sustentabilidad, caña de azúcar

Introducción

Unos de los aspectos más críticos en el cultivo de la caña de azúcar es la competencia con malezas. Las pérdidas registradas por malezas pueden ser del28% al 76 %, dependiendo de las especies presentes, el porcentaje de cobertura y el periodo de competencia, entre lasvariables más importantes (Arévalos*et al*., 1977; Olea *et al*., 2009; Sánchez Ducca y Raimondo, 2015).

En la actualidad el control químico es el método más utilizado por los productores cañeros para limitar la competencia de malezas (Christoffoleti *et al.*, 2004). Pero lo más aconsejable para evitar las pérdidas y contribuir a la sustentabilidad del sistema productivo, es adoptar medidas de manejo lo más racionales posible, sumando al control químico, prácticas mecánicas y culturales. Dentro de estas últimas, el mantenimiento de los residuos agrícolas de cosecha (RAC) como coberturasobre la superficie del suelo se presenta como una alternativa interesante.

La provincia de Tucumán, Argentina, posee un área con caña de azúcar de 276.400 ha (Fandos*et. al.* 2021), de las cuales el 98% se cosecha de forma mecánica con máquinas integrales y sin quema. Así, después de la cosecha, quedan en el campo entre 7 y 18 t MS/ha de residuo agrícola de cosecha (RAC), dependiendo de la variedad, nivel productivo del lote, momento de cosecha, regulación de la cosechadora, etc. (Digonzelli*et al*., 2011 a y 2016 y Romero *et al*., 2009). El RAC como cobertura sobre el suelo posee múltiples beneficios: contribuye a mejorar el balance hídrico del suelo, reduce la erosión hídrica y eólica, aporta materia orgánica, permite el reciclado de nutrientes, favorece la microflora y microfauna benéfica del suelo, ayuda al control de malezas, etc. (Digonzelli*et al*., 2011 a y b; Fernández de Ullivarri*et al*., 2016; y Tortora*et al*., 2018).

El efecto del RAC sobre la germinación y crecimiento de las malezas está relacionado a loscambios en la temperatura y en la amplitud térmica del suelo, a la menor cantidad y calidad de luzy a la liberación de sustancias alelopáticas. Asimismo, el residuo constituye una barrera físicapara la emergencia, especialmente,de las malezas de semillas pequeñas con pocas reservas (Oliveira y Simões, 2014). Por lo tanto, el RAC como cobertura del suelo puede interferir en la dormición, germinación y mortalidad de las semillas y plántulas de malezas, provocando modificaciones en la comunidad de las mismas. Estos cambios, son muy específicos y dependen de la cantidad de RAC, y de las especies de malezas presentes, que pueden ser afectadas o no por cobertura(Correia y Durigan, 2004).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de distintas cantidades de RAC, dejado como cobertura, sobre la diversidad y el número de las malezas presentes en un lote

comercial de caña de azúcar y el impacto de estos niveles de cobertura en la producción del cañaveral durante tres ciclos consecutivos.

Materiales y métodos

Los ensayos fueron realizados entre los años 2018 y 2022, en un campo comercial de caña de azúcar implantado con el cv LCP 85-384 cuyo cultivo antecesor fue soja RG, en la localidad de la Banda del Río Salí, departamento Cruz Alta, Tucumán, Argentina. Luego de la cosecha de la caña planta, se establecieron los siguientes tratamientos: T1) sin RAC (extracción total de forma manual); T2) 9 tha^{-1} de RAC (cantidad promedio que quedó sobre la superficie luego de la cosecha) y T3) 18 t ha^{-1}de RAC (el doble del RAC que había quedado normalmente sobre el lote); el tamaño de cada unidad experimental fue de 80 m^2(5 surcos de 10 m de largo). El diseño experimental fue en bloques completos al azar con cuatro repeticiones, tomando como bloque cada año de evaluación. Las parcelas de cada tratamiento se mantuvieron en los cuatro años de evaluación(soca 1, 2, 3 y 4).

Durante los cuatro años del ensayo no se realizó ningún control de malezas. Lafertilización se efectuó con nitrato de amonio calcáreo, aplicado en superficie, a una dosis de 250 $kgha^{-1}$. Entre los 110 y 120 días después de cosecha, momento adecuado para realizar relevamientos de la flora emergente en el cultivo de la caña de azúcar (Kuva, 2006), se evaluaron: número de especies (NE),número de individuos (NI) y peso seco de la parte aérea (PSA) de las malezas. Las evaluaciones se realizaron mediante un muestreo al azar utilizando un aro de 0,25 m^2, en las poblaciones de malezas que cayeron dentro del aro se determinó NE, NI y PSA, se tomaron tres muestras por parcela. El efecto herbicida (EH) se evaluó visualmente utilizando la escala ALAM y se consideró al T1 como el tratamiento sin control. La estimación del rendimiento cultural se realizó en la tercera semana de mayo de cada año, para lo cual, en cada parcela experimental,se contó el númerode tallos de 10 m lineales de surco y se tomó una muestra de 20 tallos corridos por parcela que se pelaron, despuntaron en el punto natural de quiebre y se pesaron. Con el número y peso promedio de tallos se estimó el rendimiento cultural (toneladas de caña/ha). Las variables se analizaron con modelos lineales y mixtos, en los casos donde la prueba F fue significativa se realizó la comparación de medias con el Test de Fisher ($p > 0,05$).

Resultados y discusión

En esta experiencia se identificaron 16 especies de malezas pertenecientes a 10 familias distintas. Las mismas se clasificaron en mono y dicotiledóneas y se registró su presencia en los distintos tratamientos (Tabla 1). La mayor diversidad se observó en el tratamiento sin cobertura (T1), donde se observaron en promedio 9,5 especies.A medida que aumentó la cobertura el número de especies disminuyó significativamente a 3,4 y 2,4 especies para los tratamientos T2 y T3, respectivamente. Estos resultados son similares a los citados por otros autores (Ferreira *et al*., 2010; Martins *et al.*, 1999).

A partir de 9 t ha^{-1} de RAC, se vio sensiblemente afectada la emergencia de las *poaceas*(*gramíneas*) anuales, lo cual coincide con lo observado porMonquero *et al*. (2008). Este efecto sobre las gramíneas resulta sumamente importante, ya que una vez emergidas dentro del cañaveral el manejo químico resulta limitado por la falta de herbicidas eficientes y selectivos para el cultivo.

La única monocotiledónea evaluada que no se vio afectada por la cobertura fue*Cyperusrotundus,* esta maleza perenne tiene como característica multiplicarse principalmente por tubérculos (Stoller & Sweet, 1987). Silva *et al*. (2003)observaron, para esta misma maleza, que tratamientos con 16 y 20 t ha^{-1} de paja presentaron unmenor número de plantas emergidas a lo largo del experimento, sin embargo, el tratamiento con 20 t ha^{-1} fue similar al testigo (sin cobertura), en cuanto al peso seco de la parte aérea de estearvense.

En relación a las dicotiledóneas, se observó que las especies*Amaranthushybridus, Portulacaoleracea y Nicandraphysaloides* fueron sensiblemente afectadas por la cobertura*.* Por otro lado,*Euphorbiahyssopifolia, Sicyospoliacanthus eIpomoeacarica*no resultaron afectadas por la presencia de cobertura (Tabla 1).Estos resultados concuerdan con los deotros autores(Correia & Durigan, 2004; y Martins *et al*., 1999).

Tabla 1. Clasificación de las malezas evaluadas y su presencia en los distintos tratamientos. Tucumán, Argentina, 2018-2022.

Nombre Científico	Clase	Familia	T1	T2	T3
Echinochloa colona	Monocotiledóneas	*Poaceae*	xxxx	x	
Eleusine indica	Monocotiledóneas	*Poaceae*	xxxx		
Eragrostissp	Monocotiledóneas	*Poaceae*	xxxx		
Leptochloasp	Monocotiledóneas	*Poaceae*	xxxx		
DigitariaSanguinalis	Monocotiledóneas	*Poaceae*	xx		
Cyperusrotundus	Monocotiledóneas	*Cyperaceae*	xxxx	xxxx	xxx
Portulacaoleracea	Dicotiledóneas	*Portulacaceae*	xxxx		
Trianthema portulacastrum	Dicotiledóneas	*Aizoaceae*	xx	x	
Amaranthushybridus	Dicotiledóneas	*Amaranthaceae*	xxxx		
Nicandraphysaloides	Dicotiledóneas	*Solanáceas*	xxxx	x	x
Sonchusoleraceus	Dicotiledóneas	*Asteráceas*	xx		
Solanumnigrum	Dicotiledóneas	*Solanáceas*	xx	xx	
Acalyphapoiretii	Dicotiledóneas	*Euphorbiaceae*	xx		
Ephorbiahyssopifolia	Dicotiledóneas	*Euphorbiaceae*	xxxx	xxxx	xxxx
Sicyospoliacanthus	Dicotiledóneas	*Cucurbitaceae*	x	xxx	xxx
Ipomoeacarica	Dicotiledóneas	*Convolvulaceae*	x	xxx	xx

x presencia en una parcela, xx presencia en dos parcelas, xxx presencia en tres parcelas y xxxx presencia en 4 parcelas

El efecto de la cobertura con RAC fue notorio, a medida que aumentó la cantidad de RAC disminuyó significativamente el número de individuos emergidos (Figura1). Con la cobertura de RAC que quedó en el lote después de la cosecha (T2) hubo una disminución de 75,9 % en la emergencia de malezas (95 individuos vs. 394 individuos) y con el doble de RAC (T3) la disminución fue de 96,2 % (15 individuos vs. 394individuos). La tendencia a la disminución del número de individuos emergidos a medida que aumenta la cobertura también fue observada por diferentes autores (Azania *et al*., 2002; Ferreira *et al*., 2010)

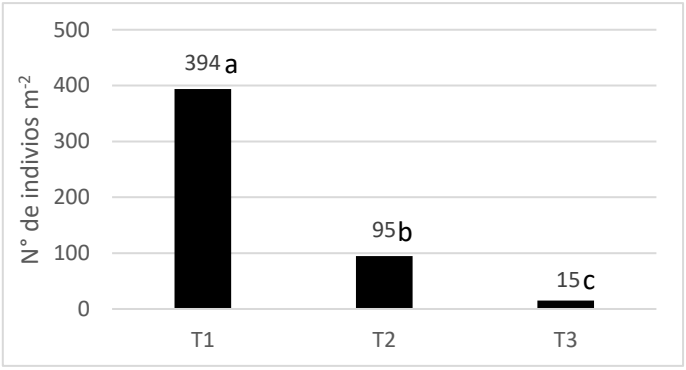


Figura 1. Número de individuos m^{-2} en cada tratamiento, Tucumán, Argentina, 2018-2022.

Por su parte, el PSA medio de las malezas disminuyó significativamente a medida que aumentó la cobertura, fue de 923 kg de MS ha^{-1} (a) para T1 y de 69kg de MS ha^{-1} (b) y 22kg de MS ha^{-1} (c) para T2 y T3, respectivamente.

Respecto al efecto herbicida visual (escala ALAM), en los tres años de evaluación, T3 presentó un excelente EH (>91% de control) para la comunidad de malezas presentes en esta experiencia y T2 estuvo dentro del rango muy bueno (>81% de control).

La menor competencia de malezas sumado a los otros beneficios propios de la cobertura, especialmente al mejor balance hídrico del suelo, dio como resultado, una mayor producción cultural. Así, el tratamiento T3 presentó un promedio de 94,8 t ha^{-1}diferenciándose estadísticamente de las 85,9 t ha^{-1}del tratamiento T3 (Figura 2), a su vez, ambos tratamientos se diferenciaron estadísticamente con el tratamiento sin cobertura (71,8 t ha^{-1}).

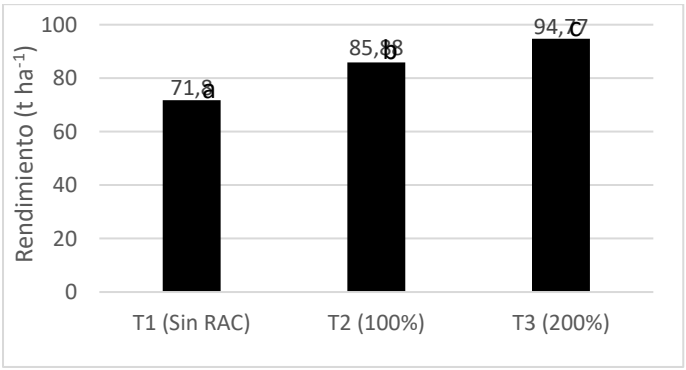


Figura 2. Rendimiento cultural de los distintos tratamientos evaluados, Tucumán, Argentina, 2018-2022.

En esta experiencia la conservación del RAC redujo significativamente tanto la diversidad como la población de las malezas presentes en el lote y consecuentemente su impacto sobre la producción de caña de azúcar.

Las especies de malezas más afectadas por la conservación del RAC fueron las poáceasanuales.

Estos resultados, sumado a los otros beneficios de la conservación del RAC, hicieron que los tratamientos con cobertura presenten rendimientos culturales significativamente mayores y más estables en el tiempo.

Por lo tanto, bajo el sistema de manejo con cobertura de RAC, se esperaría un menor uso de herbicidas para el control de malezas, aportando mayor sustentabilidad a la producción de caña de azúcar.

Bibliografía

Asociación Latinoamericana de Malezas (ALAM). (1974). Resumen del panel sobre Métodos para la Evaluación de Ensayos en Control de Malezas en Latinoamérica. Revista de la Asociación Latinoamericana de Malezas. II Congreso de ALAM, Cali, Colombia. 6-12

Arévalo, R. A.; Cerrizuela, E. A. y Olea, I. (1977). Competencia de las malezas en caña de azúcar. II. *Sorghumhalepense* (L.) Per. Revista Agronomía Noroeste Argentino, v. 14, n.14, p. 39-51.

Azania, A. A. P. ., Azania, C. A. ., Gravena, R., Pavani, M. C. M. ., & Pitelli, R. . (2002). Interferência da palha de cana de açucar na emergência de espécies de plantas daninhas da familia convolvulaceae. *Planta Daninha*, *20*(2), 207–212. https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/987/S0100-83582002000200006.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Christoffoleti, P. J., Lopez Ovejero, R. F., Nicolai, M., & Carvalho, S. J. P. (2004). Manejo de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar: novas moléculas herbicidas. *II Simpósio de Tecnologia de Produção de Cana-de-Açúcar*. https://doi.org/10.1590/S0100-83582012000400025

Correia, N. M., & Durigan, J. C. (2004). Emergência de plantas daninhas em solo coberto com palha de cana-de-açúcar. *Planta Daninha*, *22*(1), 11–17. https://doi.org/10.1590/s0100-83582004000100002

Digonzelli, P.; Romero, E.; Alonso, L.; Fernández de Ullivarri, J.; Rojas Quinteros, H.; Scandaliaris, J. and Fajre, S. (2011a). Assesing a sustainable sugar cane production system in Tucumán, Argentina. Part one: Sugar cane harvest residue (trash) decomposition dynamics. Rev. Industrial y Agrícola de Tucumán (RIAT) 88(1): 1-12. ISSN 0370-5404.

Digonzelli, P.; Tonatto, M. J.; Romero, E. R.; Sanzano, G. A.; Fernández de Ullivarri, J.; Giardina, J. A. and Scandaliaris, J. (2011b). Assessing a sustainable sugar cane production system in Tucumán, Argentina. Part II: soil water and thermal regime, stalks population dynamics and sugarcane production. Rev. Industrial y Agrícola de Tucumán (RIAT) 88(2): 1-10. ISSN 0370-5404.

Digonzelli, P. A.; Fernández de Ullivarri, J.; Medina, M.; Pérez Taboada, S., Rojas Quinteros, H. y Leggio, M.F. (2016). Análisis de la descomposición del residuo de la cosecha en verde del cañaveral (RAC) en tres ensayos diferentes. XX Reunión Técnica Nacional de la Caña de Azúcar. Trabajo completo en CD: 5 pp. Tucumán, Argentina. 6-8 de abril de 2016.

Fandos, C.; J. Scandaliaris; P. Scandaliaris J. I. Carreras Baldrés; F. J. Soria; J. Giardina; J Ferndez de Ulivarri y E. R. Romero. (2021). Área cosechable y producción de caña de azúcar y azúcar para la zafra 2021 en Tucumán. Reporte Agroindustrial (217). [En línea]. Disponible en http://www.eeaoc.org.ar (consultado 23 mayo 2022).

Fernández de Ullivarri, J; Digonzelli P.A; Leggio Neme, F; Medina, M y Romero, E.R. (2016). Análisis de la humedad y temperatura del suelo en dos sistemas de manejo del cañaveral en Tucumán-Argentina. X Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Latinoamérica y el Caribe (ATALAC) y XXXVIII Convención de la Asociación de Técnicos Azucareros de México. Rvta. ATAM 29 (2). ISSN 2007-510X. Trabajo completo en soporte digital: 10 pp. Veracruz, México.

Ferreira, E. A., Procópio, S. O., Galon, L., Franca, A. C., Concenço, G., Silva, A. A., Aspiazu, I., Silva, A. F., Tironi, S. P., & Rocha, P. R. R. (2010). MANEJO DE PLANTAS DANINHAS EM CANA-CRUA. *Planta Daninha*, *28*(4), 915–925. https://doi.org/10.1590/s0100-83582010000400025

Kuva, M. A. (2006). Banco de sementes, luxo de emergência e fitossociologia de comunidade de plantas daninhas em agroecossistema de cana-crua. *Tese*.

Martins, D., Velini, E. D., Martins, C. C., & Souza, L. S. de. (1999). Emergência em campo de dicotiledôneas infestantes em solo coberto com palha de cana-de-açúcar. *Planta Daninha*, *17*(1), 151–161. https://doi.org/10.1590/s0100-83581999000100014

Monquero, P. A., Amaral, L. R., Binha, D. P., Silva, P. V., Silva, A. C., & Martins, F. R. A. (2008). Mapas de infestação de plantas daninhas em diferentes sistemas de colheita da cana-de-açúcar. *Planta Daninha*, *26*(1), 47–55. https://doi.org/10.1590/S0100-83582008000100005

Romero, E. R.; J. Scandaliaris; P. Digonzelli; L. Alonso; F. Leggio Neme; J. Giardina; S. Casen; J. Tonatto y J. Fernández de Ullivarri. (2009). Effect of variety and cane yield on sugarcane potential trash. Rev. Industrial y Agrícola de Tucumán (RIAT) 86 (1): 9- 13. ISSN 0370-5404.

Sánchez Ducca, A.; Raimondo, Jorge G. (2015). Herbicidas pre-emergentes en caña de azúcar: control de malezas y fitotoxicidad. Memorias del XII Congreso Latinoamericano de Malezas, p. 242.

Silva, J. R. V., Costa, N. V., & Martins, D. (2003). Efeito da palhada de cultivares de cana-de-açúcar na emergência de Cyperus rotundus. *Planta Daninha*, *21*(3), 373–380. https://doi.org/10.1590/s0100-83582003000300004

Stoller, E. W., & Sweet, R. D. (1987). Biology and Life Cycle of Purple and Yellow Nutsedges (Cyperus rotundus and C. esculentus). *Weed Technology*, *1*(1), 61–65.

Tortora, M.L; Ludueña, L; Nuñez, M; Alderete, M; , Fernández de Ullivarri, J; Criado, A; Romero, E.R y Digonzelli P.A. (2018). Impacto de Alternativas de Manejo de Residuos de Cosecha de Caña de Azúcar en el Desarrollo y Actividades Metabólicas de Poblaciones Microbianas de Importancia Agrícola. Trabajo completo en soporte digital. Memorias XI Congreso ATALAC -TECNICAÑA: 209-218. Cali - Colombia. 24-28 de Setiembre 2018. Versión digital: 209-218

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEpH, SALINIDAD Y MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO DE UN LOTE CAÑERO EN LA LLANURA DEPRIMIDA SALINA DE TUCUMÁN

Sosa. F A.[1]; García. F L[1]; Rojas Quinteros. H[1]; Di Marco. J[1]; Correa. R O[1] y Sanzano A G[1].

[1] Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres. W. Cross 3150, Las Talitas

PALABRAS CLAVE: Variabilidad Edáfica, Limitantes, Sodio.

INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar constituye el cultivo sacarífero más importante del mundo, siendo responsable del 70% de producción total de azúcar. En Argentina, la provincia de Tucumán tiene una participación del 65% de la producción nacional, a pesar que más de la mitad del área cultivada tiene distintos grados de dificultad para el libre drenaje del agua del suelo, lo que constituye una limitación para la obtención de los rendimientos potenciales del cultivo. La región de la llanura deprimida de la provincia de Tucumán se caracteriza por la presencia de una capa freática de profundidad y salinidad variable, así como también por una fuerte heterogeneidad textural como consecuencia del material aluvial sobre el que desarrollan sus suelos. (Zuccardi y Fadda 1985; Figueroa, 1996; Romero, 2009; FAOSTAT, 2009; Fandos *et al.,* 2016).

La producción de caña de azúcar en la llanura deprimida salina se ve condicionada por la salinidad, sodicidad-alcalinidad y por anegamientos temporales. A nivel intra-lote estas limitantes presentan una marcada variabilidad espacial condicionada principalmente por el microrelieve y la textura del suelo. La caracterización espacial de los suelos dentro de un lote incluye la toma de datos georeferenciados de variables edáficas que permitan definir zonas homogéneas de manejo tendientes a aumentar la eficiencia de las labores y plantear escenarios futuros de recuperación de suelos con su posible impacto sobre la producción (Peralta *et al.,* 2013). Actualmente, en cultivo de la caña de azúcarno se tiene en cuenta la variabilidad espacial del terreno y no se dispone de estudios que permitan hacer un manejo diferencial de los ambientes, por lo que resulta de interés, la aplicación de prácticas de agricultura de precisión a los fines de brindar herramientas de manejo diferencial de los lotes (Bullock *et al.,* 2007).

OBJETIVO

Evaluar el efecto del pH, salinidad (CE) y materia orgánica (MO) del suelo sobre los niveles productivos intralote y generar un mapa que permita una primera delimitación de zonas de manejo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en una finca destinada a la producción de caña ubicada en la localidad “El Chilcal” departamento Leales, Tucumán (figura 1). Se trabajó sobre un lote de 95 has ubicado en la llanura deprimida salina seca sub-húmeda con napa freática próxima a la superficie y una conductividad eléctrica (CE) superior a 0.6 dS/m (Zuccardi y Fadda 1985; Sosa *et al.,* 2019).

Se realizó un muestreo de suelos dirigidoa partir de una preambientación con imágenes satelitales y su posterior chequeo a campo del estado del cañaveral clasificándolo en 5 categorías (Tabla 1). Las muestras de suelos se tomaron en setiembre de 2020 a una profundidad de 30 cm y con 15 sub-muestras por muestra compuesta. Se tomaron 43 muestras georeferenciadas en el lote, obteniendo una densidad de una muestra cada 2.2 has. (Figura 2). Sobre estas muestras se realizaron análisis de MO, CE (conductividad eléctrica del extracto de saturación) y pH (SAMLA 2004)

Categoría	Estado del cañaveral	Producción estimada (t caña/Ha)
1	Caña de pobre desarrollo	0-20
2	Caña de desarrollo bajo	20-40
3	Caña de desarrollo medio	40-60
4	Caña de desarrollo medio a bueno	60-70
5	Caña con buen desarrollo	70-90

Tabla 1: Categorías del estado del cañaveral, el Chilcal, Leales.

Figura 1: Ubicación del lote donde se realizó el estudio.

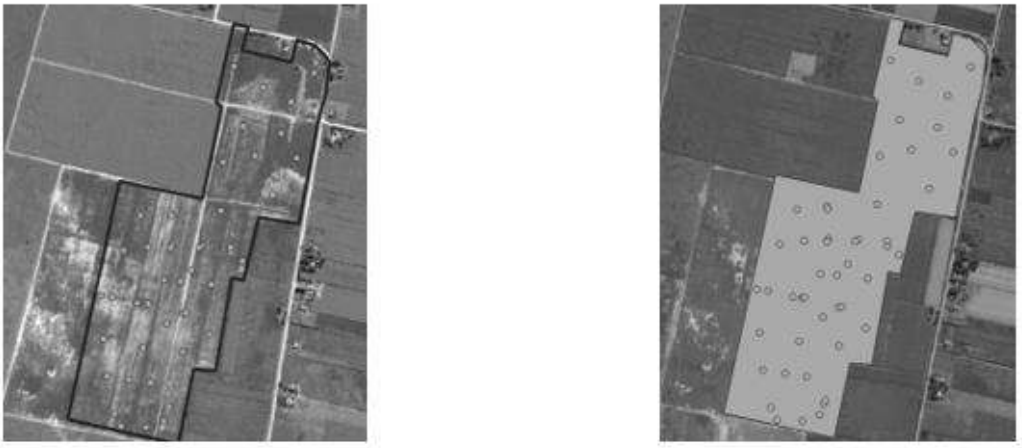


Figura 2: Puntos de muestreo. El Chilcal. Leales. Tucumán.

Con los datos de suelo y las categorías de producción se realizó una regresión lineal y estadística descriptiva con el software Infostat (Di Renzo, *et al.,* 2018). Con la información georreferenciadas e generaron mapas para cada variable estudiada con el software R (R Core Team (2017)) procurando definir ambientes dentro del lote. La interpolación para la generación de los mapas se realizó con la técnica Krigging ordinario (Peralta *et al.,* 2013; Oliver and Webster, 2015).

RESULTADOS.

En los 43 sitios de muestreo dominaron las clases de producción medias a bajas (categorías 1,2 y 3) que representaron el 74 % del total (Figura 3).
Los contenidos de Materia Orgánica fluctuaron entre valores bajos (1%) y moderados a elevados (2.9%), con un valor medio de 2.2%. Los valores de pH fueron en promedio moderadamente alcalino (8.32) variando entre 6.5 y 9.6. La CE fue en promedio baja (0.53 dS/m) con un máximo de 1.9 dS/m, valor cercano al crítico para el cultivo de la caña de azúcar (2dS/m) (tabla 2).

El nivel de producción cultural presentó una relación negativa y significativa con pH y CE, la relación con MO no fue significativa (Figura 4 y Tabla 3). Los bajos valores de CE y altos de pH pueden generar suelos sódicos donde las condiciones físicas, químicas y biológicas tienen un efecto negativo sobre el sistema radicular de la caña (Torres Dugan, *et al.* 2017)

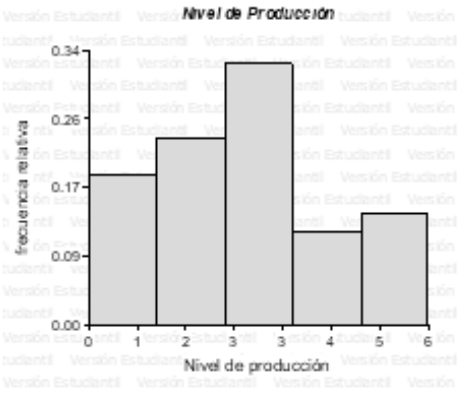
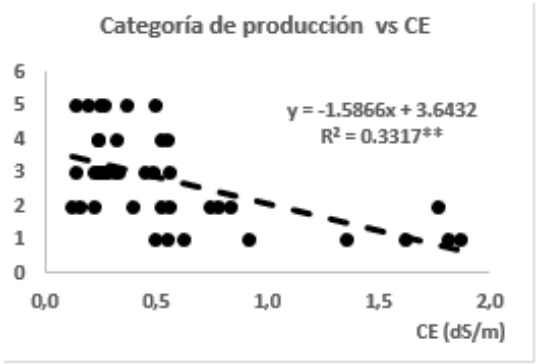
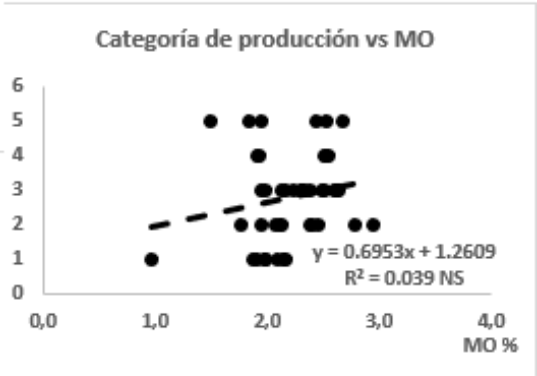


Figura 3: Frecuencias relativas de la variable "Nivel de producción" de caña. El Chilcal. Leales. Tucumán.





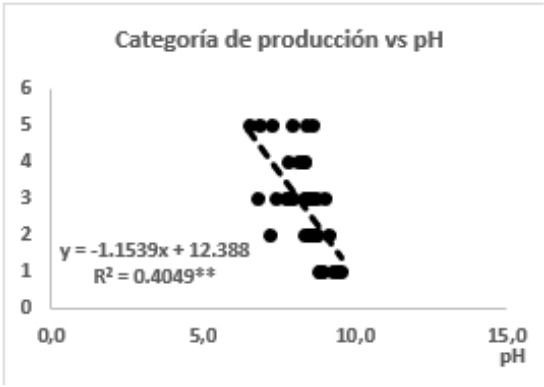


Figura 4: Relación entre los niveles de producción y las variables de suelo pH, CE y MO. El Chilcal. Leales.

Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx	Mediana	Asimetría
MO	43	2.2	0.36	1	2.9	2.2	-0.74
pH	43	8.32	0.71	6.5	9.6	8.4	-0.66
CE	43	0.53	0.47	0.1	1.9	0.4	1.82

Tabla 2: Medidas de resumen de las variables edáficas MO, pH y CE. El Chilcal, Leales.

Se detectó una relación positiva y significativa entre pH y CE, si bien esto es esperable por la naturaleza sódica de las sales presentes (Flogliata *et al*., 1963),

los valores de CE fueron muy bajos por lo que la relación pierde importancia dentro de los rangos evaluados (Figura 5)

El mapa de CE no se generó por que la distribución de los datos no fue normal presentando un coeficiente de asimetría elevado (1,82) (Tabla 2).

Los datos de pH y MO tuvieron una distribución normal y permitieron realizar la predicción adecuadamente (Figuras 6 y 7

	Variable	N	R2	p Value	Sign. EstadPrueba tal 5%
Nivel de Producción	pH	43	0.41	<0.0001	***
	CE	43	0.33	<0.0001	***
	MO	43	0.039	0,2606	NS

Tabla 3: Regresión lineal entre el Nivel de la Producción y las variables de suelo. MO, pH y CE. El Chilcal, Leales.

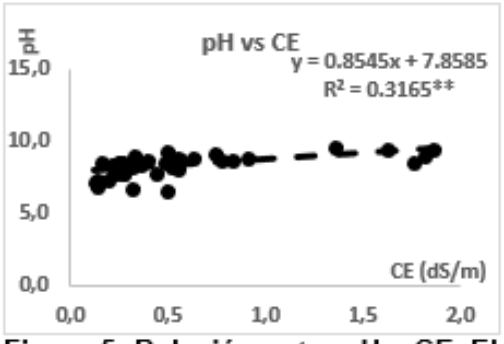


Figura 5: Relación entre pH y CE. El Chilcal. Leales.

De estas variables el pH explicó mejor los niveles de producción de caña, esto se puede explicar por la naturaleza sódica de los suelos en aquellas zonas más bajas con mayor influencia de la napa freática (Fogliata *et al*., 1963).

La variable pH permitió diferenciar sectores dentro del lote que permitirían realizar tareas dirigidas como descompactación y aplicación de enmiendas cálcicas para reemplazar Sodio en la capa superficial (Bradyand Weil, 2002).

La aplicación de fuentes orgánicas como compost también pueden constituir una alternativa para disminuir el efecto negativo del pH fuertemente alcalino.

Otras prácticas como el drenaje profundo para deprimir la napa requerirían de estudios a mayor profundidad de suelo y estudios planialtimétricos.

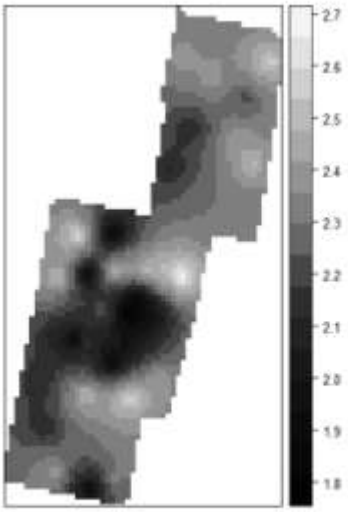


Figura 6: Predicción de MO, El Chilcal, Leales.

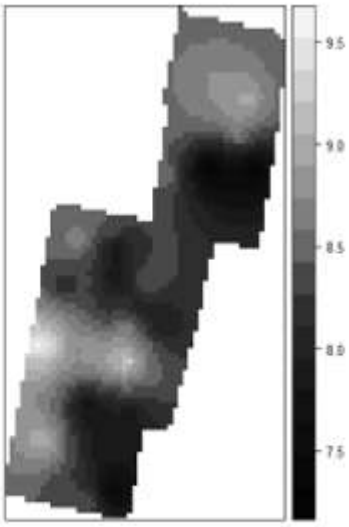


Figura 7: Predicción de pH, El Chilcal, Leales.

CONCLUSIONES

El pH del suelo fue la variable que mejor explicó los diferentes niveles de producción de la caña de azúcar.

Le generación de un mapa de pH del suelo permitió separar distintos ambientes.

La conductividad eléctrica del suelo (Salinidad) fue baja.

BIBLIOGRAFÍA

Brady, N. C. and Weil, R. R. 2002. Brady, N. C. and Weil, R. R. (Eds) The Nature and Properties of Soil. 13th. edition. 960 p.

Bullock, DS; N Kitchen & DG Bullock. 2007. Multidisciplinary Teams: A Necessity for Research in Precision Agriculture Systems Crop Sci. 47: 1765-1769.

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL http://www.infostat.com.ar

Fandos, C.; Scandaliaris, J.; Scandaliaris, P.; Carreras Baldrés, J. I y Soria, F. J. 2016. Relevamiento satelital de cultivos en la provincia de Tucumán. Reporte agroindustrial. Boletín N° 124.

FAOSTAT. 2009. Crop production. Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://faostat.fao.org/site/567. Consulta [08/10/19].

Figueroa, L. R. (1996). Variaciones del nivel freático en la llanura deprimida de Tucumán. Serie Monográfica N°3. INTA, CRTS. Tucumán.

Fogliata, F. A; P. J. Aso y F. Gómez. 1963. Influencia de la napa freática y del contenido salino del suelo en el crecimiento de la caña de azúcar. Boletín N°93. Estación Experimental Agrícola de Tucumán.

Oliver, M. A y Webster, R. 2015. Basic Steps in Geostatistics: The Variogram and Kriging. SpringerBriefs in Agriculture, DOI 10.1007/978-3-319-15865-5_1.

Peralta, NR, JL Costa, M Balzarini, &, M Castro Franco. 2013. Delineation of management zones with digital elevation models and soil depth. Journal of science and technology of the Americas. 38:1-7.

R Core Team (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.

Romero, E 2009. La caña de azúcar: características y ecofisiología. En Romero, E. R.; Digonzelli, P. A.; Scandaliaris, J. (Eds). Manual del cañero: 15-22.

S.A.M.L.A. (2004). Buenos Aires, Argentina: Secretaría Agricultura, Ganadería,Pesca y Alimentos

Sosa F. A.; R. Correa; M. Flores; J. Danovis y J. Navarro. 2019. Variación del nivel, conductividad eléctrica y pH de napa freática en dos ambientes próximos en el departamento Leales, Tucumán. VI Reunión De La Red Argentina De Salinidad.

Torres Duggan M., Alvarez C.R y Rimski Korsakov H. 2017. Evaluación de la calidad del agua y del suelo regado en forma complementaria. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica. 25. Marzo 2017.

Zuccardi, R. B. y Fadda, G. S. 1985. Bosquejo agroecológico de la provincia de Tucumán. Publ. Misc FAZ-UNT (86).

USO DE LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA TOTALCOMO INDICADOR MICROBIOLÓGICO DE CALIDAD DE UN SUELO REGADO CON VINAZA

Sotomayor, C.*; Arroyo, E. A.*; Navarro Di Marco, J.P.*; Ludueña, L. **; Peña Malavera, A.N. *** y Sanzano, G.A.* csotomayor@eeaoc.org.ar

*Sección Suelos y Nutrición Vegetal ** Sección Agronomía de la caña de azúcar ***ITANOA
Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, Las Talitas, Tucumán, Argentina

Palabras clave: hidrólisis del diacetato de fluoresceína, efluente

INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso viviente, dinámico y no renovable, cuya condición y funcionamiento es vital para la productividad del ecosistema y para el mantenimiento de la calidad ambiental local, regional y global según Doran *et al.,* 1999 citado por Cerón Rincón y Melgarejo (2005).La evaluación de su calidades un proceso de conocimiento de la dinámica que presentan las propiedades edáficas y es eficaz para evaluar la sustentabilidad de las prácticas de manejo del suelo. Se lleva adelante con el propósito de conservar o mejorar la fertilidad y la productividad del mismo. La definición más completa y mundialmente aceptada de calidad del suelo es la capacidad de funcionar de un específico tipo de suelo, dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, de sustentar la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat (Doran & Parkin, 1994) citados por Vallejo-Quintero (2013).

Como las propiedades de los suelos varían naturalmente a través del tiempo por acción de aquellos factores que intervienen en su formación, (material original, clima, biota, relieve y tiempo),y la acción del hombre, en consecuencia, no existe solo una medida química, física o biológica para determinar su calidad, sino que para poder aproximarse a la misma se seleccionan aquellas fácilmente medibles y sensibles a la situación dada. Por tal motivo es necesaria una apropiada selección y uso de indicadores que provean información útil para dar seguimiento a los efectos del manejo sobre la funcionalidad del suelo durante un período de tiempo.

Según Etchevers *et al.,* (2009) los indicadores de calidad del suelo deben cumplir con las siguientes funciones: tienen que ser atributos o propiedades que integren características y procesos de índole físico, químico o biológico que ocurren en el suelo y cuyo cambio sea lo suficientemente sensible y rápido para poder ser medidos cuantitativamente por métodos sencillos, o aun apreciados de manera cualitativa, y en el corto plazo. Tienen, además, que ser fáciles de medir o estimar y, particularmente, ser reproducibles. No todos los parámetros tienen la misma relevancia para todos los suelos o situaciones, y son considerados una herramienta muy útil para la toma de decisiones sobre el manejo de un suelo.

Las propiedades físicas que pueden ser utilizadas como indicadores de la calidad del suelo son aquellas que reflejan la manera en que este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como las limitaciones para el crecimiento de las raíces y la emergencia de las plántulas. La densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración y conductividad hidráulica saturada son algunas de ellas, Bautista Cruz *et al.,* (2004). Para Rayo Estrada-Herrera *et al.,* (2017) entre los indicadores químicos más usados están el pH, la conductividad eléctrica, el carbono orgánico total y lábil, la materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, nitrógeno total, entre otros.

Uno de los parámetros bioquímicos que permite evaluar la actividad biológica del suelo es la hidrólisis del diacetato de fluoresceína (FDA). Esta medida de la actividad enzimática total, permite inferir la actividad microbiológica en un determinado suelo (Lillo *et al.,* 2011) y, a su vez, es un parámetro sensible a las prácticas de manejo del recurso. La hidrólisis de diacetato defluoresceína (FDA) es una reacción que involucra diversos grupos de enzimas, tales como proteasas, lipasas, esterasas, constituyendo un indicador sensible de la actividad microbiana total de la hojarasca y el suelo (Adam y Duncan, 2001; Green et al., 2006) citados por Ulloa Larrea (2014). Sin embargo, considerándola capacidad de resiliencia del ecosistema, se puede pensar que cualquier cambio medio ambiental podría ser detectado en su inicio por su componente biológico (por ej.; enzimas). De ahí que la presencia o deficiencia de enzimas del suelo, puedan ser consideradas como un bioindicador sensible ante una posible perturbación ambiental.

Durante años se ha incluido la evaluación de indicadores de calidad de suelo físicos y químicos en lo referido al manejo de la vinaza en la provincia de Tucumán, no existiendo hasta el momento estudios de parámetros microbiológicos sobre el tema. La vinaza es el efluente que deriva de la producción de alcohol, principalmente de la fermentación de la melaza y está caracterizada por una elevada carga orgánica, acidez y elevado tenor salino (sales de potasio principalmente). La relación promedio es alcohol: vinaza 1:12 cuando la materia prima empleada es la melaza, Sotomayor *et al.,* (2018).Según lo publicado por Sotomayor (2022), este residuo orgánico de la industria sucroalcoholera admite diferentes alternativas de manejo, entre las cuales la más difundida e incorporada por la industria local en la actualidad es la de su aplicación en suelos cultivados con caña de azúcar, procurando realizar aportes nutricionales mediante el aprovechamiento de sus principales constituyentes (materia orgánica, nitrógeno, potasio), como así también la disposición en suelos de baja o nula capacidad productiva. La cantidad aplicable dependerá de las características del suelo destino (contenidos salinos y textura, principalmente), del régimen de lluvias de la región y también de los aspectos positivos o potencialmente negativos para el suelo y los cultivos, de forma que el uso de vinaza mejore o al menos mantenga la calidad de los suelos.

Es por ello y por la importancia que implica el riego con vinaza en los suelos de nuestra provincia que el objetivo de este trabajo fue medir y evaluar la actividad enzimática total, como indicador de calidad microbiológico de un Argiudol típico sometido a diferentes dosis de vinaza durante tres años consecutivos y su relación con algunos parámetros químicos del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en un suelo Argiudol típico, cultivado con caña de azúcar, ubicado en la localidad de Delfín Gallo, dpto. Cruz Alta, provincia de Tucumán, Argentina. Se trabajó en un diseño en bloques completamente aleatorizados con cuatro tratamientos y tres repeticiones de cada uno de ellos. Las dimensiones de las parcelas experimentales fueron de 108 m^2 cada una. Los tratamientos evaluados fueron: **V0** (testigo sin aplicación de vinaza), **V100** (recibe un equivalente a 100 m3 de vinaza/ha/año, **V150** (recibe un equivalente a 150 m3 de vinaza/ha/año y **V300** (recibe un equivalente a 300 m3 de vinaza/ha/año). Se inició la experiencia en caña planta, recibiendo riegos por surco con vinaza durante tres años consecutivos. Posterior al último riego se extrajeron muestras compuestas de suelo en cada parcela a las profundidades de 0-5 cm, 5-15 cm y 0-10 cm. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de la Sección Suelos y Nutrición Vegetal y también en el laboratorio de Microbiología, ambos pertenecientes a la EEAOC. En el primero se analizaron indicadores edáficos químicos tales como pH, conductividad eléctrica (CE), potasio intercambiable (k+) y las diferentes fracciones de la materia orgánica: FPe (fracción pesada), FL (fracción ligera), FI (fracción intermedia), FPa (fracción particulada) y

carbono orgánico total (COT).También se analizó la vinaza empleada en los riegos. En el laboratorio de microbiología se determinó la actividad enzimática total, se utilizó la técnica de la fluoresceína diacetato (FDA) descripta por Adam y Duncan (2000), que permite cuantificar la actividad de enzimas microbianas tales como proteasas, lipasas y estereasas no específicas asociadas a los procesos bioquímicos de suelo. El análisis estadístico de los parámetros químicos y el microbiológico fue empleando modelos mixtos, también se realizó un análisis de componentes principales (ACP) y correlaciones de Pearson para evaluar la relación entre las FDA y las propiedades químicas del suelo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 1. Caracterización de la vinaza empleada.

Muestra	pH	CE (dS/m)	MO (%)	Ntotal (%)	Ptotal (%)	Ktotal (%)
VINAZA	4,8	18,1	39,2	0,4	0,2	0,7

Con respecto a la actividad enzimática total (FDA) se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos que recibieron vinaza y el testigo sin aplicar. También existió interacción significativa entre los diferentes tratamientos y las profundidades 0-15 cm y 5-15 cm. A medida que se incrementó la dosis de vinaza aplicada incrementó la FDA, concentrándose la mayor actividad enzimática en los primeros 5 cm de suelo y con mayor efecto en el tratamiento V150, Figura “1”. Al igual que en los otros sistemas vivos, la velocidad de la reacción catalizada por una enzima es dependiente de las condiciones ambientales (Tº, pH, fuerza iónica, presencia o ausencia de inhibidores según Burns, 1982; Sarkar *et al.,* 1989, citados por Ulloa Larrea (2014) y de la concentración del sustrato y de las enzimas. Cada enzima tiene sus rangos óptimos para actuar y la variación de alguno de ellos la modifica. Según el CTEP de Uruguay las enzimas tienen su pH óptimo para actuar, si está arriba o abajo del mismo se alteran las interacciones lo que destruye su estructura y el sitio activo. Si se revierte un pequeño cambio en el pH, estas pueden recuperarse. Si son grandes las variaciones se destruyen de manera permanente. También indicó que en cualquier reacción catalizada, el sustrato debe unirse primero con la enzima para formar el complejo enzima-sustrato. Para una concentración de sustrato particular, un aumento en la concentración enzimática aumenta la velocidad de la reacción catalizada. A concentraciones enzimáticas altas, más moléculas están disponibles para unirse al sustrato y catalizar la reacción. Si la concentración del sustrato es alta, puede saturar todas las moléculas de la enzima. Entonces la velocidad de la reacción alcanza su máximo y la adición de más sustrato no aumenta más la velocidad de la reacción.
https://uruguayeduca.anep.edu.uy/sites/default/files/inline
Concentraciones elevadas de productos finales de reacciones enzimáticas en el suelo pueden inhibir la actividad enzimática. Por ejemplo, la fosfatasa actividad aumenta en suelos deficientes en fósforo, pero su actividad disminuye en el suelo con alta concentración de fósforo.
https://agglabs.pe/wp-content/uploads/Diagn%C3%B3sticos-y-soluciones-de remediaci%C3%B3n-de-suelos-y-%C3%A1reas-degradadas.pdf
Las variaciones significativas en el pH, CE y la mayor cantidad de sustrato incorporado al sistema podrían probablemente ser las causas que provoquen una menor FDA en V300.

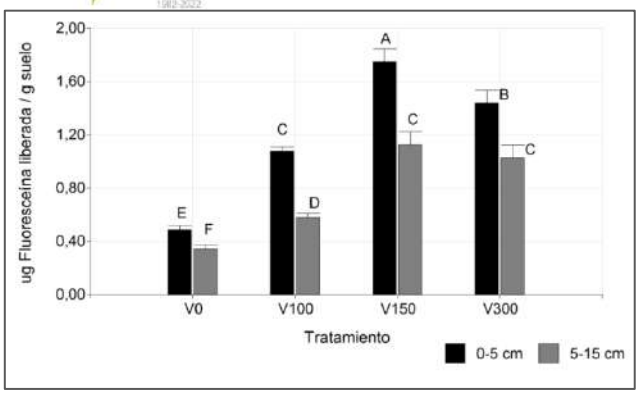


Figura 1. Respuesta de la FDA a los distintos tratamientos y a las profundidades 0-5 cm y 5-15 cm. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05).

Los resultados han demostrado que los parámetros químicos, pH, CE, K+ presentan incrementos significativos en todos los tratamientos que recibieron vinaza con respecto al testigo. El incremento en el pH del suelo provocó un cambio en la categoría inicial, de ligeramente ácido a neutro en las profundidades de 0-5 y 5-15 cm. Resultados similares con respecto al pH fueron obtenidos por Gasca *et al* (2011) y Brito *et a*l (2009), concluyendo que la vinaza podría inducir a una disminución en el potencial rédox, como consecuencia de la liberación de electrones de los compuestos orgánicos presentes, este proceso de reducción consume protones (iones H+) principal responsable en el aumento de pH; otro proceso posible que describe Gasca *et al* (2011) es la existencia de actividades microbianas en el proceso de descomposición de la materia orgánica, teniendo como consecuencia la liberación de CO2 y otros gases, influyendo en el pH del suelo. En la CE las diferencias son significativas en los tratamientos V150 y V300 (concentrándose los contenidos más elevados) en los primeros 5 cm, no así en V100 que no se diferencia del testigo. En la profundidad de 5-15 cm solo se diferencia estadísticamente el V300. Y el K+ se incrementa significativamente con el incremento de las dosis de vinaza empleadas, encontrándose los valores más elevados en V300. Sotomayor *et al.,* (2018) afirman que en un suelo Haplustol fluvacuentico la CE y el K+ aumentan en todo el perfil del suelo analizado a medida que las dosis de vinaza empleadas eran mayores, y que las diferencias establecidas entre los tratamientos que recibieron vinaza y el testigo fueron significativas, presentando la mayor concentración en los 10 cm superficiales. El aumento en la concentración de sales pudo deberse al aporte que provoca el efluente caracterizado por sus elevados tenores salinos, principalmente de potasio, Tabla 2 y 3.

Tabla 2 y 3. Evolución de indicadores de calidad químicos en las profundidades de 0-5 cm y 5-15 cm. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05).

0-5 cm	pH	CE	K+
V0	6,0 **A**	1,0 **A**	2,2 **A**
V100	6,5 **B**	1,0 **A**	3,0 **B**
V150	6,6 **B**	1,2 **B**	3,0 **B**
V300	6,9 **B**	1,5 **C**	3,5 **C**

5-15 cm	pH	CE	K+
V0	6,2 **A**	0,9 **A**	2,0 **A**
V100	6,5 **B**	1,1 **AB**	3,1 **B**
V150	6,6 **B**	1,2 **AB**	2,9 **C**
V300	6,9 **C**	1,4 **B**	3,8 **D**

El análisis de componentes principales permite explicar cómo los indicadores químicos, incluidas las distintas fracciones de la materia orgánica, y la actividad enzimática total asumen los mayores valores en los tratamientos V150 y V300 (en ambas profundidades), concentrando el primero la FDA y todas las fracciones de la materia orgánica y el segundo el pH, la CE y el K+, Figura 2.

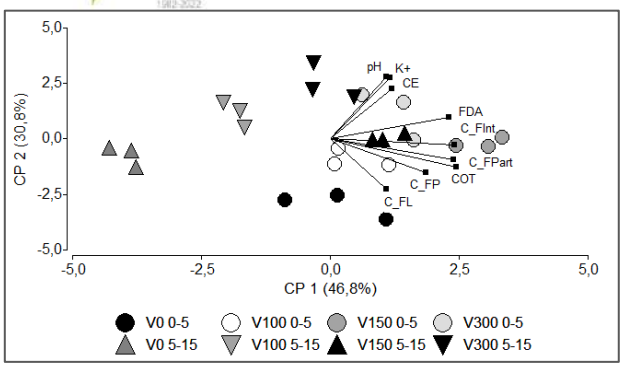


Figura 2. Análisis de componentes principales de los parámetros químicos y del microbiológico en ambas profundidades y con los diferentes tratamientos.

Ha quedado demostrado a través de las correlaciones de Pearson las relaciones positivas y significativas entre las FDA y las propiedades químicas del suelo como el COT, la CE, el K+, las distintas fracciones de la materia orgánica, Tabla 4.

Tabla 4. Coeficiente de correlación de Pearson para las distintas variables químicas y FDA.

VARIABLE 1	VARIABLE 2	PEARSON	P- VALOR
FDA	FPe	0,45	0,0026
FDA	FI	0,78	<0,0001
FDA	FPa	0,59	0,0027
FDA	COT	0,61	0,0016
FDA	pH	0,57	0,0034
FDA	CE	0,40	0,0533
FDA	K+	0,55	0,0050

Resultados similares han sido encontrados en la profundidad de 0-10 cm en donde los tratamientos que reciben vinaza presentan diferencias estadísticamente significativas con mayores valores de FDA, siendo el V150 el que mayor actividad enzimática presenta. También los incrementos en los valores de pH y K+ son significativos a medida que la dosis de vinaza aplicada aumenta, y la CE manifestó incrementos significativos en V300.

CONCLUSIONES

La actividad enzimática total (FDA) del suelo resulta un indicador sensible a los cambios en el manejo de la vinaza, ya que las diferencias estadísticas fueron significativas entre las diferentes dosis del efluente empleadas y en las distintas profundidades analizadas.

Se detectó una correlación positiva y significativa entre la FDA y los indicadores químicos evaluados en este trabajo. Los cambios en los indicadores químicos evaluados individualmente fueron significativos y por lo tanto pueden también usarse como indicadores de calidad. Los resultados obtenidos en esta primera experiencia marcan un precedente y permite abrir nuevos caminos en lo referido al manejo de la vinaza en la provincia de Tucumán.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Bautista Cruz, A., Etchevers Barra, J., del Castillo, R., & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores:*Ecosistemas*, *13*(2). Recuperado a partir de https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/572

Ceron Rincon, L. E., & Melgarejo Munoz, L. M. 2005. Enzimas del suelo: indicadores de salud y calidad. Acta Biológica Colombiana, 10(1), 5-18 https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=319028576001

Etchevers, J.D.C. Hidalgo, S. Pajares, J.F. Gallardo, M.A. Vergara, M.A. Bautista y J. Padilla. 2008. Calidad o salud del suelo: Conceptos, indicadores y aplicación en agricultura

Lillo, A., Ramírez, H., Reyes, F., Ojeda, N., & Alvear, M. (2011). Actividad biológica del suelo de bosque templado en un transecto altitudinal, https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=173119394006

Rayo Estrada-Herrera, Hidalgo-Moreno, C., Guzmán-Plazola, R., J., Almaraz Suárez, J., Navarro-Garza, H., Etchevers-Barra, J.D.. 2017. Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad soil quality indicators to evaluate soil fertility. Agrociencia 51: 813-831

Sotomayor, C., Morandini, M., Sanzano, G. A. y Rojas Quinteros, H. C. 2018. Efecto de la aplicación de vinaza en propiedades químicas y físicas del suelo. Revista industrial y agrícola de Tucumán, 95(1), 27-33

Sotomayor, C. Manejo de la vinaza en la industria sucroalcoholera. 2022. Manejo de la vinaza en la industria sucroalcoholera Revista Avance Agroindustrial 43(1)pp. 42-47

Ulloa Larea. 2014. Hidrólisis de fluoresceína diacetato y actividad de las enzimas proteasa, celulasa, nitrato reductasa y ureasa del suelo en bosque prístino, sur de chile. http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2014/fcu.42h/doc/fcu.42h.pdf

Vallejo-Quintero, V. E. 2013. Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles. Colombia Forestal Vol. 16(1)

https://uruguayeduca.anep.edu.uy/sites/default/files/inline Disponible 11 de noviembre de 2022

https://agqlabs.pe/wp-content/uploads/Diagn%C3%B3sticos-y-soluciones-de-remediaci%C3%B3n-de-suelos-y-%C3%A1reas-degradadas.pdf. Disponible 13 de noviembre de 2022

CARACTERIZACION DE EXTRACTOS ACUOSOS DE RAC Y EVALUACION DE SUS EFECTOS ALELOPÁTICOS SOBRE EL CRECIMIENTO DE DIFERENTES MALEZAS

Tortora ML*; Nuñez MA*; Leggio Neme MF*; Alderete M*; Digonzelli PA*

(*)Subprograma Agronomía de Caña de Azúcar, Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). Av William Cross 3150, Las Talitas, Tucumán, Argentina. (4101). Mail: ltortora@eeaoc.org.ar.

PALABRAS CLAVES: bioherbicidas, compuestos fenólicos, residuo agrícola de cosecha

INTRODUCCION

Durante la cosecha en verde de la caña de azúcar, se genera gran cantidad de residuo agrícola de cosecha (RAC) constituido por restos de hojas y despuntes (Romero *et al.,* 2009). El manejo de este RAC depende de las condiciones agroecológicas de cada región. En algunas zonas, es recomendable dejarlo como cobertura sobre la superficie del suelo o incorporarlo al perfil del suelo, mientras que en otras, se recomienda su retiro total o parcial del campo para no afectar el crecimiento del cañaveral (Digonzelli *et al.*, 2011 a y b). Mantener la cobertura de RAC sobre el suelo aporta una gran cantidad de materia orgánica y mejora su estabilidad estructural, favorece la conservación de la humedad ya que disminuye la evaporación y mejora la infiltración del agua de lluvia y/o riego, reduce la erosión, permite el reciclado de nutrientes y disminuye la infestación de malezas al actuar como una barrera física, modificando las condiciones de luz y temperatura necesarias para la germinación y el crecimiento de las mismas (Tester y Morris, 1987, Digonzelli *et al*., 2011 a y b). Además, cuando el RAC se descompone libera sustancias químicas que pueden inhibir el crecimiento de malezas debido a un efecto de alelopatía (Viator *et al.,* 2006, Núñez *et al*., 2020). Las malezas constituyen una problemática grave para el cultivo de caña de azúcar ya que compiten por el agua, luz y nutrientes y además son hospederos de plagas y enfermedades, por lo que su manejo resulta fundamental. Teniendo en cuenta estas consideraciones, el objetivo de este trabajo fue caracterizar la composición química del RAC de caña de azúcar y evaluar el efecto de distintas concentraciones de extractos acuosos de RAC, sobre el crecimiento de cuatro especies de malezas (*Tithonia tubaeformis, Amaranthus palmeri, Eleusine indica* y *Sicyos polyacanthus)*.

MATERIALES Y METODOS

1. Obtención de extractos acuosos de RAC

Para la preparación de los extractos acuosos de RAC, se utilizó la técnica descripta por Viator *et al.,* (2006). En forma manual, se recolectó el residuo fresco de la variedad LCP 85-384. El residuo se almacenó en bolsas para su transporte hasta el laboratorio de la EEAOC, y luego se secó en estufa a 60°C durante 24 h. Transcurrido este tiempo, se utilizó el procedimiento de agua fría descripto por Harper y Lynch (1982) para extraer del RAC compuestos con posible actividad alelopática utilizando agua destilada en proporciones 1:28 (p/v) (agua: residuo), (Viator *et al.,* 2006). La extracción se llevó a cabo por inmersión del RAC en un baño termostatizado a 25°C durante 4 h. Finalmente, el RAC se descartó y el extracto obtenido se filtró para eliminar impurezas, obteniéndose así el extracto puro (100 %), a partir del cual se realizaron diferentes diluciones con agua destilada (50 % y 25 %) (v/v). Todas las diluciones se conservaron en cámara fría a 4°C y en oscuridad hasta su uso.

2. Caracterización química de los extractos acuosos

2.1 Cuantificación de fenoles solubles totales

Se utilizó la técnica colorimétrica de Folin- Ciocalteu descripta por Swain y Hillis (1959). La técnica se basa en la reacción de los compuestos fenólicos con el reactivo de Folin-Ciocalteu, a pH básico, dando lugar a una coloración azul que se determina espectrofotométricamente a 760 nm. Para esto, se mezclaron 200 µl del extracto puro de RAC (100%) con 200 µl del reactivo de Folin- Ciocalteu y se incubó durante 2 min a temperatura ambiente. Luego, se agregaron 800 µl de Na_2CO_3 al 7,5% (p/v) y se incubó la mezcla durante 5 min a temperatura ambiente. Por último, se agregaron 800 µl de agua destilada para llegar a un volumen final de 2 ml y se midió la absorbancia a 760 nm (A_{760} nm). Las muestras se analizaron por triplicado. Previo a la determinación de los equivalentes de fenoles del extracto, se preparó una curva de calibración utilizando diferentes concentraciones de ácido gálico como estándar. El contenido de fenoles se expresó en Mmoles equivalentes de fenoles/kg de RAC.

2.2 Cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas (GC/MS)

Para la identificación de los compuestos presentes en el extracto acuoso de RAC, se empleó la técnica de cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masa (GC/MS). El análisis por GC-MS se realizó con un equipo Thermo Electron modelo Polaris Q asociado a una fuente de ionización por impacto electrónico y a un analizador masa-trampa (Thermo Finnigan, USA). En las separaciones cromatográficas se utilizó una columna DB-5 (Agilent JW, USA) utilizando gas He como fase móvil, con una velocidad de flujo de 0.3 ml/min y un volumen de inyección de 1 µl. La fuente de ionización se mantuvo a 200ºC, mientras que el horno del cromatógrafo se programó con un gradiente de temperatura, iniciando a 55ºC por 1 min hasta los 350ºC a una velocidad de 5°C/min. El análisis de masa se realizó por impacto electrónico, utilizando un potencial de ionización de 70 eV.

3. Efecto de los extractos acuosos de RAC sobre el crecimiento de las malezas

Para determinar el efecto de los extractos acuosos de RAC sobre el crecimiento de *Amaranthus palmeri, Eleusine indica* y *Thitonia tubaeformis*, las semillas se pregerminaron en cámara de brotación en bandejas plásticas de 500 g con sustrato comercial Grow Mix Premium (Terrafertil) y luego las plántulas fueron trasplantadas a macetas de 1 l conteniendo el mismo sustrato comercial. Para el caso de *Sicyos polyacanthus*, las semillas fueron pregerminadas en cámara de brotación en bandejas plásticas de 500 g con arena y luego las plántulas fueron trasplantadas a macetas de 250 ml. Los tratamientos evaluados consistieron en el riego de las plántulas con diferentes concentraciones del extracto acuoso del RAC: 1) 100 %, 2) 50 %, 3) 25 % y 4) control regado con H_2O. En todos los casos, se regó con el mismo volumen hasta capacidad de campo 3 veces por semana durante 30 días. Las macetas se colocaron en un sombráculo a temperatura ambiente y luz natural, en un diseño completamente aleatorizado con 3 repeticiones cada una formada por 5 macetas. Al finalizar el bioensayo, 30 días después del trasplante, se determinó el peso seco de las plantas. Para esto las plantas se secaron en estufa a 65°C hasta peso constante. Los datos se analizaron estadísticamente mediante el análisis de la varianza (ANOVA) y la Prueba Tukey, con el programa InfoStat (Software Estadístico, 2010) para Windows.

RESULTADOS

1.- Caracterización del extracto acuoso de RAC de caña de azúcar

En el presente estudio se determinó que el contenido de fenoles solubles para el extracto del RAC de la variedad LCP 85-384 fue de 15,375 Mmoles Eq/ kg de RAC.

Además, se utilizó la técnica de GC/MS para caracterizar los compuestos volátiles del extracto de RAC. La figura 1 y la tabla 1 muestran los resultados de este análisis.

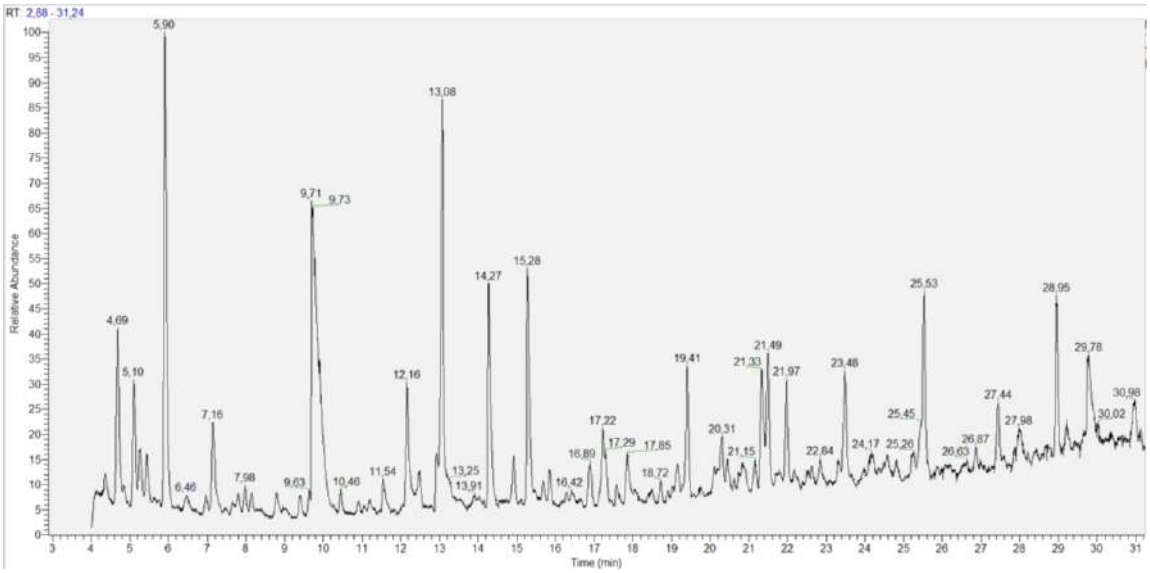


Figura 1. Cromatograma de iones totales (TIC) para los compuestos fenólicos presentes en el extracto acuoso de RAC obtenido del cultivar LCP 85-384.

El estudio por GC/MS confirmó la presencia de compuestos fenólicos tales como el ácido benzoico y derivados tales como el propilbenceno, 1,2,4-trimetilbenceno, 1,2,3,4 – tetrametilbenceno, entre otros. Viator (2006) también identificó la presencia del ácido benzoico en el RAC de caña de azúcar; para este compuesto y sus derivados se identificaron efectos alelopáticos sobre algodón, pasturas y trigo, entre otras especies (Lodhi *et al*., 1987 y Wu *et al.,* 2002). Por otra parte, los compuestos alelopáticos de los ácidos ferúlico, vanílico y siríngico fueron aislados de lixiviados del RAC de caña de azúcar (Sampietro *et al*., 2006; Sampietro y Vattuone, 2006).

Tabla 1. Identificación de compuestos orgánicos presentes en el extracto acuoso de RAC obtenido del cultivar LCP 85-384

Compuestos fenólicos	Tiempo de retención (tr) (min)	Peso molecular (g/mol)	Fragmentos característicos
Propilbenceno	4.37	120	120, 91
1-etil-2,4-dimetilbenceno	4.69	134	133, 89, 87
Estireno	5.27	104	104, 103, 78, 77
1-etil-2-metilbenceno	5.44	120	120, 105, 103, 79, 77
1,2,4-trimetilbenceno	5.90	120	120, 105, 91, 77
Tolueno	7.16	120	120, 105, 91, 79, 77
1-metil-3-(1-metileter) benceno	7.98	134	134, 119, 91
1,2,3,5 – tetrametilbenceno	9.37	134	134, 119, 91, 77
1,2,3,4 – tetrametilbenceno	9.63	134	134, 119, 91, 77
Fenilglioxal	10.46	134	134, 119, 91, 57
Ácido benzoico	22.84	122	122, 105, 77, 50
2-metoxi-4-vinilfenol	25.53	150	135, 107, 77
Benzofurano	28.95	120	120, 91, 65

2.- Efectos alelopáticos del extracto acuoso de RAC de caña de azúcar sobre el crecimiento de diferentes malezas

Las figuras 2, 3, 4 y 5 muestran el efecto de diferentes concentraciones del extracto de RAC sobre el peso seco de las plantas en las diferentes especies de malezas evaluadas.

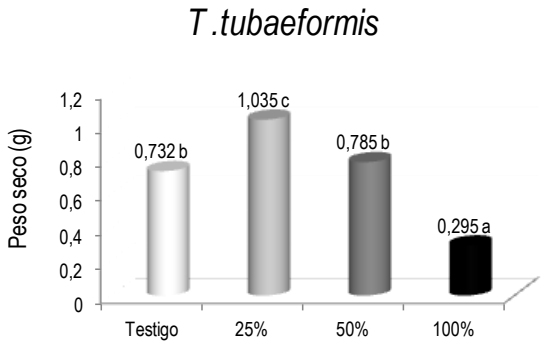


Figura 2. Efecto de diferentes concentraciones del extracto acuoso de RAC sobre el peso seco (PS) de *Tithonia tubaeformis*.

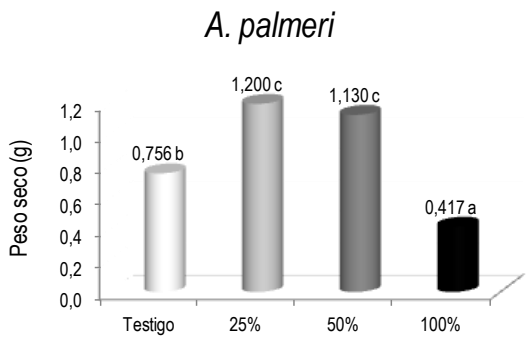


Figura 3. Efecto de diferentes concentraciones del extracto acuoso de RAC sobre el peso seco (PS) de *Amaranthus palmeri*.

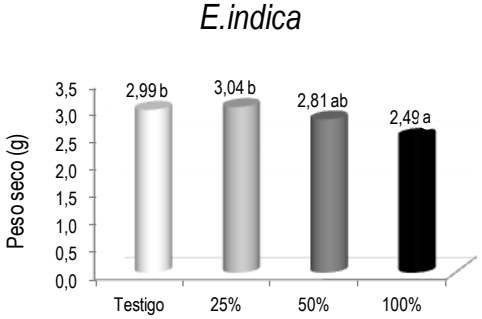


Figura 4. Efecto de diferentes concentraciones del extracto acuoso de RAC sobre el peso seco (PS) de *Eleusine indica*.

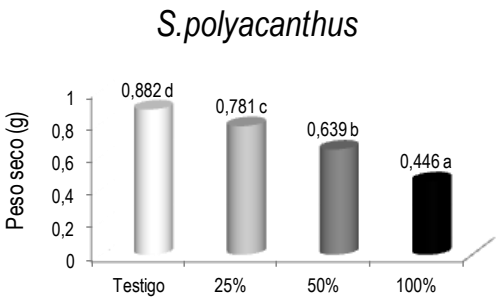


Figura 5. Efecto de diferentes concentraciones del extracto acuoso de RAC sobre el peso seco (PS) de *Sicyos polyacanthus*.

Para las cuatro especies de malezas estudiadas, se observó una disminución del peso seco cuando se regó con el tratamiento de extracto de RAC a una concentración del 100%, respecto al testigo regado con agua. Esto indica que el extracto acuoso del RAC sin diluir redujo significativamente el crecimiento de estas malezas. Estos resultados coinciden con diferentes reportes que indican que lixiviados del RAC de caña de azúcar son capaces de disminuir la germinación y el crecimiento de algunas malezas como: *Sida rhombifolia*, *Amaranthus hybridus* e *Ipomoea purpurea* (Sampietro *et al*., 2006; Sampietro y Vattuone, 2006 y Viator *et al*., 2006). En el presente estudio, el riego con el extracto de RAC sin diluir, produjo una reducción del PS de las plantas del 60%, 44,7%, 16,7% y 48,9% para *Tithonia tubaeformis*, *Amaranthus palmeri*, *Eleusine indica* y *Sicyos polyacanthus*, respectivamente. Nuestros resultados indican que *Eleusine indica* resultó la especie menos afectada en su crecimiento por el efecto alelopático del extracto de RAC, lo que concuerda con lo mencionado por Altieri y Doll (1978) quienes consideran a esta especie como tolerante a compuestos aleloquímicos. Además, en el caso de *T. tubaeformis* y *A. palmeri*, se observó un efecto hormético cuando las malezas fueron regadas con bajas concentraciones del extracto. La hormesis es una forma de alelopatía por la cual un agente químico, que en dosis altas provoca efectos negativos sobre el crecimiento, puede ejercer un efecto estimulante a bajas dosis.

CONCLUSIONES

- El extracto del RAC de la caña de azúcar var. LCP 85-384 contiene compuestos de tipo fenólico que presentan efectos alelopáticos, como el ácido benzoico y sus derivados.
- El extracto del RAC, a su mayor concentración, reduce en forma significativa el crecimiento de las cuatro especies de malezas estudiadas.
- Las menores concentraciones del extracto producen un efecto hormético sobre dos de las malezas estudiadas: *T. tubaeformis* y *A. palmeri*.
- El efecto del extracto del RAC en la reducción del crecimiento de las malezas depende tanto de la concentración del mismo como de la especie de maleza evaluada.
- Si bien es necesario continuar los estudios, el extracto del RAC de caña de azúcar muestra potencial para la formulación futura de bioherbicidas.

BIBLIOGRAFIA

Altieri M.A.; Doll J.D., 1978, The potential of allelopathy as a tool for weed management in crop fields, Pans, 24(4), 495-502.

Digonzelli P.; Romero E.; Alonso L.; Fernández de Ullivarri J.; Rojas Quinteros H.; Scandaliaris J.; Fajre, S., 2011 a, Assesing a sustainable sugar cane production system in Tucumán, Argentina. Part one: Sugar cane harvest residue (trash) decomposition dynamics, Rev. Industrial y Agrícola de Tucumán (RIAT) 88(1): 1-12.

Digonzelli P.; Tonatto M.J.; Romero E.R.; Sanzano G.A.; Fernández de Ullivarri J.; Giardina J. A.; Scandaliaris, J., 2011 b, Assessing a sustainable sugar cane production system in Tucumán, Argentina. Part II: soil water and thermal regime, stalks population dynamics and sugarcane production, Rev. Industrial y Agrícola de Tucumán (RIAT) 88(2): 1-10.

Harper S.H.T.; Lynch J.M., 1982, The role of water-soluble components in phytotoxicity from decomposing straw, Plant Soil 65:11-17.

Núñez M.A.; Alderete M.; Barceló M.F.; Tortora M.L.; Leggio M.F.; Romero E.; Digonzelli P., 2000, Poster BV-57. IV Reunión conjunta de Sociedades de Biología de la República Argentina. Tucumán, Argentina.

Lodhi M.A.K.; Bilai R.; Malik K.A., 1987, Allelopathy in agroecosystems: Wheat phytotoxicity and possible roles in crop rotation, J. Chem. Ecol., 13(8): 1881-1891.

Romero E.R.; Scandaliaris J.; Digonzelli P.A.; Alonso L.; Leggio Neme F.; Giardina J.; Casen S.; Tonatto J.; Fernández de Ullivarri J., 2009, Effect of variety and cane yield on sugarcane potential trash, Rev. Industrial y Agrícola de Tucumán (RIAT) 86 (1): 9-13.

Sampietro D.A.; Vattuone M.A., 2006. Sugarcane straw and its phytochemicals as growth regulators of weed and crop plants, Plant Growth Regul, 48:21-27.

Sampietro D.A.; Vattuone M.A.; Isla M.I., 2006. Plant growth inhibitors isolated from sugarcane (*Saccharum officinarum*) straw, J Plant Physiol, 163(8), 837-846.

Tester M.; Morris C., 1987. The penetration of light through soil, Plant Cell Environ, 10:281-286.

Swain T; Hillis W.E., 1959. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. The quantitative analysis of phenolic constituents, J. Sci. Food Agric., 10(1), 63-68.

Viator R.P.; Johnson R.M.; Grim C.C.; Richard E.P., 2006, Allelopathic, autotoxic, and hormetic effects of postharvest sugarcane residue. Agron J, 98(6):1526-1531.

Wu H.; Haig T.; Pratley J.; Lemerle D.; An M., 2002, Distribution and exudation of allelochemicals in wheat (*Triticum aestivum*), J. Chem. Ecol, 26: 2141-2154

POSTERS

ÁREA AGRÍCOLA

SOCIEDAD ARGENTINA
DE TÉCNICOS DE LA
CAÑA DE AZÚCAR

Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas según prueba de LSD de Fisher (5%) entre variedades.

USO DE *Azospirillum brasilense* y *Pseudomonas fluorescens* COMO BIOFERTILIZANTE EN CAÑA DE AZÚCAR

Alonso, L.; Fernández González, P.; Alderete M.; Leggio Neme, M.F.; Tortora, M.L.; Romero, E.R.

Sección Caña de Azúcar. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) - Av. Williams Cross 3150, Las Talitas (4101), Tucumán; Argentina;lgalonso @eeaoc.org.ar

Introducción

En las cañas plantas de los cañaverales de Tucumán, la fertilización nitrogenada presenta respuestas muy aleatorias a esta práctica, lo cual es debido a la alta disponibilidad de nitrógeno que presentan los suelos por la mineralización de la materia orgánica, generada por las tareas de preparación de suelo (Romero *et al*, 2009). A esto se suma el alto costo y a los riesgos ambientales que demanda hacer esta actividad, hace que sea necesario buscar alternativas de mayor eficiencia y de menores costos. En los últimos años, la EEAOC ha evaluado el uso de biofertilizantes con buenas respuestas en caña de azúcar, permitiendo reducir el uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos (Alonso *et al*, 2008).

Estos bioproductos presentan microorganismos benéficos para los cultivos, los cuales favorecen un mejor desarrollo de los cañaverales, tanto en caña planta como en las cañas socas.

Los microorganismos presentes son bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR), siendo las más estudiadas *Azospirillum brasilense* y *Pseudomonas fluorescens*.

Estas bacterias tienen como ventajas las siguientes características: no requieren la necesidad de invadir el tejido vegetal y presentan una alta densidad poblacional, lo que facilita la colonización de la rizósfera.

Azospirillum brasilense, es una bacteria que utiliza diversos mecanismos para favorecer el desarrollo de los cultivos, tales como fijación de nitrógeno, actividad nitrato reductasa, producción de compuestos reguladores del crecimiento, producción de compuestos osmoprotectores, solubilización de fosfatos, producción de sideróforos, absorción de agua y nutrientes(Armenta-Bojórquez, et al, 2010) (Torriente, D., 2010).

El uso de *Azospirillum brasilense* en caña de azúcar favorece el incremento en la longitud de raíces, hojas y tallos (Cock, et al, 2011).

Las cepas de *Pseudomonas*, se han caracterizado como solubilizadores de fósforo con la capacidad de producir ácidos orgánicos (como ácido oxálico, ácido fumárico y ácido cítrico) y fosfatasas que facilitan la solubilización de fósforo y otros nutrientes (Rodríguez et al, 2005).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la respuesta por el uso de un biofertilizante compuesto por *Azospirillum brasilense* (cepa Ab-V6) y *Pseudomonas fluorescens* (cepa CCTB 03), en la producción de caña planta.

Palabras claves: biofertilizante, caña planta, *Azospirillum*, *Pseudomonas*

Materiales y método

Se establecieron 3 ensayos en diferentes regiones cañeras de Tucumán.Estos fueron situados en el campo La Argentina, departamento Burruyacú, en García Fernández, Leales y en el campo Ischilon, departamento Chicligasta.La variedad implantada en estos sitios fue LCP 85-384, plantada en la campaña 2021. Las características edáficas y las precipitaciones se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Características edáficas y precipitaciones de los lotes evaluados.

Lote	Materia Orgánica %	Textura	Fósforo disponible (ppm)	Precipitaciones (mm)
Ischilón	1,3	Franco arenosa	60,4	1008
La Argentina	1,9	Franco limosa	34,1	662
García Fernández	2,7	Franco limosa	72,4	1163

Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos que se evaluaron se dispusieron en un diseño experimental de bloques al azar con 4 repeticiones, en tanto los tamaños de las parcelas fueron de 5 surcos distanciados a 1,60 m y de 50 m de longitud, aproximadamente.

Los tratamientos evaluados fueron los siguientes:

1. Testigo (sin fertilización)
2. Az-PF 0,5 l/ha, aplicado al suelo
3. Az-PF 1,0 l/ha, aplicado al suelo
4. Az-PF 1,5 l/ha, aplicado al suelo
5. Az-PF 2,0 l/ha, aplicado al suelo

La aplicación del biofertilizante se desarrolló entre el 13 de septiembre al 18 de octubre del 2021. Esta tarea se realizó luego de bajada de bordo, pulverizando sobre la línea de surco. El volumen de aplicación fue de 100 l/ha.

Previo a la cosecha, se realizaron las evaluaciones de población y peso de tallos. Con esos datos se estimó la producción cultural del cañaveral. Además, se tomaron 3 muestras de 10 tallos de cada parcela que se pelaron, despuntaron en el punto natural de quiebre y se llevaron al Laboratorio de Investigación Azucarera de la EEAOC para el análisis de la calidad fabril.Los datos fueron analizados estadísticamente con el programa Infostat. Para el ANVA general se utilizó un arreglo factorial y se efectuó el contraste de media al 5% de probabilidad con el test de Fisher.

Resultados

En la Tabla 2, se detallan los rendimientos culturales obtenidos de los distintos tratamientos evaluados en los 3 lotes comerciales, donde se llevaron a cabo las experiencias con el biofertilizante.

Tabla 2. Rendimiento cultural de los lotes evaluados en los diferentes tratamientos.

Tratamiento	Ischilón		La Argentina		García Fernández	
	Rto Cultural (t/ha)	Fisher 5%	Rto Cultural (t/ha)	Fisher 5%	Rto Cultural (t/ha)	Fisher 5%
Testigo	72,22	B	58,32	B	57,21	A
Az-PF 0,5 l/ha	84,87	AB	76,84	A	64,15	A
Az-PF 1,0 l/ha	92,46	A	79,40	A	65,05	A
Az-PF 1,5 l/ha	97,99	A	72,52	A	66,05	A
Az-PF 2,0 l/ha	97,98	A	77,28	A	69,70	A
CV %	12,79		11,98		15,78	
Dms	17,41		13,31		15,34	

Las aplicaciones de 1,0, 1,5 y 2,0 l/ha del biofertilizante presentaron diferencias significativas en el rendimiento en los lotes Ischilón y La Argentina, mientras que la dosis de 0,5 l/ha, presentódiferencias, solamente en el lote La Argentina.

En el ensayo realizado en el lote García Fernández, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados.

Cuando se graficael rendimiento cultural promedio en los tres lotes evaluados (Figura 1), el uso de 2,0 l/ha presentó los mayores valores, con incrementos sobre el testigo sin aplicar entre 12,5 a 25,8 t/ha, con un incremento porcentual del 30%.

La dosis de 1,5 l/ha, presentaron incrementos de 8,8 a 25,8 t/ha, con incrementos porcentuales promedio de 25,2%. La dosis de 1,0 l/ha, presentó incrementos similares a la dosis anterior, con valores de 13,7 a 21,1 t/ha de aumento y 26% de adicional de rendimiento, mientras que las aplicaciones de 0,5 l/ha presentó los menores incrementos, con promedios entre 6,9 a 18,5 t/ha, promediando 20,3% de incremento.

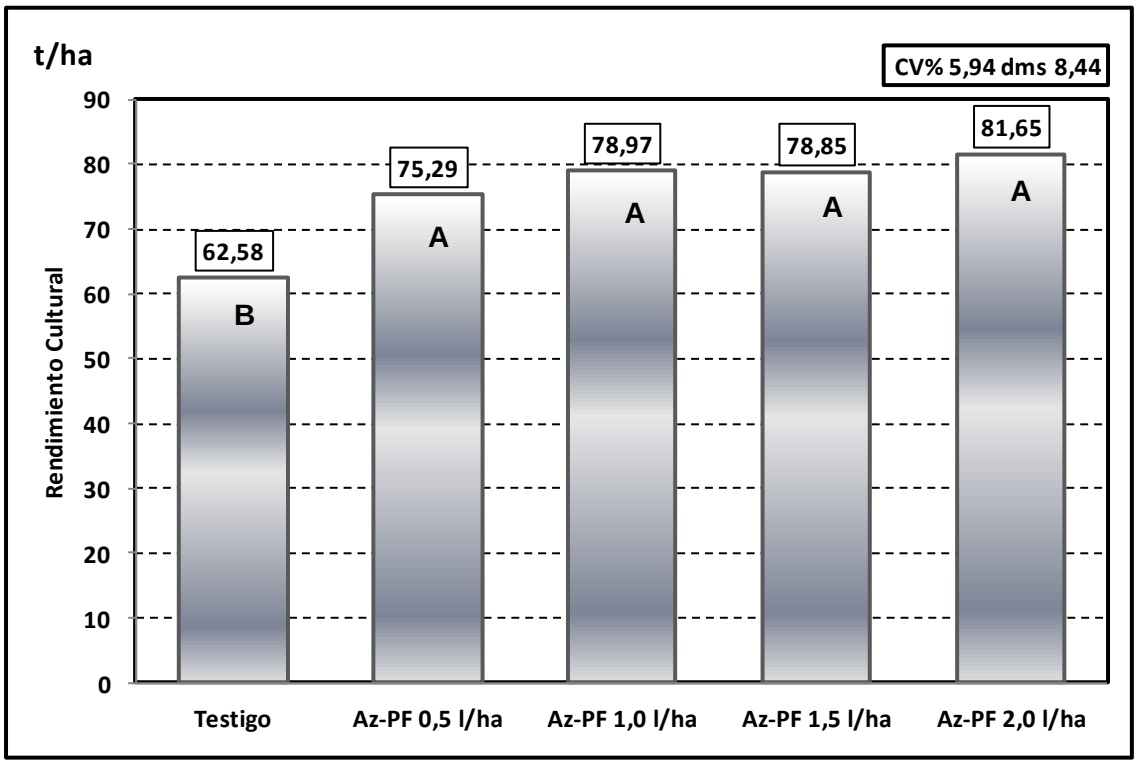


Figura 1. Rendimiento cultural promedio, LCP 85-384 de lostres lotes y tratamientos evaluados.

En la evaluación de la calidad fabril de los jugos, no se observaron diferencias entre los tratamientos en el Pol% caña de los jugos analizados en los diferentes ensayosbajo evaluación (Tabla 3).

Tabla 3. Rendimiento fabril de los jugos de LCP 85-384 de los lotes evaluados en los diferentes tratamientos.

Tratamiento	Ischilón		La Argentina		García Fernández	
	Pol% caña	Fisher 5%	Pol% caña	Fisher 5%	Pol% caña	Fisher 5%
Testigo	14,53	A	15,78	A	14,40	A
Az-PF 0,5 l/ha	14,40	A	15,49	A	14,39	A
Az-PF 1,0 l/ha	14,98	A	15,72	A	14,18	A
Az-PF 1,5 l/ha	14,40	A	15,33	A	14,67	A
Az-PF 2,0 l/ha	14,70	A	15,21	A	14,59	A
CV%	2,73		5,66		3,31	
dms	0,60		1,33		0,72	

Con los valores de rendimiento cultural y de calidad fabril, se estimó la producción de azúcar para cada tratamiento.

Las dosis de 1,0, 1,5 y 2,0 l/ha del biofertilizante presentaron diferencias significativas con relación al testigo, en los lotes de Ischilón y La Argentina. En el lote García Fernández no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados.

Las diferencias observadas en la aplicación de 2,0 l/ha con respecto al testigo fueron 2,41, 1,14 y 1,23 t/ha en los lotes evaluados (Tabla 4).

Tabla 4. Producción de azúcar de LCP 85-384 de los lotes evaluados en los diferentes tratamientos.

Tratamiento	Ischilón		La Argentina		García Fernández	
	Producción de azúcar	Fisher 5%	Producción de azúcar	Fisher 5%	Producción de azúcar	Fisher 5%
Testigo	6,30	B	5,55	B	4,91	A
Az-PF 0,5 l/ha	7,37	AB	7,13	A	5,44	A
Az-PF 1,0 l/ha	8,34	A	7,48	A	5,54	A
Az-PF 1,5 l/ha	8,50	A	6,65	A	5,79	A
Az-PF 2,0 l/ha	8,71	A	6,69	A	6,14	A
CV%	11,37		10,24		15,91	
dms	1,40		1,06		1,34	

En la Figura 2, se grafican los promedios de la producción de azúcar en t/ha de los tres lotes evaluados vs los tratamientos realizados.

Cuando se evaluó la producción de azúcar, se observó, que la aplicación de 2,0 l/ha del biofertilizante evaluado, mostró los mayores niveles productivos de azúcar, presentando 1,6 t/ha más de azúcar con respecto al tratamiento sin fertilizar, esto representa un 28,4% de incremento. La dosis de 1,0 l/ha presentó valores similares a los 2,0 l/ha, con diferencias de 1,53 t/ha (27,4%) (Figura 2).

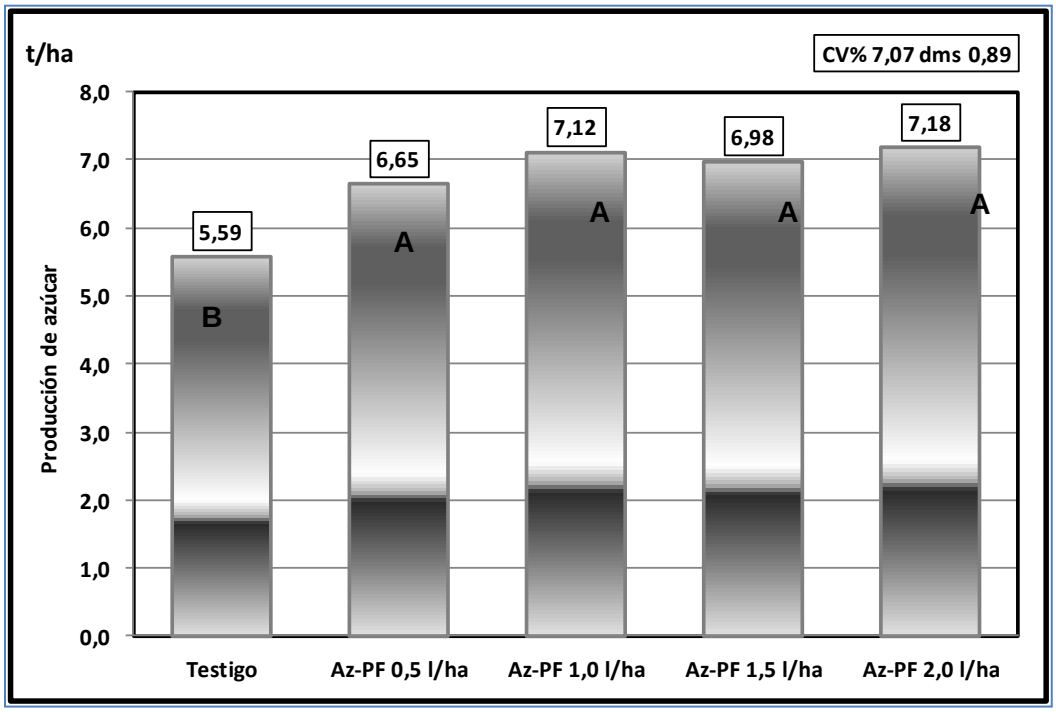


Figura 2. Producción de azúcar promedio, LCP 85-384 de los 3 lotes y tratamientos evaluados.

Conclusiones

La dosis de 2,0 l/ha del biofertilizante compuesto por *Azospirillum brasillense* y *Pseudomonas fluorescens* presentó los mayores rendimientos culturales y de producción de azúcar.

Las dosis de 1,0 y 1,5 l/ha, presentaron rendimientos menores que la dosis de 2,0 l/ha, mostrando diferencias en dosde los lotes evaluados (La Argentina e Ischilón).

En las aplicaciones del biofertilizante, se observó, en general, mayor peso en los tallos, siendo esta variable la de mayor efecto en la producción cultural.

No se observaron efectos negativos en el uso del biofertilizante en cuanto a la calidad de los jugos de caña.

El uso de *Azospirillum brasilense* junto a *Pseudomonas fluorescens* en caña planta representan una alternativa para la fertilización sostenible, de bajo impacto ambiental y con buenos rendimientos culturales.

Bibliografía

Romero, E.R.; Digonzelli, P.A. y Scandaliaris, J. (2009). Manual del cañero. ISBN 978-987-21283-7-1.

Alonso, L.G.; Romero, E.R.; Casen, S.D.; Leggio Neme, M.F.; Sanzano, G.A. y Rojas Quinteros, H.C. (2008). Evaluación de un biofertilizante foliar como complemento de lafertilización nitrogenada en caña de azúcar. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres. EEAOC. Tucumán. AR. Avance agroindustrial. v. 29, no. 3 (sep.2008). p. 12-15.

Armenta-Bojórquez, A. D., García-Gutiérrez, C., Camacho-Báez, J. R., Apodaca-Sánchez, M. Á., Gerardo-Montoya, L., & Nava-Pérez, E. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. Ra Ximhai, 6(1), 51-56.

Torriente, D. (2010). Aplicación de bacterias promotoras del crecimiento vegetal en el cultivo de la caña de azúcar. Perspectivas de su uso en Cuba. Cultivos tropicales, 31(1), 00-00.

Cock, L. S., García, C. A., & Hernández, L. J. V. (2011). Biofertilización, una alternativa al uso de fertilizantes químicos en caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). Alimentos Hoy, 20(24), 69-82.

Rodríguez, Hilda, & Fernández, Maria Teresa (2005). El papel de la solubilización de fósforo en los biofertilizantes microbianos. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, XXXIX(3),27-34. ISSN: 0138-6204.

DESARROLLO DE LINEAS TRANSGENICAS POTENCIALMENTE RESISTENTES A *DIATRAEA SACCHARALIS*

F. BUDEGUER[1], J. RACEDO[1], R. ENRIQUE[1], M.F. PERERA[1], S. OSTENGO[2] and A. S. NOGUERA[1]

[1]Instituto de Tecnología Agroindustrial del Noroeste Argentino (ITANOA), Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Las Talitas, Tucumán, R. Argentina, T4101XAC.
[2]Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC), Las Talitas, Tucumán, R. Argentina, T4101XAC. florbudeguer88@gmail.com

Introducción

La industria azucarera es la agroindustria más antigua de Argentina, está asentada fundamentalmente en la región NOA, siendo Tucumán la principal provincia productora

tanto de azúcar como de alcohol. Esta actividad tiene una significativa influencia en la vida socio económica de la Provincia, ya que involucra a más de 5500 productores. Por ello, la Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) lleva a cabo desde sus inicios un intenso trabajo de investigación y desarrollo tecnológico para mejorarla integralmente y dotarla de mayor sustentabilidad. El Programa de Mejoramiento Genético de Caña de Azúcar (PMGCA) de la EEAOC genera nuevas variedades de mayor productividad con características agronómicas sobresalientes, con el fin de ponerlas a disposición del sistema productivo y ampliar el espectro varietal del cultivo en la provincia. Entre los genotipos liberados, se destaca la variedad TUC 03-12 que presenta muy buena calidad industrial, elevados rendimientos de caña/ha, muy buena sanidad con alta resistencia al mosaico, carbón y moderada resistencia a roya marrón. Sin embargo, como la mayoría de las variedades de caña de azúcar, es susceptible al raquitismo de la caña soca y al gusano perforador *Diatraea saccharalis* (https://www.eeaoc.org.ar/productos/35/TUC-03-12.html).

D. saccharalis (Fabricius) (Lepidoptera: Crambidae) es considerada la plaga más importante del cultivo de caña de azúcar en América, ocasionando grandes pérdidas en las diferentes etapas fenológicas del cultivo. Las larvas de los primeros estadios se alimentan del parénquima y las vainas de las hojas, mientras que las larvas de estadios mayores perforan los tallos, facilitando la colonización por hongos y bacterias generando la enfermedad conocida como podredumbre roja, lo que indirectamente reduce el rendimiento y la calidad del azúcar (Long y Hensley 1972; Macedo y Botelho 1988).

Los avances en la ingeniería genética de las plantas han llevado a un progreso en lo que respecta a la protección contra las plagas mediante la transferencia de genes derivados de plantas, plagas y bacterias (Budeguer *et al*., 2021). Dentro de todos los genes utilizados, los producidos por la bacteria *Bacillus thuringiensis* (Bt) son los más importantes. Durante el crecimiento de la bacteria, se producen proteínas insecticidas tanto en su fase de crecimiento vegetativo (Vip) como en su fase de esporulación (Cry) (Chakroun *et al*., 2016). Los genes *cry* y *vip* de Bt se han utilizado ampliamente para producir plantas transgénicas para controlar muchas plagas de insectos diferentes, ya que son muy eficientes contra su blanco, pero no son tóxicos para otros insectos no blanco (Baranek *et al*., 2017). Aunque las proteínas Cry y Vip tienen un modo de acción general similar, no tienen ninguna homología estructural y se unen a sitios diferentes en el intestino medio de las larvas, lo que sugiere poca probabilidad de resistencia cruzada entre ellas (Carrière *et al*., 2016; Chakroun *et al*., 2016).

Como consecuencia de la adopción masiva de cultivos Bt en muchos países, se han detectado casos de resistencia en poblaciones de plagas blanco a determinados eventos Bt (Tabashnik *et al*., 2013). Por este motivo, se han desarrollado diferentes estrategias para retrasar la evolución de la resistencia en los insectos susceptibles, que incluyen la expresión de altas dosis de proteínas, un cultivo diseñado genéticamente para producir dos o más proteínas distintas que maten a la misma plaga (cultivo transgénico piramidal) y el uso de refugio (Cristofoletti *et al*., 2018). El uso de genes Bt piramidados se han adoptado

rápidamente en otros cultivos transgénicos y se espera que se utilicen con más frecuencia en el futuro, incluso en la caña de azúcar.

Objetivo

Obtener eventos transgénicos potencialmente resistentes a *D. saccharalis* a partir de la variedad de caña de azúcar TUC 03-12, mediante el bombardeo con microproyectiles de plásmidos que albergan los genes *cry* y *vip*.

Materiales y métodos

Material vegetal, construcción genética y transferencia de genes

Se prepararon callos embriogénicos para el bombardeo de la variedad TUC 03-12 bombardeo según lo descrito por Bower y Birch (1992). Se utilizaron los plásmidos pCry-Bar, pVip-Epsps y pAct-NptII para la transformación genética (Figura 1). Los tres plásmidos fueron sintetizados por la empresa Genewiz (EEUU). Para el bombardeo, los plásmidos purificados pCry-Bar, pVip-Epsps y pAct-NptII fueron precipitados, en 1,8 mg de microproyectiles de oro (1 µm de diámetro, BioRad), siguiendo el protocolo descrito por Altpeter y Sandhu (2010). El bombardeo se realizó utilizando un acelerador de micropartículas desarrollado en el Centro de Tecnología Copersucar (ahora Centro de Tecnología Canavieira) en Piracicaba, Brasil, según el modelo descrito por Finer *et al*. (1992), bajo una condición de vacío de 675 mmHg, con una presión de helio de 1.200 psi.

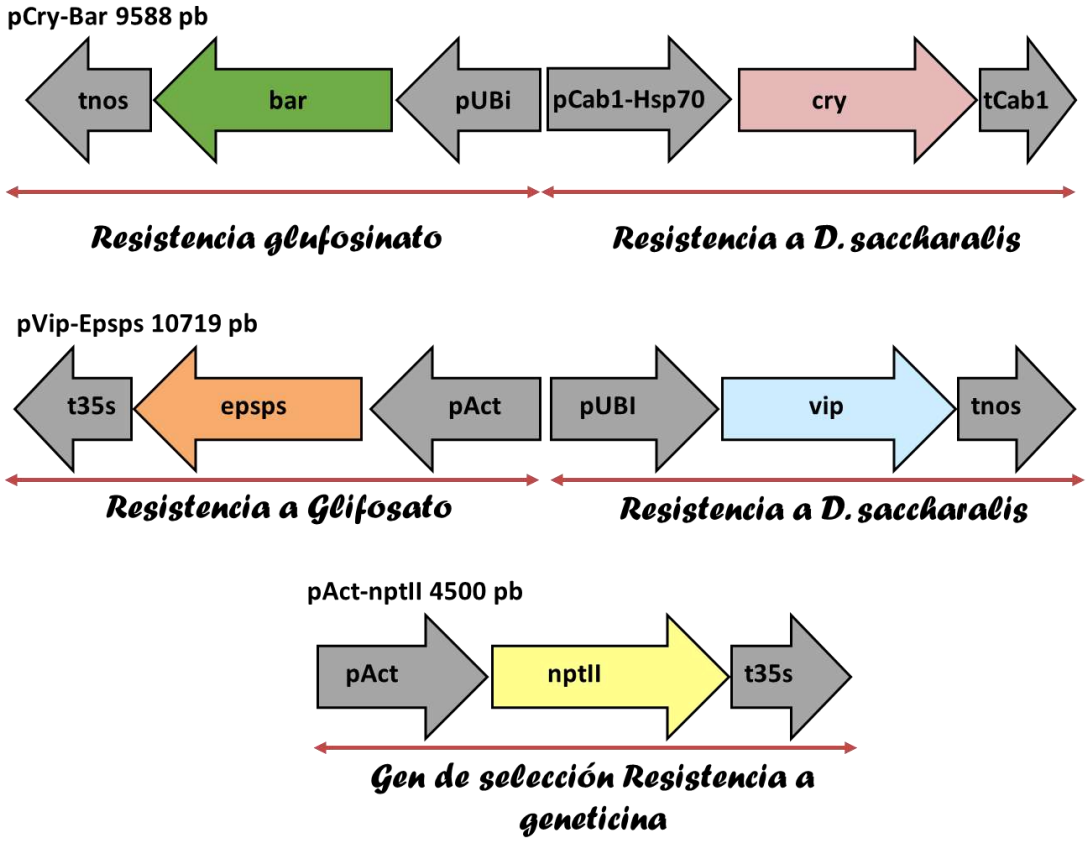


Figura 1. Plásmidos utilizados para la transformación genética mediante biobalística. El plásmido pCry-Bar contiene un gen de la familia *cry* que codifica para la proteína Cry que da resistencia a *D. saccharalis*. Este se encuentra bajo el control del promotor pCab1 de maíz fusionado a Hsp70 y el terminador tCab1. El gen *bar* de *Streptomyces hygroscopicus* codifica la enzima fosfinotricina acetiltransferasa, que confiere resistencia al herbicida glufosinato de amonio. Este se encuentra bajo el control del promotor de Zm-UBI1 (pUBI) y el terminador tnos El plásmido pVip-Epsps contiene un gen de la familia *vip* que codifica la proteína VIP que confiere resistencia contra *D. saccharalis*. Este se encuentra bajo el control del promotor constitutivo Zm-UBI1 (pUBI) y el terminador tnos. El gen *epsps* proviene de la cepa CP4 de *A. tumefaciens* y codifica para la enzima EPSPS, que confiere resistencia al herbicida Glifosato. Este se encuentra bajo el control del promotor constitutivo de Actina de arroz (pAct) y el terminador CaMV 35S (t35S). El plásmido pAct-NptII contiene un gen *nptII* que confiere resistencia al antibiótico geneticina, bajo el control del promotor pAct de arroz y el terminador t35s.

Condiciones de selección, regeneración y micropropagación

La selección de los callos transformados se llevó a cabo en un medio de cultivo descripto por Budeguer *et al*. 2020, que contenía 50 mg l^{-1} de geneticina como agente selectivo. Los callos que sobrevivieron a la etapa de selección, se regeneraron en un medio MS suplementado con 0,7 mg l^{-1} de 6-bencil amino purina (BAP) sin ácido diclorofenoxiacético (2,4-D), conteniendo el agente selectivo geneticina, bajo un régimen de luz de 16 horas (Noguera *et al*., 2015). Posteriormente, los brotes regenerados fueron micropropagados y enraizados de acuerdo con un protocolo previamente optimizado

desarrollado para la variedad de caña de azúcar RA 87-3 (Noguera *et al*., 2010) y aclimatados bajo condiciones controladas en invernadero.

Detección de eventos transgénicos por PCR

Se extrajo ADN genómico de 100 mg de material foliar de líneas resistentes a la geneticina, de plantas de maíz transgénicas con genes *cry* y *vip* como control positivo, y de plantas no transformadas como control negativo, utilizando el método descrito por Aljanabi *et al*. (1999). La cantidad y la calidad del ADN se determinaron midiendo la absorbancia a 260 nm (OD260) en un espectrofotómetro y mediante electroforesis en gel de agarosa (1%). La presencia de los genes *cry*, *vip* se detectó mediante PCR utilizando los cebadores específicos CryF4 (5'-CAGTTCAGGAGAGAATTGACC-3') y CryR4 (5'-GGCAAGTTAGAAGAGGTTCC-3'), Vip3aF3 (5'-CGTGTACAACTTCCTGATCG-3') y Vip3aR3 (5'-CAGGGTCTTCATCTTCTTGG -3'), respectivamente. Las amplificaciones por PCR se realizaron durante 30 ciclos según las siguientes condiciones: desnaturalización a 95°C durante 1 min; temperatura de anillado a 59°C (para los cebadores *cry* y *vip*), durante 45 s; y extensión a 72°C durante 5 min. Los productos de la PCR se analizaron mediante electroforesis en gel de agarosa (1%).

Resultados

Transformación y selección de líneas transgénicas

Un total de 1656 callos de la variedad comercial de caña de azúcar TUC 03-12, fueron bombardeados con los plásmidos pCry-Bar, pVip-Epsps y pAct-NptII. Se seleccionaron 595 líneas resistentes a la geneticina, las cuales fueron multiplicadas para poder realizar los ensayos moleculares y posteriormente los ensayos fenotípicos (Figura 2). De las 595 líneas obtenidas, se chequearon por PCR un total de 421 líneas para los genes *cry* y *vip*, siendo positivas para el gen *vip* un total de 47 líneas y para los genes *vip* y *cry* un total de 4 líneas (Figura 3). Los 51 eventos positivos, fueron enraizados y aclimatados en invernadero con la finalidad de realizar posteriores ensayos fenotípicos para evaluar la resistencia de las líneas obtenidas frente a *D. saccharalis*.

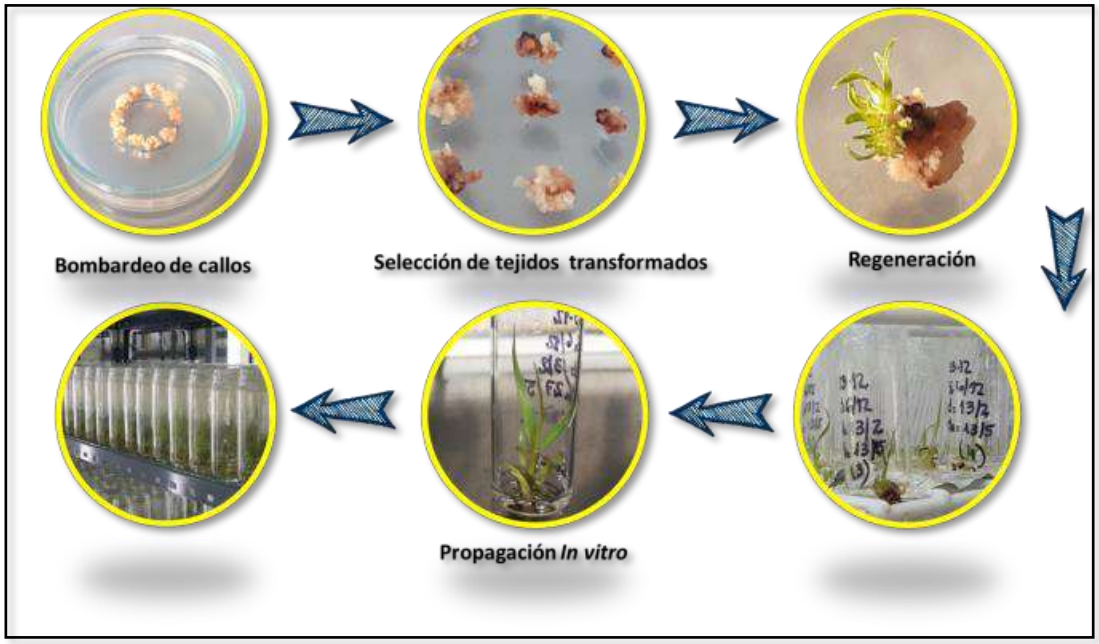


Figura 2. Etapas de selección, regeneración y multiplicación *in vitro* de callos embriogénicos bombardeados de la variedad TUC 03-12.

a)

Variedad	Total de callos transformados	Eventos seleccionados	Número de eventos PCR+		
			Gene cry	Gene vip	Ambos genes
TUC 03-12	1656	595	4	47	4

b)

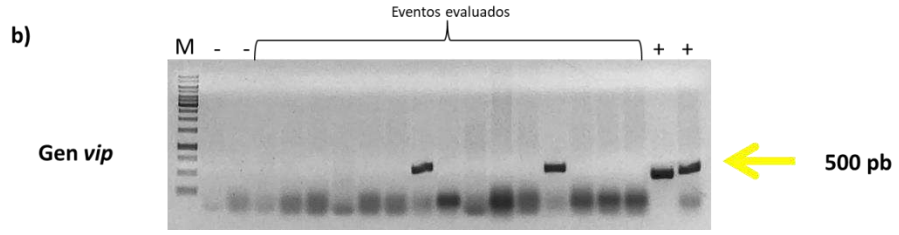


Figura 3. Transformación genética y selección de la variedad TUC 03-12. a) Descripción del nº de callos transformados y seleccionados, nº de eventos PCR + para cada gen. **b) Identificación de líneas TUC 03-12 PCR+ para el gen *vip*.** Calle 1: Marcador de peso molecular 1 kb. Calle 2 y 3: Controles negativos. Calle 4 hasta calle 18: Eventos transgénicos evaluados. Calle 19 y 20: Controles positivos.

Conclusiones

Se logró la inserción estable de genes Bt en plantas de caña de azúcar de la variedad TUC 03-12. Futuros estudios fenotípicos son necesarios para determinar su resistencia frente a *D. saccharalis*. Se espera que las líneas transgénicas obtenidas contribuyan al

incremento de la productividad y sostenibilidad económica, ambiental y social del cultivo de la caña de azúcar.

Bibliografía

Aljanabi S, Forget L, Dookun A. 1999. An improved and rapid protocol for the isolation of polysaccharide and polyphenol free sugarcane DNA. *Plant Molecular Biology Report* 17: 281.

Altpeter F and Sandhu S. 2010. Genetic transformation— biolistics. In Plant cell culture: essential methods (Davey MR; Anthony P Eds), pp 217–237. Wiley, Hoboken.

Baranek J, Konecka E, and Kaznowski A. 2017. Interaction between toxin crystals and vegetative insecticidal proteins of Bacillus thuringiensis in lepidopteran larvae. *BioControl* 62,649–658.doi:10.1007/s10526-017-9828-6

Bower R and Birch RG. 1992 Transgenic sugarcane plants via microprojectile bombardment. *The Plant Journal* 2(3):409–416. doi:10.1111/j.1365-313X.1992.00409.x

Budeguer F. 2020. Estrategias biotecnológicas para el manejo sustentable del insecto plaga *Diatraea saccharalis* en caña de azúcar. Defensa tesis doctoral, UNT. Fecha de defensa: 07/05/2020.

Budeguer F, Enrique RA, Perera MF, *et al*. 2021. Genetic transformation of sugarcane, current status and future prospects. *Frontiers in Plant Science* 2467.

Carrière Y, Fabrick JA, and Tabashnik BE. 2016. Can pyramids and seed mixtures delay resistance to Bt crops? *Trends in Biotechnology* 34, 291–302.

Chakroun M, Bel Y, and Escriche B. 2016. Bacterial vegetative insecticidal proteins (Vip) from entomopathogenic bacteria. *Microbiology and Molecular Biology Review* 80, 329–350.doi:10.1128/MMBR.00060-15.Address

Cristofoletti PT., Kemper EL., Capella AN., *et al.* 2018. Development of transgenic sugarcane resistant to sugarcane borer. *Tropical Plant Biology* 11,17–30.doi:10.1007/s12042-018-9198-y

Finer JJ, Vain P, Jones MW, *et al.* 1992. Development of the particle inflow gun for DNA delivery to plant cells. *Plant Cell Reports* 11: 323–328.

Long WH and Hensley SD. 1972. Insect pests of sugar cane. *Annual Review of Entomology* 17: 149–176.

Macedo N and Botelho PSM. 1988. Integrated pest management of sugarcane borer *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera, Pyralidae). *Brasil Açucareiro* 162: 2–11.

Noguera A, Enrique R, Perera MF, *et al*. 2015. Genetic characterization and field evaluation to recover parental phenotype in transgenic sugarcane: a step toward commercial release. *Molecular Breeding* 35: 115.

Noguera A, Paz N, Díaz E, *et al*. 2010. Proyecto Vitroplantas: La producción de caña semilla de alta calidad comienza en el laboratorio. Publicación Especial Nº40 Proyecto Vitroplantas: producción de caña semilla de alta calidad Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC), Las Talitas.

Tabashnik BE, Brévault T and Carrière Y. 2013. Review Insect resistance to Bt crops: lessons from the first billion acres. *Nature Biotechnology* 31, 510–521. doi:10.1038/nbt.2597

PROTECCIÓN DEL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR MEDIANTE EL USO DEL BIOINSUMOPSP1FRENTE AL ATAQUE DE *DIATRAEA SACCHARALIS*

Budeguer F. [1]; Michavila G. [1]; Chalfoun N.R. [1] Noguera A.S.[1]y Racedo J. [1]

[1]Instituto de Tecnología Agroindustrial del Noroeste Argentino (ITANOA), Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Las Talitas, Tucumán, R. Argentina, T4101XAC.
florbudeguer88@gmail.com

Introducción

Los inductores son aquellas moléculas que, tras ser reconocidas por la planta, activan señales que preparan o inducen una respuesta de defensa en la planta (Wiesel *et al*. 2014). Muchos estudios han demostrado el uso exitoso de diferentes inductores para reducir la incidencia de enfermedades en una amplia variedad de cultivos (Elmer y Reglinski 2006), pero hasta ahora no hay evidencia científica del uso de estos inductores para el control de lepidópteros.

El equipo de trabajo de ITANOA desarrolló un bioinsumo denominado PSP1 (acrónimo de Plant Stimulation and Protection) para el control de enfermedades bacterianas y fúngicas en especies monocotiledóneas y dicotiledóneas (Chalfoun *et al*. 2018a, 2018b). El ingrediente activo de PSP1 es una proteasa de origen fúngico, AsES (Acremonium strictum Elicitor Subtilisin). El elicitor AsES confiere una protección sistémica frente a aislados virulentos de *Colletotrichum* spp. causantes de la enfermedad de la antracnosis en plantas defrutilla(Chalfoun *et al*. 2013; Hael-Conrad *et al*. 2018) y también frente a *Botrytis cinerea* en *Arabidopsis thaliana* a través de la activación de las tres principales vías de señalización de defensa mediadas por el ácido salicílico (SA), el ácido jasmónico (JA) y el etileno (ET) (Hael-Conrad et al. 2015). La activación de la vía del JA por parte de PSP1 podría inducir un efecto protector contra los ataques de insectos. Este potencial beneficio, sumado al bajo costo de producción, su efectividad a bajas concentraciones, su larga vida útil, la tolerancia a altas temperaturas, la inocuidad para organismos no blanco y su facilidad de aplicación hace que PSP1 sea un candidato prometedor para el desarrollo de estrategias de manejo sostenible del gusano barrenador en el cultivo de la caña de azúcar.

Objetivo

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de PSP1 en plantas de caña de azúcar frente a la infestación con*D. saccharalis* y estudiar el efecto de PSP1 en la viabilidad de las larvas de *D. saccharalis* en ensayos *in vitro*.

Materiales y Métodos

Poblaciones de insectos y material vegetal

Las larvas neonatas fueron obtenidas a partir de una colonia de *D. saccharalis* que se originó a partir de un pool de larvas colectadas en campos comerciales de caña de azúcar en Overo Pozo, Tucumán, Argentina. Se evaluaron dos tratamientos, infestaciones con 10 y con 20 larvas neonatas.

Se utilizaron plantines de caña de azúcar de la variedad TUC 95-10 obtenidos a partir de estacas uninodales y criados en macetas plásticas de 1 L con sustrato comercial estéril en invernadero a 28°C, 60% de humedad relativa (HR) y fotoperiodo natural. Se evaluaron dos tamaños de plantas, de 20 y 30 cm de altura aproximadamente, en su respuesta a los tratamientos.

Efecto de PSP1 en la protección de la caña de azúcar contra *D. saccharalis*

Se realizó una doble aplicación de PSP1 al 20%, cuatro y dos días antes de la infestación de las pantas de caña de azúcar con las larvas de *D. saccharalis*. El día de la infestación se colocó manualmente con pincel 10 o 20 larvas neonatas de *D. saccharalis*, según el tratamiento en cada planta. Como control se utilizaron plantas de caña de azúcar del mismo tamaño, asperjadas con una mezcla de agua y tween 0,02%. Se utilizaron un total de 15 plantas por tratamiento y se repitió el ensayo donde se observó la mayor protección. Al cabo de 12 días se determinó el número de plantas muertas con el síntoma de “corazón muerto”. Los datos fueron analizados mediante un modelo lineal generalizado bajo distribución binomial con función de enlace logit. Se usó el test a Posteriori DGC (Di Rienzo *et al*. 2018).

Efecto de PSP1 sobre la viabilidad y el desarrollo de las larvas de *D. saccharalis*

Se estudió el efecto insecticida de PSP1 sobre las larvas neonatas de *D. saccharalis* mediante el método *overlay*. Se dispensó la dieta multiespecie en bandejas de bioensayo de 128 pocillos a razón de 1 ml/pocillo. Una vez solidificado, en cada pocillo se aplicaron

50 µl de muestra líquida con distintas concentraciones de PSP1 (100%, 50%, 20% y 2%). Se utilizaron dos compartimentos de la bandeja para cada tratamiento (n=32). Se transfirió una larva neonata a cada pocillo. Las bandejas de bioensayo se incubaron a 25 ± 2°C, 70-75% de HR y un fotoperiodo de 14h:10 h (luz:oscuridad). Después de 14 días, se determinó el número de larvas vivas, muertas y los estadios larvales para cada tratamiento ensayado. Los datos se analizaron mediante un modelo lineal generalizado bajo distribución binaria con función de enlace logit. Se utilizó el test a Posteriori DGC (Di Rienzo *et al*. 2018).

Resultados

Efecto de PSP1 en la protección contra *D. saccharalis*en plantas de caña de azúcar

Los resultados obtenidos en cada experimento, expresados en porcentaje de mortalidad de las plantas tratadas, se muestran en la tabla 1. Se puede observar que las plantas de un tamaño aproximado de 30 cm no fueron afectadas por *D. saccharalis* cuando se realizó la infestación con 10 larvas neonatas. En el caso de una mayor intensidad de infestación (20 larvas), se observó una disminución de la mortalidad en las plantas tratadas con PSP1 en comparación con las plantas tratadas con agua. Cuando el tamaño de las plantas fue menor (aproximadamente 20 cm), se observó que la infestación con 10 larvas por planta, mostró protección en el tratamiento con PSP1, encontrando una mortalidad de solo el 13%, mientras que el control presentó una mortalidad del 50% (Figura 1).

Tabla 1. Efecto de la doble aplicación del bioinsumo PSP1 20% en la mortalidad de plantas de caña de azúcar infestadas con *D. saccharalis*. Se utilizaron 15 plantas por tratamiento y la mortalidad se determinó a los 12 días post infestación, cuantificando las plantas que presentaron muerte del brote apical.

Tamaño de planta aproximado (cm)	Cantidad de larvas	Mortalidad de plantas (%)	
		Control	PSP1
30	10	0%	0%
30	20	40%	0%
20	20	85%	77%
20	10	50%	13%

En el análisis estadístico se encontraron diferencias significativas entre el tratamiento con agua y el tratamiento con PSP1 cuando se utilizaron plantas de 20 cm

infestadas con 10 larvas (Figura 1). En el caso de las plantas tratadas con agua, el valor de frecuencia de mortalidad fue 0,5 ± 0,09, siendo significativamente menor (p > 0,05) el valor de 0,17 ± 0,07 determinado para las plantas tratadas con el PSP1.Además de las diferencias significativas encontradas para la mortalidad de las plantas entre el tratamiento control y el tratamiento con PSP1, es importante destacar que seobservaron diferencias fenotípicas entre las plantas que sobrevivieron en ambos tratamientos (Figura 2).

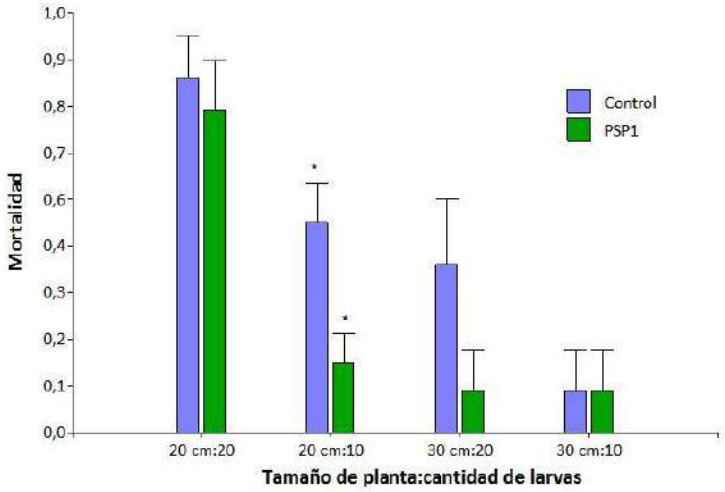


Figura 1. Efecto sobre la frecuencia de mortalidad de plantas en relación a los tratamientos de PSP1 y el control (agua) bajo diferentes condiciones de infestación. El asterisco representa valores de frecuencias con diferencias significativas (*p> 0,05).

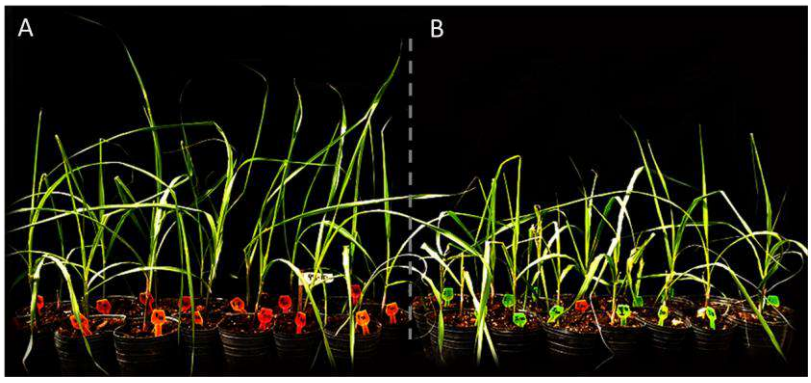


Figura 2. Efecto del PSP1 en la protección de plantas de caña de azúcar de la variedad TUC 95-10 (tamaño aproximado 20 cm) infestadas con 10 larvas neonatas de *D. saccharalis*, a los 12 días post inoculación. **A,** Tratamiento con PSP1. **B,** tratamiento con agua.

Efecto del bioinsumo PSP1 en la viabilidad de las larvas del insecto

Los resultados obtenidos, sugieren que los tratamientos con el bioinsumo no producen ningún efecto en la mortalidad de las mismas, no observándose diferencias significativas con los controles (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis de la mortalidad y supervivencia larval alimentadas con diferentes concentraciones de PSP1. Número de larvas de cada tratamiento =32

Tratamientos	Metodología	
	Overlay	
	Mortalidad[a]	Supervivencia
Control	0,03 ± 0,03A	0,97 ± 0,03A
PSP1 2 %	0,18 ± 0,07A	0,82 ± 0,07A
PSP1 20%	0,06 ± 0,04A	0,94 ± 0,04A
PSP1 50%	0,09 ± 0,05A	0,91 ± 0,05A
PSP1 100%	0,09 ± 0,05A	0,91 ± 0,05A

[a]Valor de la media ajustada expresada como proporción del número de larvas muertas± Error Estándar.; medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05) entre cada tratamiento.

Conclusiones

En el presente trabajo se estudió el efecto PSP1, orientado a controlar de forma sostenible a la plaga *D. saccharalis* en caña de azúcar. Con los resultados obtenidos concluimos que:

I. La doble aplicación del PSP1 al 20% sobre plantas de caña de azúcar (20 cm) infestadas con 10 larvas neonatas, resultó en un 83% de supervivencia de las plantas respecto al control (50%).

II. Respecto al estudio de la actividad insecticida de PSP1, se observó que el bioinsumo no presentó un efecto tóxico sobre las larvas del barrenador. Esto indicaría que el efecto de protección observado anteriormente, implicaría mecanismos de respuesta exclusivos de la planta, desencadenados por el PSP1.

Bibliografía

Budeguer F, Perera MF, Michavila G, *et al.* 2020.Optimization of phenotyping system in sugarcane to evaluate different strategies against *Diatraea saccharalis* (Fabricius). *International Sugar Journal* 122: 724-728

Elmer PAG and Reglinski T. 2006. Biosuppression of *Botrytis cinerea* in grapes. *Plant Pathology* 55, 155-177. doi:10.1111/j.1365-3059.2006.01348.x.

Chalfoun NR, Durman SB, Budeguer F, *et al.* 2018a. Development of PSP1, a biostimulant based on the elicitor AsES for disease management in monocot and dicot crops. *Frontiers in Plant Science 9*: 844.

Chalfoun NR, Durman SB, González-Montaner J. *et al.* 2018b. Elicitor-based biostimulant PSP1 protects soybean against late season diseases in field trials. *Frontiers in Plant Science 9*: 763.

Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, *et al.* 2018. InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Hael-Conrad V, Abou-Mansour E, Díaz-Ricci JC, *et al.* 2015. The novel elicitor AsES triggers a defense response against *Botrytis cinerea* in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Science 241*: 120-127.

Hael-Conrad V, Perato SM, Arias ME, *et al.* 2018. The elicitor protein AsES induces a SAR response accompanied by systemic microbursts and micro-HRs in *Fragaria ananassa*. *Molecular Plant-Microbe Interaction* 31: 46-60.

Wiesel L, Newton AC, Elliott I, *et al.* 2014. Molecular effects of resistance elicitors from biological origin and their potential for crop protection. *Frontiers in Plant Science* 5, 655.

PREFERENCIA DE OVIPOSICIÓN Y DAÑO DE *DIATRAEA SACCHARALIS* EN DOS VARIEDADES COMERCIALES DE CAÑA DE AZUCAR

Budeguer Isa, R.*; Pérez, M.L.D.P.; Perera, M.F.*; Gastaminza, G.**; Ostengo, S.****

*Instituto de Tecnología Agroindustrial del Noroeste Argentino (ITANOA), Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), CCT NOA Sur. Av. William Cross 3150. Las Talitas, Tucumán, R. Argentina, T4101XAC.

**Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). Av. William Cross 3150. Las Talitas, Tucumán, R. Argentina, T4101XAC.

Palabras clave: barrenador de caña de azúcar, intensidad de infestación, longitud de galerías, mejoramiento.

INTRODUCCIÓN

En Tucumán la industria azucarera es la actividad agroindustrial principal y más antigua, que aporta más del 66% de la producción total del país y por lo tanto tiene un fuerte impacto socioeconómico.

Diversos factores bióticos afectan el rendimiento del cultivo.Dentro de las diversas plagas que atacan la caña de azúcar, el barrenador *Diatraea saccharalis* (Fabricius) (Lepidoptera: Crambidae) es la más importante en Tucumán ya que genera una pérdida anual estimada de 55.000 t de azúcar (Pérez *et al*. 2022).

Los adultos colocanlos huevos en ambos lados de las hojas, las larvas en estadio temprano se alimentan del parénquima y las vainas de las hojas, mientras que las larvas más viejas perforan los tallos, alterando la integridad fisiológica de la planta y facilitando la colonización por hongos y bacterias (Macedo y Botelho 1988). Varios estudios indican que los adultos de *D. saccharalis*tienen cierta preferencia entre diferentes cultivares de caña de azúcar en la oviposición (Terán et al., 1985a, 1985b, 1986, 1988; Sosa Junior, 1988; Arrigoni, 1989). Aunque aún se conocen las causas de esta preferencia, una posible explicación es la ausencia de tricomas. Así también, en algunos casos se observó una menor cantidad de posturas de *D. saccharalis* en cultivares pubescentes (Sosa Junior 1988, 1990; Dinardo Miranda et al. 2012), mientras que en otros no se detectaron diferencias en el número total de huevos por planta entre cultivares de distinta pubescencia (Greco et al. 1988).

Por otro lado, las diferencias enel daño ocasionado por la plaga podrían estar asociadas con las siguientes características varietales: ancho de hojas, adherencia de vainas al tallo, desprendimiento de hojas y vainas inferiores, abundancia de cera en los tallos, diámetro del tallo y altura de la caña (Pan y Hensley 1973; Dinardo Miranda et al. 2012;Tomaz et al. 2018; Willinket al. 1982). A pesar de estos antecedentes, Willink*et al*. (1982) no encontraron correlación entre las características intrínsecas de las variedades y el daño de la plaga.

Un aspecto clave para los programas de mejoramiento es el conocimiento del comportamiento de las nuevas variedades de caña de azúcar liberadas al cultivo comercial contra plagas y enfermedades.Además, esta información es útil para seleccionar

variedades con el fin de obtener eventos de caña de azúcar transgénicos resistentes a *Diatraea saccharalis*.

Considerando lo expuesto y que en Argentinano existen estudios de preferencia de oviposición en caña de azúcar, en este trabajo se propone como objetivo caracterizar la preferencia de oviposición y el daño causado por *D. saccharalis* en dos variedades de caña de azúcar bajo condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

En bandejas de plástico se plantaron esquejes de tallo de un solo nudo (10 cm) que contenían una yema lateral de las variedades TUC 95-10 y TUC 03-12 de caña de azúcar. Después de 60 días, las plantas se trasplantaron a macetas de plástico de 8 L que contenían sustrato estéril y se mantuvieron en invernadero (28 ± 2 °C; 60 ± 10 % de humedad relativa; fotoperíodo natural). Ambas son nuevas variedadesliberadas por el programa de mejoramiento genético de caña de azúcar de la EEAOC (Ostengo*et al*. 2021).

Insectos

La colonia de *Diatraea saccharalis* se originó a partir de un grupo de larvas colectadas de un campo comercial de caña de azúcar en Tucumán, Argentina, en la temporada 2022. La colonia se crió con una dieta artificial para lepidópteros (Murúa*et al.* 2003).

Ensayo de preferencia de oviposición

Se colocaron 18macetas de plantas de seis meses de edad en una jaula metálica (5 m x 3 m) cubierta con voile. En su interior se liberaron 36 machos y 18hembras adultas de *D. saccharalis* (2:1, 1-2 días de edad). El experimento se llevó a cabo en la EEAOC, Las Talitas, Tucumán, Argentina (21°12'56"S y 47°52'38"O, 630 msnm), entre enero y marzo de 2022.

Las plantas de caña de azúcar fueron inspeccionadas diariamente hasta los 15 días, se registró el número de posturas de huevos y se calculó el número promedio de posturas por planta. Se registró el daño estimado mediante los entrenudos perforados (intensidad de infestación, I.I.) y longitud (cm) de galerías por planta a los 30 días después de la infestación.

Análisis estadístico

El análisis se realizó en la interfaz InfostatR (Di Rienzo*et al*. 2018). Los datos de las posturas se analizaron con modelos lineales generalizados con una distribución de Poisson (Pinheiro*et al*. 2015). Los datos de daño se analizaron con modelos lineales generales y la heterocedasticidad se modeló utilizando una función de varianza constante (función varIdent, paquete nlme) (Pinheiro*et al.* 2015). Las medias se compararon con la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher.

RESULTADOS

El análisis de datos reveló diferencias significativas (p=0,02) en el número de posturas por planta entre las dos variedades, con 0,5 posturas por planta en TUC 95-10 y 2 posturas por planta en TUC 03-12. Además, se detectaron diferencias significativas (p=0,01) para I.I. y longitud de las galerías. Mientras que la variedad TUC 03-12 mostró un 13% de I.I. y una longitud de galería de 0,7 cm de longitud, TUC 95-10 presentó 25% de I.I. y galerías de 3 cm (Figura 1).

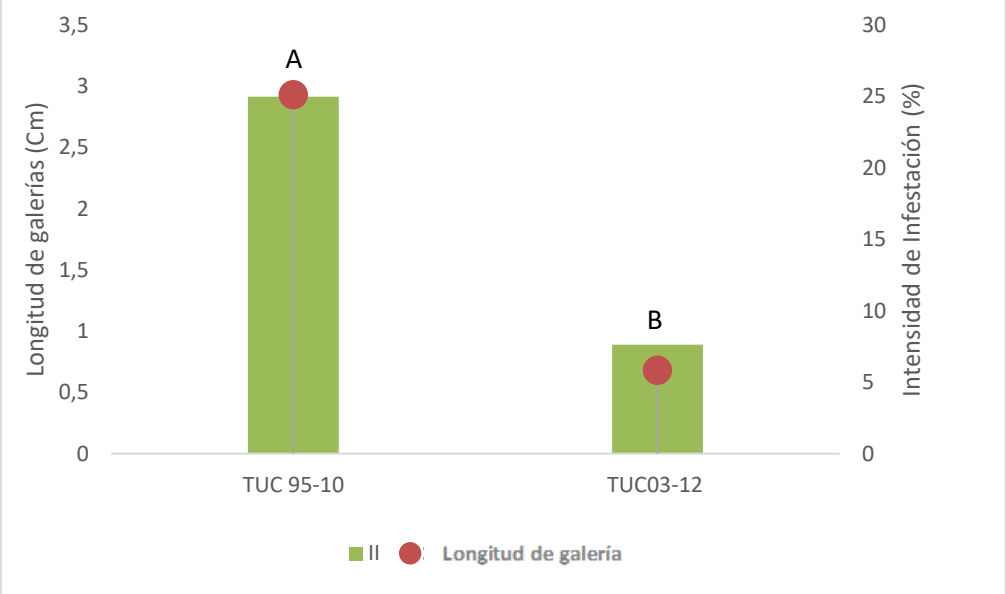


Figura 1: Intensidad de infestación (II) y longitud de galerías ocasionadas por *Diatraea saccharalis* en dos variedades de caña de azúcar.

CONCLUSIONES

Actualmente no existen variedades de caña de azúcar resistentes al barrenador de la caña de azúcar, no obstante, algunas tienen un mejor comportamiento frente a esta plaga.

En preferencia de oviposición se observó que la variedad TUC 03-12 presentó mayor cantidad de posturas que TUC 95-10, mientras que en las variables de daño TUC 95-10 presentó mayor Intensidad de Infestación y longitud de galería que TUC 03-12.

Se requieren más estudios para explicar mejor esta conductade las dos variedades de caña de azúcar liberadasrecientemente por el programa de mejoramiento genético de la EEAOC.

CITAS BIBLIOGRÁFICAS

Arrigoni E.B. Estudos sobre resistência da cana à broca emtelado – V. Boletim Técnico Copersucar, v.48, p.25-31, 1989.

AybarGuchea M.;Ostengo S.; Espinosa M.A.; Medina P.; Díaz J.V.;Chavanne E.R.; Costilla D.D.;Cuenya M.I. 2020. Reporte Agroind. EEAOC 195. https://www.eeaoc.gob.ar/wp-content/uploads/2020/08/RA-195.pdf.

Dinardo-Miranda L.L.;Anjos I.A.D.; Costa V.P.D.;Fracasso J.V. 2012. Resistance of sugarcanecultivars to Diatraea saccharalis. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 47, 1-7.

Di Rienzo J.A.;CasanovesF.;Balzarini M.G. 2018. InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL http://www.infostat.com.ar

Greco N.M.; Sarandon S.J.; Pereyra P.C. Parasitismo f Diatraea saccharalis (Lepidóptera: Pyralidae) eggsbyTrichogrammaexiguum (Hymenoptera, Tricogrammatidae): influence of Zea maysleafpubescence. Ecologia Austral, v.8, n.1, p.31-35, 1998.

Macedo N y Botelho P.S.M. 1988. Integrated pest management of sugarcane borer Diatraea saccharalis (Fabricius, 1794) (Lepidoptera, Pyralidae) (in Portuguese). Brasil Açucareiro 162,2 –11.

Murúa M.G.;Defagó V.H.;Virla E.G. 2003. Evaluación de cuatro dietas artificiales para la cría de Spodopterafrugiperda (Lep.: Noctuidae) destinada a mantener Longitud de galería entales de himenópteros parasitoides. Boletín de sanidad vegetal. Plagas 29; 1; 12-2003,

Ostengo S.; Serino G.; Perera M.F.;Racedo J.;Mamaní Gonzales S.; Yáñez Cornejo F.;Cuenya M.I. 2021. Sugarcane breeding, germplasm development and supporting genetics research in Argentina. Sugar Tech. doi.org/10.1007/s12355-021-00999-z

Pan Y.S.; Hensley S.D. 1973. Evaluation of sugarcane seedlings for resistance to the sugarcane borer, Diatraea saccharalis. EnvironmentalEntomology, 2(1), 149-154.

Pérez M.L.P.;Easdale C.;Iovane R.J.;Scandaliaris P.;Budeguer Isa R.; Rodríguez D.B.;Bardin F.;Gastaminza G.A.; Romero E.;Goebel FR. 2022. Damage distribution and yield losses caused by Diatraea saccharalis (Lepidoptera: Crambidae) in northwestern Argentina. Sugar Tech. In press.

Pinheiro J.; Bates D.;DebRoy S.; Sarkar D. 2015. Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-57

Sosa Jr O. Pubescence in sugarcane as a plant resistance character affecting oviposition and mobility by the sugarcane borer (Lepidoptera; Pyralidae). Journal of Economic Entomology, v.81, n.2, p.663-667, 1988.

Sosa Jr O. (1990). Oviposition preference by the sugarcane borer (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of EconomicEntomology*, *83*(3), 866-868.

Terán, F.O.; Sánchez, A.G.; Precetti A.A.C.M. Estudos sobre resistência da cana à broca emtelado: primeiros resultados. Boletim Técnico Copersucar, v.29, p.2-11, 1985a.

Terán F.O.; Sánchez A.G.; Precetti A.A.C.M. Estudos sobre resistência da cana à broca emtelado – II. Boletim Técnico Copersucar, v.33, p.57-64, 1985b.

Terán F.O.; Sánchez A.G.; Precetti A.A.C.M. Estudos sobre resistência da cana à broca emtelado – III. Boletim Técnico Copersucar, v.34, p.53-60, 1986.

Terán F.O.; Sánchez A.G.; Precetti A.A.C.M. Estudos sobre resistência da cana à broca emtelado – IV. Boletim Técnico Copersucar, v.40, p.9-14, 1988.

Tomaz A.C.;Coutinho A.E.;Soares B.O.;Peternelli L.A.; Pereira E.J.G.; Barbosa M. H. P. 2018. Assessing resistance of sugarcane varieties to sugarcane borer Diatraea saccharalis Fab. (Lepidoptera: Crambidae). Bulletin of Entomological Research, 108(4), 547-555.

White W.H.;Tew T.L.; Richard E.P. 2006. Association of sugarcane pith, rind hardness, and fiber with resistance to the sugarcane borer. J. Am. Soc. Sugar Cane Tech., 26: 87–101.

Willink E.; Costilla M. and Osores V. 1982. Hacia el control integrado de Diatraea saccharalis. Avanceagroindustrial 2 (8): 9-13.

RESULTADOS PRELIMINARES DEL EFECTO DE EXTRACTO ACUOSOS DE RESIDUOS AGRÍCOLAS DE COSECHA DE LCP 85-384 EN LA GERMINACIÓN DE *SICYOS POLYACANTHUS* Y *TITHONIA TUBIFORMIS*

Cabrera, D.C[1]; Nuñez, M. A[2]; Alderete, M.E.J [2]; Tortora, M.L.[2]; Digonzelli, P [1,2]

[1]Facultad de Agronomía. y Zootecnia., UNT, F. Ameghino S/N, Tucumán, Argentina [2] carinacabrera@outlook.com.ar

[2]Subprograma Agronomía de Caña de Azúcar, Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres. Av. William Cross 3150, (4101), Las Talitas, Tucumán, Argentina.

Palabras clave: maleza, germinación, índice de velocidad de germinación, Tupulo, pasto cubano.

Introducción

Argentina produce en promedio 2,1 millones de toneladas de azúcar, siendo la provincia de Tucumán la principal productora con una participación del 64,3% (Anino y Pizzo, 2016). Para ello utiliza una importante cantidad de insumos y tecnologías y a su vez es una actividad que genera miles de puestos de trabajos. Dentro de estos insumos y tecnologías, el productor cañero destina gran parte al control de las malezas. Las pérdidas producidas por estas en el rendimiento potencial de los cultivos, es superior al ocasionado por otras plagas (Craft, 1975). Un manejo inadecuado de este problema, dependiendo del nivel de infestación y de las especies de maleza puede generar importantes pérdidas de producción (Chaila *et al.,* 2002; Chaila *et al.,* 2004).

Dentro de las principales especies latifoliadas que afectan al cultivo, se destacan *Sicyos polyacanthus* Cogn. (Cucurbitaceae) y *Tithonia tubiformis* (Jacq.) Cass. La primera conocida como Tupulo, es una especie anual, originaria de regiones selváticas que se ha adaptado al cultivo, y encuentra en él condiciones más propicias que en su hábitat natural (Chaila, 2009) y la segunda, conocida vulgarmente como yuyo cubano, Girasolillo o pasto cubano, también es una maleza anual, que debido a su plasticidad y capacidad reproductiva se ha dispersado en forma alarmante (Juárez y Cazon, 2003). *S. polyacanthus*, en infestación alta, registra antecedentes de pérdidas de producción del 42% (Chaila *et al*., 2004), mientras que *T. tubiformis* del 36% (Chaila *et al*., 2002).

En el actual sistema de cultivo "sistema mínimo o mecánico-químico" los residuos generados por el cultivo que quedan posterior a la cosecha fluctúan entre 9 y 20 $t.ha^{-1}$ (Digonzelli *et al.,* 2009). Entre las diferentes alternativas para el manejo del RAC se encuentra su conservación sobre la superficie del suelo como cobertura ("mulching"); su incorporación al perfil del suelo; o su retiro total o parcial con fines energéticos o de alimentación animal (Digonzelli *et al.*, 2011 a y b). En coincidencia con la primera alternativa de manejo, diversos autores destacan la reducción de la emergencia de malezas por la presencia de residuos de cultivos. El efecto producido por estos podría tener origen físico, biológico y/o químico, como por ejemplo variaciones térmicas y de calidad y cantidad de luz, efectos alelopáticos, presencia de microorganismos, entre otros (Cabrera, *et al.,* 2015; Chauhan, 2012; Bolfrey-Arku *et al.,* 2011). En Tucumán las lluvias, que comienzan posterior a la cosecha del cultivo favorecen la liberación de sustancias químicas del RAC. Se ha demostrado que algunos de estos compuestos solubles en agua pueden inhibir la germinación y el crecimiento de malezas debido a un efecto de alelopatía (Viator *et al*., 2006).

Entonces, bajo los nuevos paradigmas energéticos que desafían al cultivo y a la investigación tecnológica, que no solo apuntan a que la producción del cultivo sea rentable, sino, además, muestre una gestión ambiental coherente (Valeiro y Biaggi, 2019), el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de extractos acuosos del RAC de LCP 85 384, a diferentes

concentraciones, sobre la germinación y la velocidad de germinación de *Sicyos polyacanthus* y *Tithonia tubiformis.*

Materiales y métodos

Las tareas experimentales se desarrollaron en la Cátedra de Caña de Azúcar de la Facultad de Agronomía y Zootecnia, Universidad Nacional de Tucumán y en la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). Se recolectaron semillas maduras de la especie *S. polyacanthus* que fueron cosechadas de Finca El Manantial, San Miguel de Tucumán y de *T. tubiformis* que fueron cosechadas de El Colmenar, Las Talitas. Todas fueron limpiadas y almacenadas a temperatura ambiente (18 ± 2°C) y humedad relativa baja (15%) hasta su empleo.

Preparación de extractos acuosos de RAC

Para la preparación de los extractos acuosos de RAC, se utilizó la técnica descripta por Viator *et al.,* (2006). En forma manual, se recolectó el residuo fresco de la variedad LCP 85-384. El residuo se almacenó en bolsas para su transporte hasta el laboratorio de la EEAOC, y luego se secó en estufa a 60°C durante 24 h. Transcurrido este tiempo, se utilizó el procedimiento de agua fría descripto por Harper and Lynch (1982) para extraer del RAC compuestos con posible actividad alelopática utilizando agua destilada en proporciones 1:28 y 1:14 (p/v) (residuo:agua).La extracción se llevó a cabo por inmersión del RAC en un baño termostatizado a 25°C durante 4 h. Finalmente, el RAC se descartó y el extracto obtenido se filtró con tela filtrante para eliminar impurezas, obteniéndose así el extracto puro.

Ensayos de germinación

Antes de iniciar el estudio, se excluyeron las semillas visiblemente dañadas. Luego una muestra de cada especie fue sometida al test de tetrazolio para corroborar viabilidad de las semillas (datos no mostrados). Previamente, las semillas de ambas especies fueron desinfectadas con una solución de hipoclorito de sodio al 0,5 % durante 10 min, y luego se enjuagaron con agua corriente para eliminar restos del desinfectante.

En laboratorio, en un diseño de parcelas divididas completamente aleatorizadas, para los tratamientos testigo absoluto, y las concentraciones acuosas de RAC 1:28 y 1:14, se sembraron semillas de ambas especies en dos condiciones: cajas de Petri con papel de filtro Whatman N° 1 y bandejas plásticas con sustrato comercial. Para la siembra en cajas de Petri (90 mm), se realizaron 6 repeticiones por tratamiento, cada caja contuvo 3 capas de papel de filtro, dos en la base de la caja y una posterior a la siembra de las semillas. Posteriormente fueron regadas con 4 ml del tratamiento y envueltas en papel film. La humedad se mantuvo mediante el agregado de 1 ml del extracto de cada tratamiento cada 48 horas. Para la siembra en bandejas (5 cm de alto, 11 cm de largo y 5 cm de ancho, previamente rellenadas con sustrato), se realizaron 4 repeticiones, las semillas fueron dispuestas sobre las bandejas y tapadas con el mismo sustrato a una profundidad de dos veces el tamaño de las semillas y regadas con 40 ml del tratamiento correspondiente y envueltas en papel film para evitar pérdida de humedad. La humedad se mantuvo mediante el agregado de 5 ml del extracto cada 7 días. En ambos casos la unidad experimental fue de 30 semillas. Posteriormente las cajas de Petri y las bandejas, fueron colocadas en cámara de germinación. Las condiciones de incubación fueron 30/20°C y 14 horas

de luz. Los ensayos tuvieron una duración de 21 días. Las semillas germinadas se removieron en cada conteo.

Se calculó porcentaje de germinación (G) e índice de velocidad de germinación (IVG). El IVG es un índice que calcula la velocidad de germinación o emergencia de las semillas. La velocidad es mayor a medida que se obtiene un mayor valor. Se calculó a través de la siguiente expresión matemática (Maguire, 1962):

$$IVG = (G_1/N_1) + (G_2/N_2) + \ldots\ldots + (G_n/N_n)$$

Dónde:

IVG: Índice de velocidad de germinación o emergencia.

G: Número de semillas germinadas o emergidas en los diferentes recuentos.

N: Número de días desde la siembra al conteo respectivo.

Los resultados se analizaron mediante ANOVA. Las diferencias entre las medias de los tratamientos se analizaron mediante el test LSD de Fisher, P= 0,05. El programa estadístico utilizado fue Infostat, 2021.

Resultados

La germinación de *S. polyacanthus* no respondió a la interacción condición de siembra-tratamiento (P=0,2116). Por lo tanto, se analizaron de forma conjunta. La concentración de extracto acuoso de RAC 1:14 registró porcentajes de germinación significativamente inferiores (35%), a la concentración 1:28 (46,7%). El testigo absoluto (43,3%) registró un porcentaje de germinación ligeramente superior a la concentración 1:14 pero sin diferencias significativas entre ellos (Figura 1a). En cuanto al IVG tampoco respondió a la interacción condición de siembra-tratamiento (P=0,1765). Por lo tanto, también se analizaron las condiciones de siembra de forma conjunta. La concentración de extracto acuoso de RAC 1:14, registró una IVG de 69,5 y fue significativamente inferior al IVG de la concentración acuosa de RAC 1:28 que fue de 102,7 y del testigo absoluto que fue de 101,5, los cuales no registraron diferencias significativas entre sí (Figura 1b). Comparando ambos parámetros estudiados, para los diferentes tratamientos acuosos de RAC, el IVG, registró resultados más contundentes que el porcentaje de germinación. También se evidencia que el efecto negativo se produce solo por la concentración de RAC 1:14. Queda expuesto que la concentración 1:28 no resultó adecuada para afectar negativamente los parámetros evaluados de S*. polyacanthus.*

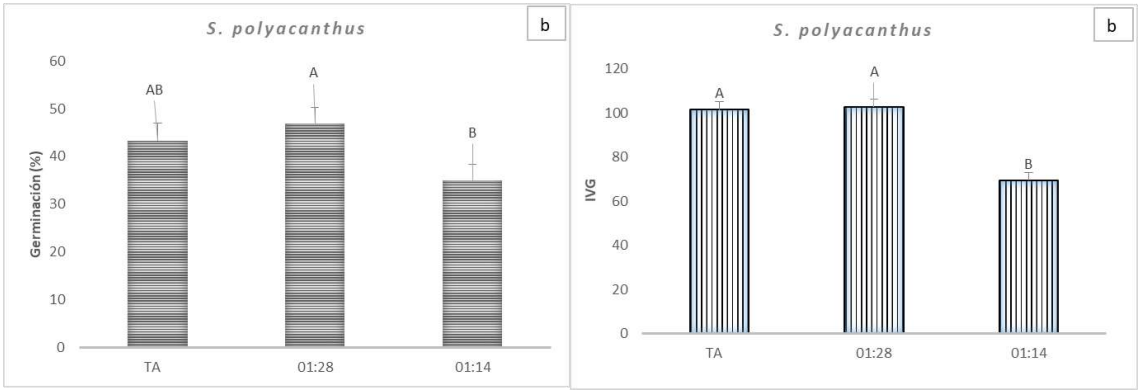


Figura 1: Germinación (a) e Índice de velocidad de germinación (IVG) (b) de *Sicyos polyacanthus*, según diferentes concentraciones acuosas de RAC (b). Letras distintas difieren significativamente, según test LSD Fisher (α=0,05).

La germinación de *T. tubiformis* tampoco respondió a la interacción condición-tratamiento (P=0,3628). La respuesta germinativa de esta especie a las diferentes concentraciones acuosas se muestra en la figura 2(a). El testigo absoluto (57,9%) registró una germinación estadísticamente similar a la concentración 1:28 (53,8%) y a la concentración 1:14 (51,6%) (Figura 2a). El IVG tampoco respondió a la interacción condición de siembra-tratamiento (P=0,6523) y al igual que para porcentaje de germinación, no se registraron diferencias significativas entre los tratamientos. Los IVG fueron 48,2; 42,8 y 46,3, respectivamente (Figura 2b). Para *T. tubiformis, a diferencia de S. polyacanthus* ninguna de las concentraciones del extracto de RAC evaluadas impactaron negativamente en la germinación y velocidad de germinación.

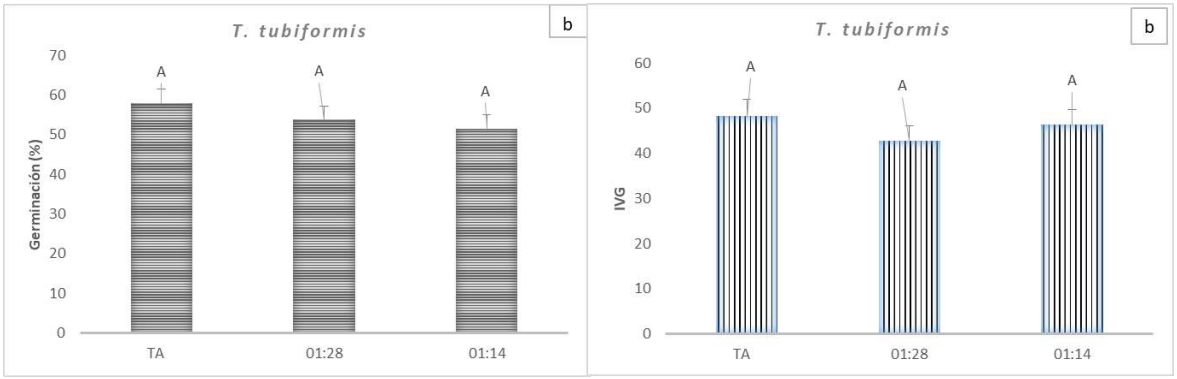


Figura 2: Germinación (a) e Índice de Velocidad de Germinación de *Tithonia tubiformis* diferentes concentraciones acuosas de RAC. Letras distintas difieren significativamente, según test LSD Fisher (α=0,05)

Conclusiones

- ✓ Las respuestas germinativas de *S. polyacanthus* y *T. tubiformis* ante extractos acuosos de RAC son diferentes. Mientras que, para S. *polyacanthus,* la germinación y velocidad de germinación son afectadas negativamente por la concentración acuosa de RAC de 1:14, en el caso de *T. tubiformis,* ninguna de las concentraciones evaluadas produce un efecto negativo.

- ✓ Solo la solución acuosa de RAC más concentrada, 1:14, tiene efecto negativo en las características germinativas de *S. polyacanthus*. Siendo más evidente en la velocidad de germinación que en el porcentaje de semillas germinadas.

- ✓ El efecto del extracto acuoso de RAC sobre la germinación de las malezas resultó dependiente de la concentración de extracto utilizada y de la especie de malezas estudiada

Bibliografía

Anino P.; Pizzo F. 2016. Azúcar. Inf Cadena valor 1(3):1-38.
Bolfrey-Arku, G. E., Chauhan, B. S., & Johnson, D. E. 2011. Seed Germination Ecology of Itchgrass (*Rottboellia cochinchinensis*). Weed Science 59(2):182–187.
Cabrera, D. C., Sobrero, M. T., Chaila, S., Pece, M. 2015. Germinación y emergencia de *Megathyrsus maximus var. maximus*. Planta Daninha, 33, 663-670.
Chaila, S. 2002. Competencia permanente de Tithonia tubaeformis (Jacq.) Cass. en caña de azúcar Cv. FAM 81-77. Asociación de Biología de Tucumán, Ediciones del Rectorado. Universidad Nacional de Tucumán, 64-69.
Chaila, S.; Diaz, L.; Sobrero, M.T.; Piscitelli, F.R. 2004. Competencia de *Sicyos polyacanthus* en caña de azúcar. Planta daninha 22:545-551.
Chaila S.; Sobrero MT. Principales malezas en el cultivo de caña de azúcar. Santiago del Estero, AR: Talleres Gráficos Viamonte; 2009. p.9-10.
Chauhan, B.S.Weed. 2012. Ecology and Weed Management Strategies for Dry-Seeded Rice in Asia. Weed Technology 26(1): 1-13.
Crafts, A.S. 1975. Modern weed control. Berkeley, USA: University of California Press, p.14.
Digonzelli, P.A.; Scandaliaris, J.; Alonso, L.G.P.; Giardina, J.A.; Casen, S.D.; Romero, E.R.; Fernández de Ullivarri, J.; Tonatto, M.J.; Leggio Neme, M.F. 2009. Prácticas para el cultivo de caña de azúcar en Romero, E. R.; Digonzelli, P.; Scandaliaris, J. Manual del cañero. Tucumán: Estación Experimental agroindustrial Obispo Colombres, p. 67-74.
Digonzelli, P.; Romero, E.; Alonso, L.; Fernández de Ullivarri, J.; Rojas Quinteros, H.; Scandaliaris, J. and Fajre, S. (2011 a). Assesing a sustainable sugar cane production system in Tucumán, Argentina. Part one: Sugar cane harvest residue (trash) decomposition dynamics. Rev. Industrial y Agrícola de Tucumán (RIAT) 88(1): 1-12.
Digonzelli, P.; Tonatto, M. J.; Romero, E. R.; Sanzano, G. A.; Fernández de Ullivarri, J.; Giardina, J. A. and Scandaliaris, J. 2011 b. Assessing a sustainable sugar cane production system in Tucumán, Argentina. Part II: soil water and thermal regime, stalks population dynamics and sugarcane production. Rev. Industrial y Agrícola de Tucumán (RIAT) 88(2): 1-10.
Maguire JD.1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop Science. 2:176-177.
Juárez, V. D. and Cazón, A. V. 2003. Autotoxicidad en Tithonia tubaeformis como un posible mecanismo de control a la invasión. Ecol. Austral. 13 (2): 133-138

Romero, E. R.; Scandaliaris, J.; Digonzelli, P.A.; Alonso, L.; Leggio Neme, F.; Giardina, J.; Casen, S.; Tonatto, J. and Fernández de Ullivarri, J. 2009. Effect of variety and cane yield on sugarcane potential trash. Rev. Industrial y Agrícola de Tucumán (RIAT) 86 (1): 9-13.

Valeiro A., Biaggi C. 2019. Revisión crítica de la evolución tecnológica de la cosecha de la caña de azúcar en la Argentina. Revista de Investigaciones Agropecuarias, 45(1): 31-43.

Viator, R.P.; Johnson, R.M.; Grim, C.C.; Richard, E.P. (2006). Allelopathic, autotoxic, and hermetic effects of postharvest sugarcane residue. American Society of Agronomy, Journal article no 98: 1526-1531.

CARACTERES EXOMORFOLÓGICOS DE IMPORTANCIA PARA LA IDENTIFICACIÓN A CAMPO DE LAS VARIEDADES TUC DE CAÑA DE AZÚCAR

CostillaD.D.; Henriquez D.D.; Aybar Guchea M.; Medina P.; Figueroa F. y Ostengo S.

[1]Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). Av. William Cross 3150, C.P. T4101XAC, Las Talitas, Tucumán, R. Argentina.
dcostilla@eeaoc.org.ar

Palabras clave: descriptores, UPOV, guía, cultivar.

Introducción

El cultivo de la caña de azúcar en Tucumán está atravesando un proceso de diversificación desde el punto de vista varietal. La provincia está avanzando hacia un cultivo de caña de azúcar más sustentable con la disminución de la superficie cultivada con LCP 85-384 y la incorporación de nuevas variedades. En ese sentido, es necesario intensificar el recambio de cultivares de manera de favorecer el equilibrio varietal.

El Subprograma de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (SMGCA-EEAOC), ha liberado al cultivo comercial, entre el 2009 y 2019, ocho variedades TUC: TUC 95-10, TUC 95-37, TUC 97-8, TUC 00-19, TUC 03-12, TUC 00-65, TUC 02-22 y TUC 06-7 (Aybar Guchea *et al.,* 2020).La variedad TUC 95-10 fue el principal cultivar utilizado durante estos últimos años para diversificar los cañaverales; seguida por la variedad TUC 03-12. A su vez, TUC 00-19 se cultiva en determinadas zonasy los cultivares TUC 02-22, TUC 06-7 y TUC 00-65 están siendo plantadas en diferentes ambientes de producción.

Resulta de gran importancia poner a disposición de los productores un conjunto de caracteres morfológicos como una herramienta práctica para la identificación de los cultivares en el campo.Actualmente, el SMGCA-EEAOC dispone de un conjunto de 54 descriptores morfológicos, basados en una guía descriptiva de la Unión para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV) que es utilizada para la caracterización de cultivares de caña de azúcar a nivel mundial (UPOV, 2005). De la totalidad de los mismos, son obligatorios nueve descriptores para el registro deuna variedaden el Registro Nacional de Cultivares (RNC) y en el Registro Nacional de la Propiedad de Cultivares (RNPC). Ellos son :adherencia de la vaina de la hoja al tallo, diámetro y forma del entrenudo, color del entrenudo expuesto y no expuesto al sol, expresión de la alineación en zigzag del tallo, forma de la yema excluyendo las alas, color del collar de la vaina de la hoja y ancho de la parte media de la hoja.

Para caracterizar un cultivar de caña de azúcar el incremento de caracteres es una ventaja ya que permite describir con más detalles los materiales, sin embargo, para fines de identificación práctica, éstos deben ser pocos y precisos.

En este sentido, en este trabajo se presentan un conjunto de caracteres que permiten identificar de forma visual, rápida y precisa las variedades TUC de caña de azúcar en el campo.

Materiales y Métodos

La descripción de las variedades TUC se llevó a cabo en la colección de variedades ubicada en sede central de la EEAOC, Las Talitas, Tucumán, en la edad de caña planta (10

a 12 meses).Entre lasvariedades caracterizadas, se describieron: TUC 95-10, TUC 00-19, TUC 03-12, TUC 02-22, TUC 06-7 y TUC 00-65.

Las observaciones de los caracteres cualitativos se efectuaron, como mínimo, sobre seis cañas o sobre partes de ellas. Respecto a los caracteres cuantitativos, se utilizaron como mínimo 24 cañas o partes de ellas, procedentes de distintas cepas durante su primer ciclo de crecimiento (edad de caña planta).

En cuanto a la determinación del color del collar de la vaina de la hoja y del entrenudo, se utilizó la Carta Internacional de Colores de la Royal Horticultural Society(Royal Horticultural Society, 2007). Se destaca que el color del entrenudo se evaluó luego de retirar la cerosidad, tanto en tallos expuestos como no expuestos a la luz del sol. Para la evaluación de la vaina y limbo de la hoja (pilosidad y aserrado del borde), se consideró la cuarta hoja más joven completamente expandida (hoja +4)según la clasificación de Kuijper (Van Dillewijn, 1952). Para la descripción de los caracteres profundidad del canal de la yema, cerosidad, y color se analizó el entrenudo más largo del tallo.

De acuerdo a la normativa dela UPOV, se atribuyó a cada carácter evaluado diferentes niveles de expresión. A cada nivel de expresión le correspondió una nota numérica (escala 1 a 9), para facilitar el registro de los datos y de la elaboración de la descripción.

Del total de los 54 caracteres descriptos, se seleccionaron aquellos que permiten una fácil identificación a campo y que diferencian las variedades estudiadas de forma estable a través de los ambientes. A partir de estos, se desarrolló una guía para la identificación visual de las variedades TUC.

Resultados

Se identificaron un total de seis caracteres, los cuales fueron considerados suficientes y confiables para identificar un cultivar de forma rápida y precisa a nivel de campo. En la Tabla 1, se consigna la calificación de los niveles de expresión de dichos caracteres en las variedades TUC.

Tabla 1. Expresión de los caracteres más representativos para una identificación rápida a campo de las seis variedades TUC de caña de azúcar.SMGCA-EEAOC

DESCRIPTORES	Clasificación y/o características	TUC95-10	TUC00-19	TUC03-12	TUC02-22	TUC06-7	TUC00-65
Color del entrenudo	Expuesto al sol	verde amarillento	rojiza	purpura grisácea	verde amarillento	purpura grisácea	purpura grisácea
	No expuesto al sol	verde amarillento	verde amarillento	verde amarillento	verde amarillento	marrón grisáceo	verde amarillento
Nudo: Profundidad del canal de la yema	Ausente o muy poco profundo	✓	✓				✓
	Poco profundo			✓	✓	✓	
	Medio						
	Profundo						
Número de los pelos en la vaina de la hoja	Ausente o muy pocos			✓	✓		
	Pocos	✓	✓				✓
	Medio					✓	
	Numerosos						
	Muy numerosos						
Vaina de la hoja: Color del collar	Parte superior	purpura grisáceo	verde amarillento	verde amarillento	verde amarillento	verde amarillento	verde amarillento
Limbo de la hoja: Aserrado del borde	Márgenes de la hoja					ausente	ausente
		presente	presente	presente	presente		
Parte superior de la caña: Cerosidad	Ausente o muy débil						
	Débil			✓	✓		
	Media	✓	✓				
	Fuerte					✓	✓

Guía para la identificación a campo de una variedad TUC:

A.Color del collar de la vaina de la hoja purpura grisáceo TUC95-10 (Figura 1).
AA. Color del collar de la vaina de la hoja verde amarillento (TUC02-22, TUC03-12, TUC00-65, TUC06-7, TUC00-19).
B. Mantiene su color en los entrenudos cuando los tallos se exponen a la luz solar TUC02-22(Figura 2).
BB. Los entrenudos cambian de coloración cuando se exponen a la luz solar (TUC03-12, TUC00-65, TUC06-7, TUC00-19).
C. Entrenudos de color rojizoTUC00-19 (Figura 3).
CC. Entrenudos de color purpura grisáceo (TUC03-12, TUC00-65, TUC06-7).
D. Profundidad del canal de la yema ausente o muy poco profundo TUC 00-65 (Figura 4).
DD. Profundidad del canal de la yema presente, poco profundoTUC03-12 TUC06-7
E. Parte superior de la caña muy cerosa TUC06-7 (Figura 5).

EE. Parte superior de la caña poco cerosa TUC03-12.

Figura 1. TUC 95-10:collar de la vaina color purpura grisáceo.SMGCA-EEAOC

Figura 2. TUC 02-22:color del tallo expuesto al sol.SMGCA-EEAOC

Figura 3. TUC 00-19: color rojizo del entrenudo expuesto al sol.SMGCA-EEAOC

Figura 4. TUC 00-65: canal de la yema ausente o poco profundo.SMGCA-EEAOC

Figura 5. TUC 06-7: parte superior de la caña muy cerosa. SMGCA-EEAOC

Conclusión

Entre 2009 y 2019, el SMGCA de la EEAOC ha liberado al cultivo comercial ocho variedades, de las cuales seis se están difundiendo activamente mediante la provisión de caña semilla saneada generada por el Proyecto Vitroplantas de la EEAOC.

El último relevamiento para conocer la distribución de variedades comerciales de caña de azúcar en Tucumán, trabajo que desarrolla regularmente el SMGCA-EEAOC, indicó que LCP 85-384 ocupa el 67,74% del área y que el 30% de las hectáreas implantadas en 2019/2020, correspondieron a variedades TUC liberadas recientemente.

Estos resultados proyectan en el futuro una distribución de cultivares más equilibrada y, por ende, más sustentable. En este contexto, numerosas variedades

conformaran los cañaverales de Tucumán. Por ello resulta sumamente valioso tener bien identificadas cada una de ellas para poder realizar un reconocimiento preciso en el campo.

Citas bibliográficas

Aybar Guchea M.;Ostengo S.; Espinosa M.;Medina P.; Díaz J. V.; Chavanne E. R.; Costilla D. D. y Cuenya M. I. 2020. Relevamiento de la distribución devariedades y de otras tecnologíasaplicadas en el cultivo de caña deazúcar en la provincia de Tucumán:campaña 2019/2020 (Parte I). EEAOC. Reporte Agroindustrial (195).

Unión Internacional para la Protección de lasObtenciones Vegetales (UPOV). 2005. Caña deAzúcar. Código UPOV: SaccharumL. [En línea].Disponible en http://www.upov.int/es/publications/tg-rom/tg186/tg_186_1.pdf

Royal Horticultural Society. 2007. R.H.S. Colour Chart. 5. Ed. Royal Horticultural Society, London.

Van Dillewijn, C. 1952. Botany of sugarcane. Chronica Botanica Co., Waltham, Mass., USA.

EFECTO DEL BARBECHO QUÍMICO Y ROTACIÓN CON SOJA EN EL ESTABLECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR

Criado A.A.; Fernández de Ullivarri J.; Tonatto M.J.; Leggio Neme M.F.; Sanchez Ducca A.; Romero E.R.

Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) - Av. William Cross 3150, Las Talitas (4101). Tucumán – Argentina. acriado@eeaoc.org.ar

Palabras clave: cultivo semiperenne; calidad del suelo; malezas

Introducción

La caña de azúcar es el principal cultivo extensivo de la provincia de Tucumán – Argentina, abarcando una superficie de 269.400 ha (Fandos *et al.,* 2022). En general, en la provincia se renueva anualmente cerca del 20 % de la superficie cañera total, pudiendo oscilar este valor según la incidencia de diferentes factores agronómicos, climáticos, económicos, etc.

La utilización de cultivos de rotación como estrategia de manejo, es una práctica que resulta fundamental para reducir la incidencia de plagas y enfermedades, disminuir la presión de malezas y mantener o mejorar la fertilidad del suelo, entre los factores más importantes. Ésta práctica se ha adoptado durante mucho tiempo en diferentes agroecosistemas de todo el mundo.

Entre estos cultivos de rotación se seleccionan especies leguminosas debido a su capacidad para fijar nitrógeno (N) atmosférico en el suelo, lo que aumenta la disponibilidad de N para el cultivo plantado posteriormente (Otto *et al.,* 2020). En el sector cañero de Tucumán, la rotación con soja resistente a glifosato (RG) o barbechos químicos, son prácticas que resultan fundamental para el manejo de malezas perennes de difícil control como grama (*Cynodon dactylon*) y pasto ruso (*Sorghum halepense*) (Sánchez Ducca *et al.,* 2020).

En el cultivo de la caña de azúcar, al ser semiperenne, el inicio del ciclo con una óptima implantación del cañaveral y una baja presión de malezas perennes constituye una práctica de manejo indispensable para asegurar el buen establecimiento de la caña planta, con un impacto positivo en las posteriores socas mejorando la longevidad de la cepa.

La superficie cañera en rotación con soja entre los años 2006 y 2020 osciló entre 5 % y 8 %, existiendo una relación directa con los precios del azúcar y costos de producción (Fandos *et al.,* 2021).

Experiencias nacionales e internacionales demuestran que rotar los cañaverales con soja incrementa el rendimiento del cañaveral entre un 14 % y 30 % (Garside and Bell, 2001; Terán 2007; Ambrosano *et al*., 2011a; CREA 2017).

El objetivo de este trabajo fue evaluar y comparar la productividad en dos lotes cañeros ubicados en el sur de Tucumán que tuvieron como antecesor barbecho químico y cultivo de rotación con soja RG en relación a lotes con antecesor caña de azúcar.

Materiales y métodos

Los ensayos se llevaron a cabo en dos lotes comerciales, ubicados en el departamento Río Chico en la localidad de Santa Ana. Para la implantación de los mismos se utilizaron dos variedades de caña de azúcar LCP 85-384, variedad más difundida en la provincia abarcando una superficie correspondiente al 68 % del área cañera y TUC 03-12 recientemente liberada por la EEAOC, que se encuentra en plena difusión y abarca el 1% del área cañera (Aybar *et al*., 2020).

A continuación se describen los ensayos realizados:

Ensayo 1: barbecho químico (BQ) vs monocultivo de caña de azúcar (MOC).

El lote que se utilizó para implantar este ensayo tuvo como antecesor la variedad LCP 85-384. El tratamiento BQ se llevo a cabo en una parte del lote que fue cosechado en agosto del 2019. Al iniciarse el macollaje se realizó un decepe químico con una dosis de 2,5 kg de e.a/ha de glifosato y posteriormente,cuando se observó crecimiento de malezas una segunda aplicación con glifosato con una dosis de 1,8 kg e.a/ha.

La plantación del lote con caña de azúcar se realizó en agosto del año 2020 con la variedad TUC 03-12. El diseño de plantación empleado fue en surcos de base ancha, distanciados a 1,6 m y la superficie de cada parcela fue de 19,2 m^2. El ensayo se llevó a cabo en condiciones de secano y durante el ciclo de caña planta y soca 1. El diseño experimental fue en parcelas pareadas y cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron, caña plantada en un suelo con antecesor barbecho químico (BQ) y caña plantada en un suelo con antecesor caña (monocultivo de caña (MOC)).

Las labores agronómicas fueron iguales para los dos tratamientos y se describen a continuación según edad del cañaveral.

1. *Caña planta:* luego de bajar el bordo se aplicó un herbicida preemergente y antes del cierre del cañaveral se aplicó una combinación de herbicidas pre y post emergente. La fertilización se realizó con un biofertilizante líquido dirigido al follaje en una dosis de 10l/ha. La cosecha fue en verde con máquina cosechadora integral.

2. *Caña soca 1:* el RAC fue incorporado en el suelo con equipo de cuatro paquetes, se realizaron dos aplicaciones de herbicidas: una de herbicidas post emergentes; y luego antes del cierre del cañaveral herbicidas pre y pos emergentes. La fertilización se realizó empleando urea incorporada en una dosis de 180 kg/ha.

Ensayo 2: rotación con soja (RS) vs monocultivo de caña de azúcar (MOC).

El lote que se utilizó para implantar este ensayo tuvo como antecesor la variedad LCP 85-384. Para el tratamiento RS, porciones del lote se sembraron con soja en diciembre del año 2020 y durante el ciclo de la soja se realizaron dos aplicaciones de glifosato con una dosis de 1,8 kg de e.a/ha. Posteriormente, la plantación del lote con caña de azúcar se realizó en agosto del año 2021 con la variedad LCP 85-384.

El diseño de plantación empleado fue en surcos de base ancha, distanciados a 1,6 m y la superficie de cada parcela fue de 19,2 m^2. El ensayo se llevó a cabo en condiciones de secano. El diseño experimental utilizado fue en bloques completos al azar con tres repeticiones. Los tratamientos fueron caña plantada en un suelo con antecesor soja RG (RS) y caña plantada en un suelo con antecesor caña (monocultivo de caña de azúcar (MOC)).

Las labores agronómicas realizadas fueron iguales para los dos tratamientos y se describen a continuación: luego de bajar el bordo se realizó una aplicación de un herbicida preemergente y antes del cierre del cañaveral una aplicación de una combinación de herbicidas pre y post emergente. La fertilización se realizó con un biofertilizante líquido dirigido al follaje en una dosis de10 l/ha. La cosecha se llevo a cabo en verde con máquina cosechadora integral.

Evaluaciones

Las evaluaciones se realizaron al final del ciclo del cultivo de la caña planta y de la caña soca 1. De cada parcela experimental se tomaron muestras de 10 tallos sucesivos, los cuales fueron despuntados en el punto natural de quiebre, pelados, pesados y se midió altura de cada uno de ellos. Por otro lado se contó el número de tallos en cinco metros lineales en tres surcos. Con los datos del peso de cada tallo y número de tallos por metro lineal se estimó el rendimiento cultural (TCH).

Análisis de la información

Ensayo 1: la comparación de medias de las variables número de tallos por metro (Nt/m), peso individual de tallos (Pt (g)), altura de tallo (At (cm)) y TCH se realizó mediante la prueba T para muestras independientes (prueba bilateral). Para el período de caña planta se utilizó un $p = 0,05$ y para el período de caña soca 1 $p = 0,1$ (Di Rienzo*et al.,* 2022).

Ensayo 2: para todas las variables Nt/m, Pt (g), At (cm) y TCH se ajustaron modelos lineales generales. Los efectos fijos fueron: tratamiento y bloque. Se usó la interfaz gráfica para R del paquete nlme incluida en Infostat. La comparación de medias se realizó con el test de LSD de Fisher ($p = 0,05$) para todas las variables excepto para TCH, que se usó el test de LSD de Fisher ($p = 0,1$) (Di Rienzo *et al.,* 2022; Pinheiro *et al.,* 2022; Lenth 2022).

Resultados y discusión

En las tablas 1 y 2 se observan las variables correspondientes a los componentes del rendimiento (peso y número de tallos), altura de tallos y toneladas de caña por hectárea, correspondientes a dos ensayos (ensayo 1 y 2) implantados en el año 2020 y 2021 con las variedades TUC 03-12 y LCP 85-384, respectivamente.

Tabla 1. Ensayo 1: variables medidas al final del ciclo del cultivo para la variedad TUC 03-12 y dos tratamientos, barbecho químico y monocultivo de caña, en edad de caña planta y soca 1.

Variables	Caña planta		Soca 1	
	BQ	MOC	BQ	MOC
N t/m	16 A	10 B	14 A	12 A
P t [g]	1050 A	780 B	1130 A	1140 A
A t [cm]	246 A	180 B	249 A	246 A
TCH	104 A	49 B	101 A	82 B

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas dentro de la misma fila para cada edad. Con un p<0,05 para la edad de caña planta y con un p<0,1para la edad de caña soca 1.

N t/m (número de tallos por metro lineal). P t[g] (peso individual de tallos en gramos). A t [cm] (altura de tallos en centímetros) y TCH toneladas de caña por hectárea. BQ (caña plantada en un suelo con antecesor barbecho químico). MOC (monocultivo de caña: caña plantada en un suelo con antecesor caña).

En la edad de caña planta, los componentes del rendimiento (N t/m yPt), la At y TCH fueron significativamente superiores en el tratamiento BQ comparado con el tratamiento MOC. En el tratamiento BQ se registró un 37 % más de tallos/m, con una diferencia a favor del mismo de un 26 % más en el peso de tallos y un 27 % más en altura de tallos respecto al tratamiento MOC. Esto se reflejó en un 53 % más de TCH para el tratamiento BQ.

En la edad de caña soca 1, se mantiene la tendencia a favor del tratamiento BQ para todas las variables, excepto para el Pt en donde el tratamiento de MOC fue levemente superior. El N t/m y At fueron superiores en 14% y 1 % respectivamente, pero estas diferencias no fueron estadísticamente significativas. La variable TCH fue 19 % mayor en el tratamiento BQ siendo esta diferencia estadísticamente significativa frente al tratamiento de MOC.

Es importante destacar que durante el año 2020 se registró un período prolongado sin lluvias, desde fines de marzo hasta fines de octubre. Esto influyó en que la preparación de suelo del tratamiento MOC fuera más limitada que el tratamiento BQ, ya que el suelo no quedó adecuadamente mullido debido a la dificultad para desarmar los terrones de tierra mezclados con las cepas viejas. Por otro lado al realizar el tapado de la caña semilla probablemente hubo mayores cámaras de aire que redujeron la brotación y establecimiento de la caña planta en MOC, lo cual podría contribuir, en parte, a explicar las diferencias encontradas.

Tabla 2. Ensayo 2. Variables medidas al final del ciclo de caña planta, variedad LCP 85-384 y dos tratamientos, rotación con soja vs monocultivo de caña.

Variables	RS	MOC
N t/m	20 A	18 B

P t [g]	820	A	790	A
A t [cm]	213	A	192	B
TCH	103	A	91	B

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas (p<0,05) para N t/m,P t[g] y A t [cm] y (p<0,1) para TCH dentro de la misma fila.

N t/m (número de tallos por metro lineal). P t[g] (peso individual de tallos en gramos) y A t [cm] (altura de tallos en centímetros).RS (caña plantada en un suelo con antecesor soja RG). MOC (monocultivo de caña: caña plantada en un suelo con antecesor caña).

En la tabla 2 puede observarse un mayor N t/m y At en el tratamiento RS en comparación con el tratamiento de MOC, siendo estas diferencias estadísticamente significativas. Al considerar el Pt, si bien fue mayor en el tratamiento RS, no se encontraron diferencias significativas.

Respecto a las TCH el tratamiento RS produjo un 12 % más que el tratamiento MOC y esta diferencia fue estadísticamente significativa.

En trabajos realizados en algunos países productores de caña de azúcar como ser Australia y Brasil, encontraron que el rendimiento del cañaveral aumentaba entre un 15 % y 30 % cuando se realizaba rotación con un cultivo de leguminosas (Garside *et al*., 1997; Garside and Bell, 2001; Ambrosano *et al*., 2011a).

En Tucumán el grupo CREA Cañaverales y Yungas, en el año 2017, realizó un relevamiento productivo a los campos de empresas integrantes al grupo, en lotes que provenían de rotación con soja y estimaron un 14 % más de producción cultural que los provenientes de monocultivo de caña (CREA, 2017). Terán, 2007 en un relevamiento realizado en Tucumán, para la variedad LCP 85-384 en la edad de caña planta, estimó un aumento de producción de 25 % y 30 % en lotes que provenían de barbecho químico y de rotación con soja, respectivamente, comparados con los que provenían de monocultivo de caña. Estos resultados son acordes a las tendencias citadas internacionalmente.

Conclusiones

Los resultados de este trabajo demuestran que los tratamientos de barbecho químico y rotación con soja previos a la plantación de caña de azúcar tienen un importante y significativo impacto en la TCH en la edad de caña planta.

También se observa un efecto residual del uso del BQ en la edad de caña soca 1, en donde también se presentaron mayores TCH.

Si bien, los resultados son alentadores, es necesario continuar evaluando estos ensayos para estudiar el efecto residual durante todo el ciclo del cultivo, así como la influencia sobre otros aspectos agronómicos y económicos relacionados a la producción del cultivo.

Bibliografía

- Ambrosano E.J;Cantarella H; Ambrosano G.M.B; Schammas E.A; Dias F.L.F; Rossi F; Trivelin P.C.O;Muraoka T; Sachs R.C.C; Azcón R. 2011a. Productivity of sugarcane after previous legumes crop. Bragantia. 70, 810–818.

- AybarGuchea M; Ostengo S; Espinosa M.A;Díaz J.V;Chavanne E.R; Costilla D.D; 2020. Relevamiento de la distribución de variedades y de otras tecnologías aplicadas al cultivo de la caña de azúcar en la provincia de Tucumán: campaña 2019/2020. Reporte Agroindustrial. Vol (195):1-13. Disponible en: https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=ra-195-relevamiento-de-la-distribucion-de-variedades-y-de-otras-tecnologias-aplicadas-en-el-cultivo-de-cana-de-azucar-en-la-provincia-de-tucuman-campana-2019-2020-parte-i. Consulta: Mayo 2022.

- CREA Cañaverales y Yungas. 2017. https://www.crea.org.ar/cana-de-azucar-con-rotaciones-es-mejor/. Consulta: octubre de 2022.

- Di Rienzo J.A; Casanoves F; Balzarini M.G; Gonzalez L; Tablada M; Robledo C.W. Versión. 2022. InfoStat [Internet]. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: http://www.infostat.com.arusando

- Fandos C; CarrerasBaldrés J.I; Scandaliaris P; Soria F.J; Devani M.R. 2021. Estudio multitemporal (2006-2020) del sistema productivo de caña de azúcar y granos para el análisis de la diversidad de cultivos en la provincia de Tucumán, R. Argentina. Rev. Ind. yAgríc. de Tucumán Tomo 98 (2): 29-35; 2021.

- Fandos C; Scandaliaris J; Scandaliaris P; Carreras Baldrés, J.I; Soria F. 2022. Área cosechable y producción de caña de azúcar para la zafra 2022 en Tucumán. Rep. Ag. Nº 250. p:1-13

- Garside A.L; Berthelsen J.E; Richards C.L. 1997.Effect of fallow history on cane and sugar yield of a following plant cane crop. Pro AustSoc Sugar Cane Technol. 19, 80–86.Disponible en: https://sugarresearch.com.au/sugar_files/2019/06/Garside-et-al-1997-Effect-of-fallow-history-on-cane-and-sugar-yield-of-a-following-plant-cane-crop.pdf

- Garside A.L; Bell M.J. 2001. Fallow legumes in the Australian sugar industry: Review of recent research findings and implications for the sugarcane cropping system. ProcAustSoc Sugar Cane Technol. 23, 230–235.

- Pinheiro J; Bates D; DebRoy S;Sarkar D. Core Team [Internet] nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package. 2022. Disponible en: http://CRAN.R-project.org/package=nlme. Consulta: mayo 2022.

-Otto R; Leal Pereira G; Tenelli S;NunesCarvalho J.L; Lavres J; Quassi de Castro S.A; PinheiroLisboa I; AlcardeSermarini R. 2020 Planting legume cover crop as a strategy to replace synthetic N fertilizer applied for sugarcane production. Industrial Crops&Products 156 – 112853. p 1-13.

- Sánchez Ducca A; Vargas P.D; Sabaté S; Romero E.R. 2020 Relevamiento sobre el manejo de malezas en caña de azúcar en la provincia de Tucumán, encuesta 2018. Avance Agroindustrial 41-1.

- Terán César. 2007. Evaluación de antecesores en la renovación de caña de azúcar. En Ergomix. Disponible en: https://www.engormix.com/agricultura/articulos/renovacion-de-cepas-en-cana-de-azucar-t26872.htm. Consultado: octubre 2022.

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA "6 S" EN CHACRA EXPERIMENTAL AGRÍCOLA SANTA ROSA

Daruich, K. A. ; Serino, G. y Páez, H.
Lerma 800; Chacra Experimental Agrícola Santa Rosa; Salta; Argentina; kdaruich@chacraexperimental.org

Palabras claves: gestión, metodologia 6S

Introducción

Chacra Experimental Agrícola Santa Rosa es una institución situada en Colonia Santa Rosa, Salta, Argentina que dedica sus esfuerzos a la investigación y desarrollo aplicado para el mejoramiento genético de caña de azúcar desde el año 1951.

Bajo los lineamientos del Ingenio Ledesma, iniciamos en el año 2021 la implementación de la metodología "6S". La metodología está inspirada en un modelo de gestión japonés llamado "5S" que puede aplicarse a todo tipo de organizaciones.

La metodología "6S" está basada en la famosa técnica de gestión japonesa "5S" que nació en los años 60' luego de la segunda guerra mundial, desde allí en adelante, "5S" comenzó a aplicarse en varios sectores industriales e incluso sociales debido a la costosa reconstrucción y con el desafío de la reestructuración general del país luego de la guerra.

"5S" tiene objetivos sencillos muy ligados a la cultura japonesa y en cinco pasos facilita las dinámicas de trabajo. Estos pasos son: Clasificar (seiri), ordenar (seiton), limpiar (seiso), estandarizar (seiketsu) y Disciplinar (shitsuke). Esta metodología ha tenido una gran difusión a lo largo del tiempo y en todo el mundo debido a la versatilidad de implementación en todo tipo de organizaciones y porque está pensada para lograr resultados concretos en un tiempo determinado, que suele ser corto.

El motivo por el cual se decidió comenzar con esta implementación fue la necesidad de realizar un cambio estructural y cultural en nuestra institución y los resultados obtenidos evidencian una importante adecuación, reforma y mejora de los espacios comunes de trabajo del personal de la Chacra. Mejorando las prácticas de señalización, sectorización para acopio de material e insumos y sectorización para documentación. Nos permitió realizar descartes de material obsoleto, liberando espacios y aumentando la seguridad en el trabajo. También nos ayudó a mejorar los procesos de comunicación interna y reforzar los buenos hábitos de comportamiento e interacción social, creando un entorno de trabajo más eficiente y productivo.

Metodología e implementación

La implementación de la metodología "6S" se inició en la Chacra Experimental Agrícola Santa Rosa el año 2021. Esta metodología deriva directamente de 5S, la única diferencia es la inclusión inicial en el método de "la capacitación" de todo el personal de la organización previo inicio de la implementación. De esta manera, la capacitación del personal queda implícita en la metodología y es el punto de partida, quedando entonces 6 etapas de implementación: Capacitar, Despejar, Restaurar, Ordenar, Estandarizar, Mejorar.

Cada etapa de implementación tiene un plazo de tres meses aproximadamente y la finalización de una etapa permite avanzar con la siguiente de manera inmediata.

Para iniciar con la implementación, dividimos la Chacra en tres grandes equipos: Equipo de Mejoramiento, Equipo de Biotecnología y Equipo de Administración. A su vez,

cada equipo se subdividió en otros pequeños equipos para enfocar la implementación en todos los sectores.

Esta metodología describe lineamientos prácticos que permiten realizar mejoras sustanciales en todas las áreas, procesos y procedimientos de la organización.

Consiste en seis etapas que de definen a continuación:

- Capacitar, 1ra S: Comprender del método por parte de toda la organización, formar a los equipos de trabajo de manera tal que apliquen la metodología "6S" de manera autónoma. Para ello, definimos roles dentro de las áreas.

  Rol de Coordinador general: Es quien supervisa los avances de las áreas en la implementación.

  Coordinador de equipos: Es quien lidera la implementación en los sectores de la empresa que tiene a su cargo.

  Equipos de trabajo: Son quienes llevan adelante operativamente la implementación.

- Despejar, 2da S: Consiste en separar los elementos de trabajo que son necesarios de los innecesarios, herramientas, equipos, material, información. Es una etapa muy importante porque permite separar los elementos inútiles que posteriormente serán descartados o reubicados.

- Restaurar, 3ra S: Es restablecer las condiciones básicas de infraestructura del sector, en beneficio del proceso, hábitat y seguridad. Los puntos más importantes que tuvimos en cuenta en esta etapa son la detección de fuentes de ensuciamiento, la limpieza profunda y la rutina de limpieza.

- Ordenar, 4ta S: Disponer de espacios de manera que exista un lugar para cada elemento y que este se encuentre preparado para su rápida utilización. Para ello fue importante determinar el grado de uso y utilidad de los elementos de trabajo. El fin de esta etapa es organizar el sector de manera de facilitar el desarrollo de los procesos.

- Estandarizar, 5ta S: Realizar acciones para mantener lo logrado en las otras "S" de una forma visual, rápida y sencilla. Principalmente consiste en colocar cartelería indicativa que sea intuitiva y fácil de entender.

- Mejorar 6ta S: Llevar a cabo acciones que permitan optimizar procesos del sector para una mayor competitividad.

Resultados: el antes y el después de la implementación de "6S" en la Chacra

Las Figura 1, 2 muestran espacios comunes de trabajo de las áreas de Mejoramiento, Servicios de Campo y Taller Base con chatarra acumulada de varios años. Se descartaron 10 T de chatarra.

~~Ilustración~~ Figura 2 Separación y descarte de basura metálica - ANTES

IFigura 2 Separación y descarte de basura metálica - ANTES

La Figura 3 muestra como quedó el espacio común de las áreas de Mejoramiento, Servicios de Campo y Taller Base luego de separar, descartar y limpiar.

Figura 3 Separación y descarte de basura metálica - DESPUES

Las Figuras 4 y 5 muestran el antes y después de la separación de material, descarte, limpieza, orden, adecuación y mejoras en el espacio del cuarto de guardado de insumos, herramientas y maquinaria del taller Base.

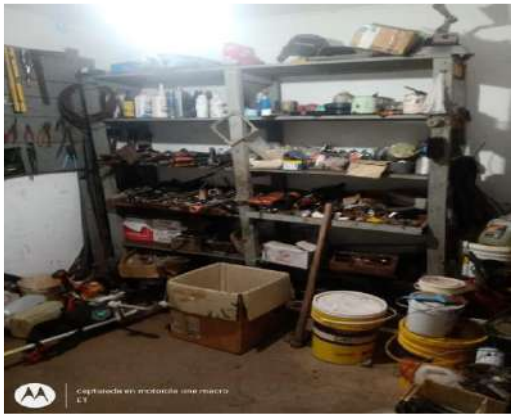


Figura 5 Taller Base - ANTES

Figura 5 Taller Base - DESPUES

Las Figuras 6 y 7 muestran el tinglado del área de Mejoramiento antes y después de ordenar y limpiar.

Figura 8 Deposito de Mejoramiento -

Figura 9 Deposito de Mejoramiento - DESPUES

Las Figuras 8 y 9 muestran el antes y después de la separación de material,

Figura 6 Sombráculo Mejoramiento - ANTES

Figura 6 Sombráculo Mejoramiento - DESPUES

Conclusiones

Con la implementación de 6S hemos reforzado los buenos hábitos de comportamiento e interacción social. El personal necesita de buenos lugares de trabajo para sentirse incluidos y comprometidos a crear un entorno de trabajo eficiente y más productivo, logrando mejorar las condiciones de trabajo y la moral del personal.

La eliminación de desperdicios, material en desuso y chatarra permitió un mejor uso de los recursos, una mejor limpieza y la organización de los ambientes de trabajo. Con los pilares de la limpieza y la organización, los sectores se vuelven más atractivos y permiten al trabajador desempeñar su función sin problemas, convirtiéndose en lugares donde el desempeño de su función se realiza de manera más organizada, menos agotadora y con menores tiempos de inactividad. La implementación de esta metodología impactó directamente en las prácticas diarias de distintas actividades, haciéndolas más simples, porque redujimos el tiempo a partir de flujos de tareas más eficientes. Las operaciones se volvieron más sencillas en todos los niveles y sectores de la organización. El incremento de los niveles de productividad fue notable y el ámbito de trabajo es más propicio para obtener buenos y mejores resultados, como consecuencia de la implementación de esta metodología.

Bibliografía

- 5S | 5S Methodology | What is 5S | Quality-One
- Metodología 6S, material proporcionado por Ledesma SAAI

VALORACIÓN DE COMPONENTES ENERGÉTICOS EN NUEVAS VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR DE TUCUMÁN, ARGENTINA

Díaz, J. V.; Costilla, D.D.; Golato, M.; Sorol N. y Ostengo, S.

jorgediaz@eeaoc.org.ar

INTRODUCCIÓN

La reducción de las reservas de combustibles fósiles y el aumento de consumo de energía a nivel mundial, entre otras cosas, hacen que la energía obtenida a partir de recursos renovables adquiera cada vez mayor importancia. La biomasa se considera un recurso renovable cuando es producida mediante un manejo sustentable y se puede utilizar para producir energía. La caña de azúcar es una gramínea carbono 4 que produce gran cantidad de biomasa y actualmente se presenta como un cultivo que produce, además de azúcar, energía renovable.

La biomasa debe reunir ciertas características y además tiene que ser procesada mediante una tecnología adecuada para producir energía eficientemente. Hay parámetros que pueden determinarse e indican la calidad de la biomasa como combustible. Algunos parámetros importantes son el porcentaje de humedad (W%), porcentaje de cenizas en base seca (Cz%), porcentaje de carbono fijo en base seca (CF%), porcentaje de sólidos volátiles en base seca (SV%) y poder calorífico superior en base seca (PCS). Para que la biomasa se comporte bien como combustible es deseable que tenga menor H% y Cz% y mayor CF%, SV% y PCS. Un proceso utilizado en la agroindustria de la caña de azúcar es la combustión del bagazo (fibra resultante de la molienda) en calderas de vapor con el objeto de producir energía térmica y/o eléctrica.

El residuo agrícola de cosecha (RAC) dejado sobre el suelo luego de la cosecha en verde puede mezclarse, acondicionado, con el bagazo resultante de la molienda y de esa manera contribuir a la generación de energía eléctrica mediante la combustión (DiasPaes*et al*. 2005, Digonzelli *et al*., 2011). El RAC está constituido principalmente por hojas secas, hojas verdes y entrenudos superiores inmaduros, además de elementos extraños (tierra, tallos maduros, arena, etc). El conjunto de hojas verdes y entrenudos inmaduros recibe el nombre de “despunte”. *Se* reportaron diferencias importantes en la composición química de las hojas y los entrenudos inmaduros, motivo por el cual, resulta interesante estudiarlos por separado.

En Tucumán, el 98,1% de la cosecha se realiza en forma mecánica (AybarGuchea*et al.,* 2020) y la quema de cañaverales, antes o después de la cosecha, es ilegal. La aplicación de sanciones a quienes queman cañaverales, la implementación de técnicas y maquinarias para manejar lotes con RAC, y la posibilidad de usar el mismo como combustible, hacen que actualmente, la cosecha sin quema sea una práctica utilizada en casi la totalidad de la superficie con caña de azúcar de Tucumán.

La producción de RAC se ve influenciada por numerosos factores: variedades, niveles de producción, edad del cultivo, manejo, sistema y eficiencia de cosecha (Rípoli*et al.,* 2000). Romero *et al.,* (2007) reportan una producción de entre 7 y 16 t/ha RAC seco en un estudio con cuatro variedades en Tucumán.

Zamora *et al.,* (2015) estudiando caracteres energéticos en el RAC de la variedad LCP 85-384 reportan un poder calorífico superior (PCS) de 16.313 KJ/Kg, 14.04% de cenizas en base seca (Cz), 69.2% de sólidos volátiles en base seca (SV) y 16.75% de carbono fijo en base seca (CF). Golato et al. (2017), estudiando la misma variedad, obtienen un PCS de 16.581 KJ/Kg y 13.89% de Cz. Díaz *et al.,* (2019 y 2020) estudiaron tres variedades y encontraron diferencias entre las mismas para algunas de las variables asociadas a la calidad de la biomasa como combustible.

El Programa de Mejoramiento Genético de Caña de Azúcar de la EEAOC liberó, en los últimos 10 años, variedades que se están difundiendo aceleradamente en Tucumán (AybarGuchea*et al.,* 2020) y se propone estudiar los principales componentes energéticos en las mismas. En ese sentido se comenzó estudiando las variedades LCP 85-384, TUC 95-10 y TUCCP 77-42 (Díaz *et al.,* 2019 y 2020). El objetivo de este trabajo fue determinar la producción de caña, fibra y RAC y las principales características energéticas de este último en cinco variedades de caña de azúcar cultivadas en Tucumán entre las que se incluye, además de las tres variedades estudiadas anteriormente, a TUC 03-12 y TUC 00-19.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las variedades LCP 85-384, TUCCP 77-42, TUC 95-10, TUC 03-12 y TUC 00-19 fueron implantadas en un ensayo con diseño en bloques completos al azar de cuatro repeticiones, dentro de los cuales, cada parcela experimental estuvo constituida por tres surcos de 10 metros. Durante el final de la época de cosecha (Setiembre), en las edades soca 1 (2019) y soca 3 (2021), se realizó un muestreo al azar, en cada parcela, de 15 tallos con sus respectivas hojas secas y despuntes. En cada muestra se tomó el peso fresco de los tallos y se determinó el porcentaje de fibra (Fibra%), de acuerdo a la metodología descripta por Diez *et al.,* 2000.

Las muestras de hojas separadas de los despuntes fueron llevadas a estufa hasta peso constante para eliminar la humedad. El peso seco del RAC se calculó a partir de la suma de los pesos secos de las hojas y de los despuntes. A partir del peso del RAC y de los tallos se estimó el porcentaje de RAC de los tallos (RAC%).

En las muestras de hojas y despuntes se determinaron los siguientes parámetros de calidad energética: humedad (W%), porcentaje de cenizas en base seca (Cz%), porcentaje de carbono fijo en base seca (CF%), porcentaje de sólidos volátiles en base seca (SV%) y poder calorífico superior en base seca (PCS) según procedimientos descriptos por Zamora Rueda *et al.,* 2015.

Las parcelas experimentales fueron cosechadas, peladas, despuntadas manualmente y pesadas para estimar la producción de caña por hectárea (TCH). Se estimó la producción de RAC seco por ha (TRACH), a partir de TCH y RAC%. La producción de fibra por ha (TFH) se estimó a partir de TCH y Fibra%. Para cada variable se realizó un análisis de la varianza y un test de comparación de medias (DGC). Se utilizó el software InfoStat (Di Rienzo J.A. *et al.,* 2018).

RESULTADOS

En la Tabla 1 se presentan los valores promedio de producción por hectárea de caña, fibra y RAC y el porcentaje de RAC y Fibra de las cinco variedades y dos edades evaluadas.

Se observaron diferencias varietales para Fibra% y TFH en ambas edades. TUC 77-42 y TUC 95-10 se presentaron con mayor porcentaje de fibra en las dos edades evaluadas. En cuanto a TFH, LCP 85-384 fue la variedad de menor rendimiento en Soca 1 mientras que en soca 3, también lo fueron TUC 00-19 y TUC 03-12. Por otro lado, no se encontró diferencia entre las variedades estudiadas con respecto a TRACH y RAC% .

Tabla 1. Toneladas por ha de caña, fibra y RAC producidas por las variedades en estudio y porcentaje de RAC y fibra de las mismas. Letras distintas indican diferencia significativa (test DGC).

Variedad	t de caña/ha	t RAC/ha	RAC%	t fibra/ha	Fibra%
Soca 1					
LCP 85-384	100,8 a	16,0 a	15,79 a	9,6 b	9,52 c
TUC 00-19	98,7 a	14,8 a	15,00 a	11,6 a	11,77 a
TUC 03-12	108,0 a	15,3 a	14,48 a	11,5 a	10,65 b
TUC 77-42	108,1 a	12,8 a	11,82 a	13,5 a	12,50 a
TUC 95-10	103,1 a	12,8 a	12,26 a	12,8 a	12,49 a
Prom. S1	**102,7**	**14,7**	**14,48**	**12,0**	**11,65**
Soca 3					
LCP 85-384	62,8 a	18,3 a	28,84 a	6,3 b	10,01 c
TUC 00-19	52,0 b	12,6 a	24,34 a	5,9 b	11,41 b
TUC 03-12	67,2 a	13,2 a	19,57 a	7,2 b	10,83 b
TUC 77-42	72,5 a	15,0 a	20,70 a	9,2 a	12,78 a
TUC 95-10	67,3 a	12,9 a	19,09 a	8,7 a	12,93 a
Prom. S3	**61,6**	**13,3**	**21,53**	**7,3**	**11,75**

En la Tabla 2 se detallan los resultados de las características energéticas determinadas en hojas. Se observó mayor porcentaje de humedad en TUC 03-12 en ambas edades. Probablemente se trate de una variedad que requiera mayor tiempo de secado. En cuanto a Cz% se encontró un efecto varietal en Soca 3 aunque no en Soca 1 lo cual sugiere una interacción genotipo por edad. TUCCP 77-42 se presentó con mayor Cz% en soca 3 lo que indica que podría ocasionar mayores problemas en las calderas. Un estudio posterior de las cenizas de cada variedad aportaría resultados más concluyentes. Con respecto a SV%, al igual que en Cz%, se encontró diferencias sólo en Soca 3. TUCCP 77-42 fue la variedad de menor SV% sugiriendo que necesitaría mayor tiempo en su inicio de combustión. Por otro lado, no se encontró diferencia varietal para CF% y PCS en las hojas de las variedades estudiadas.

Tabla 2: Porcentajes de humedad, cenizas, carbono fijo, sólidos volátiles y poder calorífico superior observadas en hojas de caña de azúcar de las variedades en estudio. Letras distintas indican diferencia significativa (test DGC).

Variedad	Humedad [%]	Cenizas (% bs)	Carbono Fijo (% bs)	Sólidos volátiles [% bs]	Poder calorífico Superior [kJ/kg]
Soca 1					
LCP 85-384	5,67 a	12,61 a	16,27 a	71,12 a	15.522 a
TUC 00-19	5,54 a	13,91 a	16,33 a	69,76 a	15.578 a
TUC 03-12	11,82 b	13,32 a	16,98 a	69,71 a	15.578 a
TUC 77-42	4,61 a	13,47 a	16,64 a	69,89 a	16.363 a
TUC 95-10	7,42 a	14,12 a	16,44 a	69,44 a	16.328 a
Prom. S1	**6,37**	**12,84**	**16,62**	**70,55**	**15.836**
Soca 3					
LCP 85-384	7,78 a	12,61 a	16,26 a	71,13 a	16.427 a
TUC 00-19	9,9 a	13,39 a	16,38 a	70,24 a	16.218 a
TUC 03-12	14,5 b	13,35 a	16,64 a	70,01 a	16.244 a
TUC 77-42	8,63 a	15,54 b	16,09 a	68,37 b	16.369 a
TUC 95-10	7,82 a	12,96 a	16,47 a	70,57 a	16.703 a
Prom. S3	**9,08**	**13,39**	**16,36**	**70,25**	**16.397**

Los resultados obtenidos en los despuntes se muestran en la Tabla 3. Se encontró diferencia varietal en humedad sólo en soca 3 mostrándose TUC 03-12 (al igual que en las hojas) y TUC 00-19 con mayor humedad que las otras variedades. Con respecto a Cz% se observaron diferencias entre las variedades para las dos edades evaluadas. TUC 77-42, (al igual que en las hojas en soca 3) se presentó como la variedad con mayor Cz%. Por otro lado se encontró diferencia significativa para la variable CF% en soca 1. TUC 03-12 fue la variedad de mayor CF% mientras que TUC 00-19 fue la de menor CF% comportándose las otras variedades evaluadas como intermedias. Por otra parte, se presentaron también diferencias significativas para SV% en soca 3, presentando LCP 85-384 el mayor valor sugiriendo que los despuntes de esta variedad alcanzan una temperatura de combustión mayor. Por otro lado, no se encontró diferencia varietal para PCS.

Tabla 3: Porcentajes de humedad, cenizas, carbono fijo, sólidos volátiles y poder calorífico superior observadas en despuntes de las variedades de caña de azúcar en en estudio. Letras distintas indican diferencia significativa (test DGC).

Variedad	Humedad [%]	Cenizas (% bs)	Carbono Fijo (% bs)	Sólidos volátiles [% bs]	Poder calorífico Superior [kJ/kg]
Soca 1					
LCP 85-384	59,73 a	8,55 a	18,89 b	72,57 a	16.283 a
TUC 00-19	56,49 a	9,43 b	18,51 c	72,06 a	16.444 a
TUC 03-12	60,54 a	7,94 a	19,85 a	72,22 a	16.371 a
TUC 77-42	56,91 a	10,43 b	18,15 c	71,41 a	16.077 a
TUC 95-10	53,97 a	10,18 b	18,36 c	71,47 a	16.217 a
Prom. S1	**57,51**	**9,43**	**18,74**	**71,83**	**16.261**
Soca 3					
LCP 85-384	47,49 b	5,82 a	19,77 a	74,42 a	17.468 a
TUC 00-19	54,26 a	7,32 a	19,39 a	73,29 b	17.436 a
TUC 03-12	61,82 a	6,36 a	20,67 a	72,97 b	17.313 a
TUC 77-42	36,52 b	9,78 b	18,39 a	71,84 b	17.365 a
TUC 95-10	44,27 b	7,91 a	19,33 a	72,76 b	17.414 a
Prom. S3	**49,62**	**7,70**	**19,41**	**72,89**	**17.433**

CONCLUSIÓN

Los estudios realizados evidenciaron, preliminarmente, efecto varietal en TCH, TFH y Fibra% a diferencia de TRACH y RAC%. Con respecto a las características del RAC, tanto en hojas como en despuntes se encontraron diferencias varietales en parámetros que definen la calidad energética de los mismos. La interacción observada con el año/edad de muestreo sugieren estudios más amplios y bajo diferentes condiciones ambientales. Una caracterización precisa de la calidad energética de las variedades puede aportar información útil para un manejo eficiente en el futuro.

BIBLIOGRAFIA

AybarGuchea M, Ostengo S, Espinosa MA, Medina P, Díaz JV, Chavanne ER, Costilla DD y CuenyaMI. 2020 Relevamiento de la distribución de variedades y de otras tecnologías aplicadas en el cultivo de caña de azúcar en la provincia de Tucumán: campaña 2019/2020 (Parte I). Reporte Agroindustrial 195

Días Paes, L.A. and Oliveira, M.A. (2005). Potential trash biomass of the sugar cane plant. In Hassuani, Suleiman, J. (ed). Biomass power generation: sugar cane bagasse and trash. SérieCaminhos para Sustentabilidade. 01, 18.22. PNUD.CTC, Piracicaba.

Díaz JV, Ostengo S, Costilla DD, Golato MA, AybarGuchea M, ZossiS,Chavanne ER, Paz D, Ruiz M and Cuenya MI. Caracterización de cultivares de caña de azúcar según componentes energéticos (Tucumán, Argentina). 2020. Rev. Ind. yAgríc. de Tucumán Tomo 97 (2): 31-54.

Díaz JV, Ostengo S, Costilla DD, Golato MA, AybarGuchea M, ZossiS,Chavanne ER, Paz D, Ruiz M and Cuenya MI. 2019. Energytraits in threesugarcanecultivars in Tucuman, Argentina. Procc. ISSCT (30) 459-463.

Diez, O.; S. Zossi; E. Chavanne y G. Cárdenas. 2000. Calidad industrial de las variedades de caña de azúcar de maduración temprana LCP 85-384 y LCP 85-376 en Tucumán. Análisis de sus principales constituyentes físico-químicos. Rev. Ind. yAgríc. de Tucumán 77 (2): 39-48.

Di Rienzo J.A.; Casanoves F.; Balzarini M.G.; Gonzalez L.; Tablada M. y Robledo C.W. 2013. InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL http://www.infostat.com.ar

Digonzelli, P. A.; M.J. Tonatto; E. R. Romero; G. A. Sanzano; J. Fernández de Ullivarri; J. A. Giardina y J. Scandaliaris. 2011. Assessing a sustainable sugar cane production system in Tucumán, Argentina. Part II: soil water and thermal regime, stalks population dynamics and sugarcane production. Revista Industrial y Agrícola de Tucumán 88 (2): 1-10.

Golato MA, Feijóo EA, FranckColombres FJ, Paz D, Cárdenas GJ. 2017. Estudio preliminar del aprovechamiento de los residuos agrícolas de cosecha de la caña de azúcar como combustible adicional para calderas bagaceras de Tucumán (Argentina). Revista Industrial y Agrícola de Tucumán 94(2): 21–31.

Rípoli TC, Molina WF, Rípoli MLC. 2000. Energy potential of sugar cane biomass in Brazil. ScientiaAgricola 57: 677–681.

Romero E.R., Scandaliaris J.; Digonzelli P.; Alonso L.; Leggio Neme F.; Giardina J.; Casen S.; Tonatto J. and Fernández de Ullivarri J. SugarcanePotentialTrashEstimation: variety and caneyieldeffect. Proc. Int. Soc. SugarCaneTechnol., Vol. 26, 421-425 2007

Zamora Rueda G. del H.; M. G. Mistretta; F. L. Peralta; C.E. Gutierrez; E. A. Feijóo; M.A. Golato; D. Paz y G.J. Cárdenas. Caracterización energética del residuo agrícola de la cosecha de la caña de azúcar (RAC) de Tucumán. XXXVIII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente (ASADES). San Rafael, Mendoza. ISBN 978-987-29873-0-5. Vol. 3, pp. 06.09-06.18, 2015.

HISTORIA E HITOS EN LA ETAPA DE LABORATORIO DE LA PRODUCCIÓN DE VITROPLANTAS DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA EEAOC

Díaz M E; Paz N V; Insaurralde M P; Ovejero S N, Cerviño A M, Perera M F, Digonzelli, P A; Noguera A S

Instituto de Tecnología Agroindustrial del Noroeste Argentino (ITANOA), Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) CCT NOA- Sur. Av. William Cross 3150, C.P. T4101XAC, Las Talitas, Tucumán, República Argentina.

e-mail: mediazmicales@eeaoc.org.ar- mariaelenadiazmicales@gmail.com

Palabras clave: cultivo de tejidos, identidad genética, sanidad, vigor

Introducción

En el laboratorio de cultivo de tejidos vegetales de la Sección de Biotecnología de la EEAOC se utilizan las técnicas de cultivo de meristemas y de micropropagación para la producción de plantines de caña de azúcar libres de patógenos, los que constituyen el paso inicial en el proceso de producción de caña semilla de alta calidad.

La micropropagación consiste en el crecimiento de un tejido vegetal o parte de una planta (meristemas o ápices meristemáticos) en un medio nutritivo artificial, en condiciones asépticas y en un ambiente controlado (temperatura, humedad, luz).

Esta herramienta biotecnológica tiene múltiples ventajas, incluidas la propagación masiva de plantas sanas en cualquier época del año, en espacios reducidos y en un corto período de tiempo. A su vez, los meristemas son un grupo de células indiferenciadas en continua división y sin tejido vascular desarrollado, por lo que están relativamente aislados del resto de la planta, lo que permite obtener material libre de virus al utilizar este tejido como explante inicial. Las pequeñas plantas que crecen en frascos de vidrio en condiciones asépticas, en un ambiente controlado son llamadas "vitroplantas".

Objetivo

La etapa de laboratorio del Proyecto Vitroplantas, que se realiza en la Sección Biotecnología de la EEAOC, tiene como propósito la producción de vitroplantas de caña de azúcar con calidad sanitaria y pureza genética garantizadas.

Materiales y métodos

El material vegetal micropropagado corresponde a las variedades comerciales requeridas por los productores cañeros y a los clones promisorios del Programa de Mejoramiento Genético de la caña de azúcar de la EEAOC.

La obtención de vitroplantas se lleva a cabo a través de cinco etapas que se describen a continuación (4 y5):

1. Etapa 0 - Preparación del material vegetal de partida o donante: esta etapa se desarrolla en invernadero donde se cultivan y acondicionan las plantas donadoras de meristemas.
2. Etapa 1 - Establecimiento del cultivo *in vitro* o introducción: consiste en la implantación de los meristemas o ápices meristemáticos en el medio de cultivo adecuado. Cada meristema es identificado con un código que tiene como finalidad la trazabilidad durante todo el proceso de producción.

3. Etapa 2 - Multiplicación: en esta fase se transfiere el material a un medio de cultivo que promueve la activación de las yemas adventicias para favorecer la formación de los macollos o hijuelos.
4. Etapa 3 - Enraizamiento: se lleva a cabo en un medio de cultivo específico que estimula la generación de raíces para su posterior adaptación a las condiciones *ex vitro*.
5. Etapa 4 - Aclimatación: La aclimatación es el proceso mediante el cual las plantas salidas de los recipientes de cultivo *in vitro* y cultivadas en condiciones *ex vitro* en invernadero se van transformando poco a poco (rusticación) hasta que aparecen en ellas las características habituales de las plantas de su especie cultivadas en invernaderos o en campo. Durante las dos primeras semanas, éstas se mantienen bajo condiciones de alta humedad relativa (HR) y baja intensidad lumínica, para evitar la deshidratación y posteriormente se reduce gradualmente la HR y se incrementa la intensidad de la luz a fin de que las plántulas adquieran rusticidad para que resistan en forma eficiente el transplante a campo.

Las etapas 3 y 4 pueden realizarse en medio de cultivo estático en el cual las plantas están en contacto permanente con el medio de cultivo como se observa en la Figura 1A o en Sistemas de Inmersión Temporal (SIT; Figura 1B). El funcionamiento de estos últimos se basa en el contacto intermitente del medio de cultivo líquido con el material vegetal por un corto período de tiempo y la consecuente renovación de la atmósfera gaseosa, lo cual evita la hiperhidricidad (turgencia y fragilidad en los tejidos) y la acumulación de gases tóxicos.

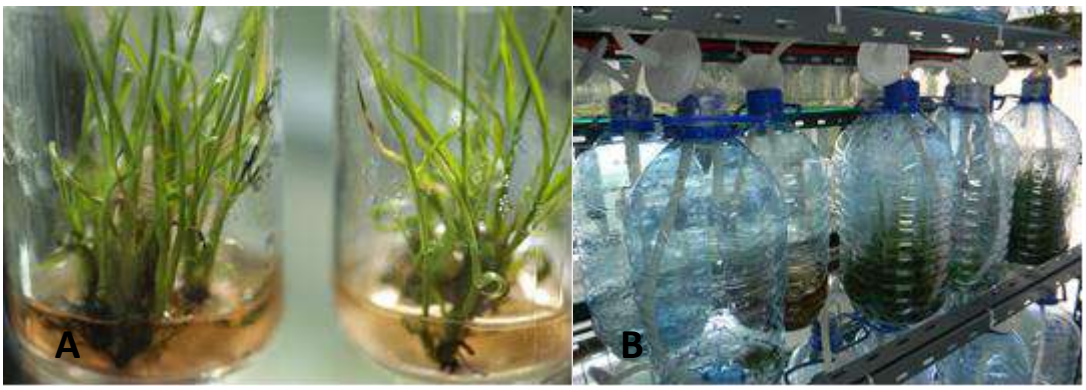


Figura 1. Vitroplantas de caña de azúcar. A) Sistema de producción estático o convencional. B) Sistema de Inmersión temporal.

Resultados

Principales aspectos de las vitroplantas

Las principales características que definen la alta calidad de la “caña semilla” que se produce en la EEAOC son la identidad genética, la sanidad y el vigor.

En nuestro laboratorio, se realizan análisis moleculares para tener evidencias que aseguren la identidad genética de las plántulas producidas. En dichos análisis se comparan los perfiles genéticos de las vitroplantas al final del proceso (etapa de Aclimatación) con el perfil de la planta que le dio origen (planta madre)(2 y 3).

Otra característica de la “caña semilla” de alta calidad es la sanidad, es decir, que la misma debe estar libre o con una mínima incidencia de patógenos y plagas. En la etapa de laboratorio esto se logra con una combinación de técnicas que incluyen la

hidrotermoterapia del material de partida (estacas uninodales)(6) a partir del cual se obtienen las plantas donadoras de explantos, la implantación de meristemas apicales y la utilización de análisis moleculares para determinar la carga patogénica de los agentes causales de las principales enfermedades sistémicas en caña de azúcar.

Por último, el vigor, es otra de las características que garantiza la calidad de la caña semilla producida en la EEAOC y está dado por la elevada capacidad de brotación y crecimiento del material al ser cultivado en condiciones óptimas en campo. Esta característica es consecuencia, entre otros aspectos, del rejuvenecimiento que experimentan los tejidos cuando son cultivados *in vitro* y del saneamiento logrado al utilizar tejido meristemático como explante para iniciar el proceso de producción.

Vitroplantas de caña de azúcar producidas entre 2001 y 2022

La producción promedio anual desde el inicio del Proyecto Vitroplantas en el año 2001 hasta el 2021(21 campañas completas) es de 61.528 vitroplantas. La distribución varietal de dicha producción puede observarse en la Figura 2.

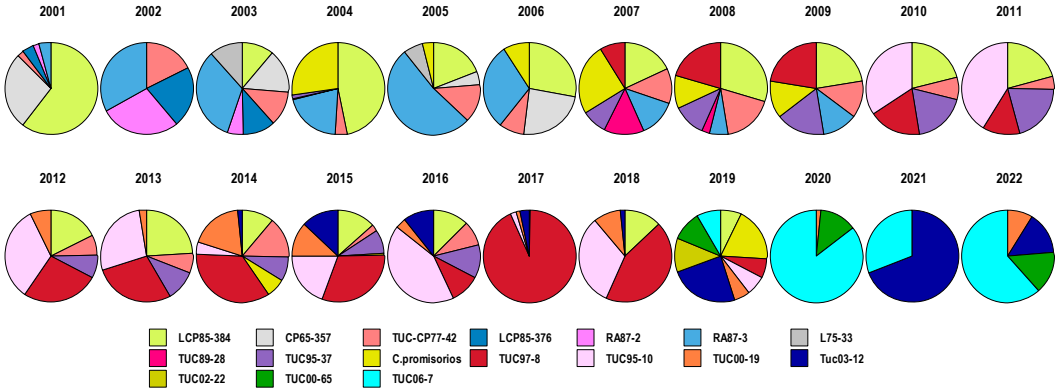


Figura 2. Producción proporcional de las variedades y clones promisorios de caña de azúcar desde el 2001 a la actualidad.

Mejoras y/o modificaciones introducidas en el Proyecto Vitroplantas

En la Figura 3 se detallan las mejoras introducidas a fin de hacer más eficientes los diferentes aspectos de la etapa de laboratorio del Proyecto.

Figura 3. Modificaciones introducidas en la etapa de laboratorio del Proyecto Vitroplantas.

Las mejoras introducidas en el proceso de producción de vitroplantas saneadas de caña de azúcar en la EEAOC durante las dos décadas de existencia del Proyecto permitieron superar gradualmente nuestros propios estándares de calidad. Esto permite ofrecer al sector productivo de la provincia un óptimo material de propagación lo que contribuye significativamente al incremento sostenido de los rendimientos, sumado a otros aspectos tecnológicos de la producción (1).

Conclusiones

La identidad genética, la sanidad y el vigor son, como ya se describió, las tres cualidades distintivas de las vitroplantas de caña de azúcar producidas en el Laboratorio de cultivos de tejidos de la Sección Biotecnología de la EEAOC. Una característica sobresaliente de este material es el análisis de la pureza genética mediante marcadores moleculares ya que esta determinación solo se realiza en los materiales producidos en la EEAOC.

El Proyecto Vitroplantas se inició en el 2001 y desde entonces se buscó incorporar cambios que mejoraran la eficiencia en alguna/s etapa/s del proceso de producción y de esta manera mejorar la calidad del producto final obtenido. Entre ellas merece destacarse la implementación de la norma internacional ISO 9001:2015. Esta Norma certifica nuestro sistema de gestión de calidad que permite administrar y mejorar los procesos de obtención del producto en pos de incrementar la satisfacción del cliente.

Cabe resaltar que a partir de la puesta en marcha del Proyecto Vitroplantas se logró instaurar el concepto de “semilleros” en caña de azúcar por lo cual el productor destina una porción de su lote para producir la “caña semilla” de alta calidad que utiliza para sus plantaciones comerciales. Asimismo, el uso de este material vegetal saneado ocasionó una disminución paulatina y gradual de las enfermedades sistémicas en los cañaverales tucumanos.

Bibliografía

1. Giardina JA, Duarte DN, Fajre S, et al., 2018. Evolución del proyecto Vitroplantas de la EEAOC producción de caña semilla de Alta Calidad en Tucumán, período 2013-2017. Avance Agroindustrial 39(2): 22–27.
2. Larkin PJ, Scowcroft WR. 1981. Somaclonal variation a novel source of variability from cell cultures for plant improvement.
3. Noguera AS, Paz NV, Díaz ME, et al., 2010. La producción de caña semilla de alta calidad comienza en el laboratorio,
4. Publicación Especial Vitroplantas, pp.12–20.
5. Perera MF, García MG, Noguera AS, Sepúlveda Tusek M, Filippone MP, Castagnaro AP. 2010. Evaluación de la variación somaclonal en vitroplantas de caña de azúcar mediante marcadores moleculares. Revista Industrial y Agrícola de Tucumán 87(2): 13–21.
6. Ramallo J, Vázquez de Ramallo N. 2001. Aplicación de hidrotermoterapia para la obtención de caña semilla de sanidad controlada. Revista Avance Agroindustrial 22(2): 16–18.

Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración en el análisis de los datos de la Dra. Andrea Peña Malavera (ITANOA, EEAOC-CONICET).

INDUCCIÓN A FLORACIÓN Y CRUZAMIENTOS EN EL SUBPROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENÉTICO DE CAÑA DE AZÚCAR DE LA EEAOC. RESULTADOS OBTENIDOS ENTRE 2008 Y 2022.

Díaz Romero, C.; Figueroa, M.F. y Ostengo, S.

Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres
Av. William Cross 3.150, C.P. T4101XAC, Las Talitas, Tucumán, Argentina
cdiazromero@eeaoc.org.ar

Palabras clave:inducción a floración, cruzamientos, calidad de semilla

INTRODUCCIÓN

En el Subprograma de Mejoramiento Genético de Caña de Azúcar (SMGCA) de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC, Tucumán, Argentina) se cumplen, cada año, diferentes procedimientos orientados a la obtención de semilla sexual a partir de la cual se realiza la selección clonal para obtener variedades comerciales.

Las condiciones subtropicales de Tucumán hacen necesaria la aplicación de tratamientos inductivos de la floración en los progenitores selectos, mediante el uso de cámaras fotoperiódicas (Levi, 1983). Desde 2001, el SMGCA utiliza básicamente dos tratamientos fotoperiódicosque permiten alcanzar porcentajes de floración aceptables en un amplio rango de progenitores (Díaz Romero y Cuenya, 2002).

El objetivo de este trabajo es presentar los resultados obtenidos en los distintos indicadores del área de inducción y cruzamientos en el SMGCA de la EEAOC entre los años 2008 y 2022.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de inducción a floración

Durante el mes de abril de cada año se seleccionan los progenitores que se inducen a floración artificialmente. Se consideran características destacadas, tales como elevado contenido sacarino, alto tonelaje, resistencia o tolerancia a las principales enfermedades y plagas de la región, contenido de fibra aceptable y otros atributos buscados en una variedad comercial destacada. En aquellos padres que ya fueron utilizados con anterioridad se incorpora información del comportamiento de las progenies generadas.

Los progenitores se plantan y crían durante aproximadamente 8 meses. La crianza engloba una serie de metodologías que tiene por objetivo la generación de tallos únicos (sin macollos) con un desarrollo adecuado para iniciar la inducción. Se utilizan macetas de 30 L,en cada una de las cualesse favorece el desarrollo de cinco tallos vigorosos, realizando fertilizaciones nitrogenadas, desbrotes y podas periódicas(Figura 1a).

La inducción a floración se lleva a cabo desde noviembre a febrero en cámaras fotoperiódicas(Figura 1b).Se utilizan dos tratamientos fotoperiódicos (T1 y T2) que se describen en la Tabla 1.

Figura 1.(a)Crianza en invernáculo de progenitores de caña de azúcar; (b) Progenitores bajo tratamiento. SMGCA. EEAOC.

Tabla 1: Duración total y características de ciclos fotoperiódicos de los tratamientos T1 y T2. SMGCA. EEAOC.

Tratamientos	Duración Total	Características de ciclos fotoperiódicos
T1	100 días	40 días con 12 h 30 m de longitud del día constante 60 días con decrecimiento diario de 1 minuto
T2	100 días	40 días con 12 h 30 m de longitud del día constante 60 días con decrecimiento diario de 30 segundos

Ambos tratamientos T1 y T2 tienen una duración total de 100 días que se dividen en dos ciclos. El primer ciclo (40 días) coincide con una longitud de día constante de 12 horas con 30 minutos para ambos, y un segundo ciclo (60 días) con un decrecimiento diario que en T1 es de 1 minuto y en T2 es de 30 segundos. Esta diferencia en el decrecimiento influye en la fertilidad del polen y la velocidad de aparición en las flores(Berding, 2007). Por otra parte, en el tratamiento T1 se utilizan dos fechas de inicio (T1 a y T1 b), con 7 días de diferencia entre sí, con el objetivo de lograr que una misma variedad tuviera distintas fechas de floración y aumentar sus posibles combinaciones con otros padres.

Área de Cruzamientos

La floración de los progenitores se inicia anualmente en marzo y se extiende hasta junio (Figura 2).

Figura 2. Floración de progenitores posterior a los tratamientos fotoperiódicos conducidos. SMGCA. EEAOC.

Durante esos meses, diariamente se cortan las panojas y se procede a la clasificación del sexo mediante la observación en lupa; en el caso de las inflorescencias masculinas, se realiza el test de lugol para verificar la viabilidad del polen. A continuación, en base a toda la información registrada de cada progenitor, se determina la cruza más conveniente cada día.

Los cruzamientos se realizan en un invernáculo donde las condiciones de temperatura y humedad son estrictamente controladas. La temperatura se mantiene por encima de 25ºCy la humedad relativa, entre 80 y 100 %: estas condiciones resultan un requerimiento indispensable para la supervivencia del polen y favorecer la polinización(Heinzy Tew, 1987)(Figura 3).

Figura 3. Cruzamientos de caña de azúcar. SMGCA. EEAOC.

Una vez concluido el cruzamiento, a los 15 días, las panojas son embolsadas durante 45 días en un sector con humedad relativa baja donde la semilla concluye su

proceso de formación (“sazonamiento”)(Figura 4). A continuación, se realiza el secado de las semillas con aire caliente a 36-38°C durante 72 horas, y finalmente son almacenadas en freezer.

Figura 4. Formación de semilla botánica. SMGCA. EEAOC.

RESULTADOS

En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos (promedios) para los indicadores de inducción a floración durante las campañas 2008-2022.

Tabla 2: Promedios obtenidos en las campañas de inducción a floración 2008-2022.SMGCA. EEAOC.

Indicadores	Campañas 2008-2022 (promedio)
Progenitores	121
Tallos inducidos	1643
Inflorescencias producidas	948
Porcentaje de floración (%)	57,7
Porcentaje de progenitores florecidos (%)	87,1

Durante las 15 campañas que se evaluaron, se indujeron a floración 121 progenitores por año, en promedio. Anualmente se renovó un 15 % de estos materiales, incorporando así nuevos genotipos con características sobresalientes. Como media, se obtuvieron 948 inflorescencias a partir de 1643 tallos inducidos, lo que significó un porcentaje de floración de un 57,7%. A lo largo del período evaluado (2008-2022) se logró inducir la floración del 87,1 % del total de genotipos seleccionados como progenitores.

En la Tabla 3 se presentan los promedios de las fechas de floración obtenidas en los tratamientos T1 a, T1 b y T2. Se destacan las diferencias en días en el promedio de inicio y fecha media de floración entre las tres alternativas, siendo la más amplia en T2. Este mayor intervalo permitió mejorar la sincronización y aumentar las combinaciones biparentales y, como consecuencia, la variabilidad genética en las poblaciones obtenidas.

Tabla 3: Fechas promedio de inicio de floración, floración media y fin de floraciónpara los tratamientos fotoperiódicos T1 a, T1 b y T2. SMGCA. EEAOC.

Tratamiento	Inicio	Fecha Media	Fin
T1 a	24-feb	12-abr	25-jun
T1 b	03-mar	16-abr	01-jul
T2	26-feb	25-abr	24-jun

En la Tabla 4 se presentan parámetros referidos a los resultados obtenidos en el área de cruzamientos. Entre los años 2008 y 2022 se lograron realizar, en promedio por año, un total de 458 cruzamientos. La calidad de la semilla que se obtuvo se evaluó mediante el número de plantines por gramo de semilla generada, lográndose un valor medio anual de 106 durante los 15 años mencionados. Este parámetro permitió estimar que anualmente se generaron, aproximadamente, 240.000 plantines potenciales. Este valor superó ampliamente los 70.000 plantines que se utilizan por año para conformar las poblaciones base del SMGCA, por lo tanto el remanente enriqueció la reserva de semilla botánica del Subprograma, asegurando la continuidad del proceso de producción de variedades.

Tabla 4: Promedios obtenidos en las campañas de cruzamientos 2008-2022. SMGCA. EEAOC.

Indicadores	Campañas 2008-2022 (promedio)
Cruzamientos	458
Plantines por gramo de semilla sexual	106
Plantines potenciales obtenidos	237.864

CONCLUSIONES

La floración de caña de azúcar resulta una limitante importante en todo proceso de obtención de nuevas variedades. Los resultados presentados muestran que los tratamientos fotoperiódicos utilizados en el SMGCA lograron producir las inflorescencias de un amplio número de progenitores. De este modo, resultó posible realizar hibridaciones destacadas, que generaron una producción importante de semilla botánicacon alta variabilidad genética, asegurando el proceso continuo de creación de variedades comerciales superiores.

REFERENCIAS

Berding, N.; Pendrigh, R y Dunne, V. 2007. Can flowering in sugarcane be optimised by use of differential declinations for the initiation and development phases? Proceedings International Society of Sugar Cane Technologists. 26. 699-710.

Díaz Romero, C. y Cuenya, M.I. 2002. Implementación de nuevos tratamientos fotoperiódicos para inducción a floración en progenitores selectos de caña de azúcar. AvanceAgroind. 23 (1): 10-13.

Heinz, D.J. y Tew, T.L. 1987. Hybridization procedures. In: Sugarcane improvement through Breeding (D.J. Heinz, ed.). Elsevier Ed. pp. 313-342.

Levi, C. A. 1983. Floración de caña de azúcar. Determinación de requerimientos inductivos. Rev. Ind. y Agrícola de Tucumán. 60 (1): 1-15.

PROYECTO VITROPLANTAS DE LA EEAOC: RUSTICACIÓN EN INVERNÁCULO DE VITROPLANTAS DE CAÑA DE AZÚCAR EN EL PERIODO 2018-2022

Díaz Romero, C.; Figueroa, M.F.; Ostengo, S. y Digonzelli, P.

Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres
Av. William Cross 3.150, C.P. T4101XAC, Las Talitas, Tucumán, Argentina
cdiazromero@eeaoc.org.ar

Palabras clave:caña semilla de alta calidad, aclimatación, invernáculo, caña de azúcar

Introducción

El “Proyecto Vitroplantas” de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) tiene por objetivo proveer a los productores de caña de azúcar semilla de alta calidad de cultivares ya difundidos comercialmente y de las nuevas variedades que produce el Subprograma de Mejoramiento Genético de Caña de Azúcar (SMGCA). La “caña semilla” que se produce y ofrece al productor es un material que se encuentra libre de enfermedades sistémicas, posee una pureza genética garantizada y es muy vigorosa.

La producción de esta “caña semilla” de alta calidad se realiza en tres etapas: i) produccióndelas vitroplantas en el laboratorio utilizando la técnica de micropropagación (Noguera *et al*., 2015), ii) rusticación de las vitroplantas en invernáculo (Díaz Romero *et al*., 2010) y por último, iii) multiplicaciones encampo en un esquema de semilleros que generan el material que se distribuye en las plantaciones comerciales (Digonzelli*et al*., 2010).

En este proceso, la etapa de rusticación de las vitroplantas en invernáculo tiene una importancia fundamental. El pasaje de un estado autótrofo, en condiciones controladas de laboratorio, a un estado heterótrofo, enlas condiciones ambientales naturales del invernáculo, resulta una situación crítica que debe ser manejada adecuadamente para lograr la supervivencia en el mayor porcentaje de los materiales (Pérez Ponce, 1998).

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos durante los años 2018 a 2022 en la etapa de rusticación de vitroplantas en condiciones de invernáculo en la EEAOC.Se incluyen en el presente los datos del año 2022 hasta el mes de octubre, ya que la campaña 2022 de rusticación se encuentra en progreso, culminando en diciembre próximo.

Metodologías utilizadas en la etapa de rusticación

Desde el laboratorio, las vitroplantasson nominadas con un códigoque incluye: año de inicio del proceso, variedad y línea (grupo de plantas originadas de un mismo meristema). Esta nominación permite mantener la trazabilidad de los materiales y, ante la detección de cualquier material enfermo o variación genéticase procede a eliminar la línea completa.

Previo al trasplante en invernáculo, las vitroplantasson sumergidas durante 24 horas en una solución con un producto que posee protección fungicida y también tiene un efecto promotor del crecimiento (Figura 1).

Figura 1. Vitroplantas producidas en laboratorio, sumergidas en solución fungicida y promotora de crecimiento.SMGCA. EEAOC.

Posteriormente, son clasificadas por tamaño y características radiculares con el objetivo de obtener grupos de plantas homogéneas que facilitan el manejo durante la crianza y posterior trasplante en campo. Se establecieron cuatro categorías de tamaño(mayor a 7 cm, entre 7 cm y 5 cm, entre 5 cm y 3 cm, y menor a 3 cm) en el caso de plantas con proporción adecuada de raíces, y unacategoría referida al poco desarrollo radicular (pocas raíces) (Figura 2).

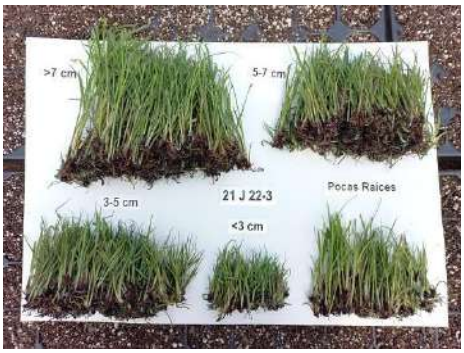


Figura 2. Clasificación por tamaño y condición de raíces.SMGCA. EEAOC.

Dentro de la etapa de rusticación en invernáculo se distinguen dos fases: i) aclimatación, y ii) crianza, cada una de las cuales presenta requerimientos de condiciones ambientales y de manejo especiales.

Fase de aclimatación

La fase de aclimatación tiene una duración de 15 días y se caracteriza por un estricto control de las condiciones ambientales del invernáculo, con el objetivo de que las variaciones de temperatura, el aumento de la intensidad de la luz y la disminución de la humedad relativa ambiente, con respecto a los valores en los cuales las plantas crecieron en el laboratorio, no generen un estrés que influya marcadamente en la supervivencia.

Por este motivo, las vitroplantas son trasplantadas en un sector del invernáculo especialmente acondicionado con una tela media sombra que se coloca encima de las plantas y que intercepta la luz en un 50%; esto produce un sombreado adecuado y, al mismo tiempo, genera un ambiente de mayor humedad. El invernáculo, además, posee calefacción, lo que permite mantener la temperatura por encima de los 25ºC y, por lo tanto,el trasplante todo el año, aún en época invernal (Figura 3).

Figura 3. Vitroplantas de caña de azúcar en fase de aclimatación.SMGCA. EEAOC.

El trasplante se realiza en bandejas con celdas individuales de 100 ml.Se utilizaun sustrato comercial compuesto por turba de musgo *Sphagnum*, compost de corteza fina, perlita, fertilizantes (nitratos, fosfatos y potasio) y agenteshumectantes. Inmediatamente después del trasplante se realiza una aplicación, con el riego, de un complejo nitrogenado que estimula una rápida adaptación a estas nuevas condiciones.

Fase de crianza

Una vez cumplidos los 15 días de aclimatación, las vitroplantasson trasladadas al sector de crianza, siendo ubicadas en diferentes sectores según la variedad, línea y fecha de trasplante (Figura 4).

Figura 4. Vitroplantas de caña de azúcar en fase de crianza.SMGCA. EEAOC.

La fase de crianza tiene una duración aproximada de tres meses. Las condiciones de luz y humedad ambiental son las que se presentan naturalmente en el invernáculo yla temperatura se mantiene por arriba de los 25ºC.

Se realizan aplicaciones semanales de distintos fertilizantes conteniendo nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y azufre, para favorecer un rápido desarrollo y macollaje de los plantines. Además, se efectúan podas semanales con herramientas cuidadosamente desinfectadas (Figura 5).

Figura 5. Poda con tijeras desinfectadas con hipoclorito de sodio 20%.SMGCA. EEAOC.

Todos estos procedimientos son llevados a cabo durante aproximadamente 90 días, hasta obtener plantas vigorosas, con numerosos macollos y con un tamaño adecuado para favorecer la implantación en el campo (Figura 6).

Figura 6. Vitroplantas rusticadas, en condiciones de ser trasplantadas en el campo.SMGCA. EEAOC.

Resultados

Entre 2018 y 2022, en la etapa de aclimatación y crianza del Proyecto Vitroplantas, se rusticaron en invernáculo 143.508 plantines vigorosos, parte de los cuales fueron trasplantados en elcampo en aproximadamente 33,03 ha de Semillero Básico entre 2018 y 2021 (Giardina *et al*., 2022); cabe aclarar que el material correspondiente a la campaña 2022 recién se está comenzando a implantar en el semillero. Esa superficie implantada en el Semillero Básico es la que daorigen a la red provincial de Semilleros Registrados y Certificados que, manejados con alta eficiencia, se constituyenen la fuente de caña semilla de alta calidad para las nuevas plantaciones comerciales (Giardina *et al*., 2018).

En la Tabla 1 se presentan las variedades que se rusticaron en invernáculo.

Tabla 1: Total de vitroplantas rusticadas (período 2018-2022).SMGCA. EEAOC.

Variedad	Cantidad de Vitroplantas
TUC 06-7	57.325
TUC 03-12	23.313
LCP 85-384	13.675
TUC 95-10	11.920
TUC 00-65	11.780
TUC 00-19	11.650
TUC 97-8	10.420
TUC 02-22	3.425
Total	**143.508**

La caña semilla de alta calidad es una tecnología ampliamente adoptada por el sector cañero tucumano. En la campaña 2019/2020 se estimó que el 73,7% del área cañera de Tucumán seimplantócon caña semilla del Proyecto Vitroplantas de la EEAOC (Aybar Guchea *et al*., 2020).

Por otra parte, como se mencionó anteriormente, el Proyecto tiene como objetivo difundir aceleradamente nuevas variedades TUC producidas por el SMGCA-EEAOC. En la Figura 7 se discriminan los porcentajes de las variedadesrusticadas en el periodo 2018-2022. Las cuatro últimas variedades liberadas entre 2015 y 2019: TUC 03-12, TUC 00-65, TUC 06-7 y TUC 02-22, representaron el 67% de la producción de vitroplantas de los últimos

cinco años. Estos cultivares,deelevada producción de azúcar por hectárea, se ponen a disposición del productor en forma saneadapudiendo, de esta manera, expresar su máximo potencial productivo.

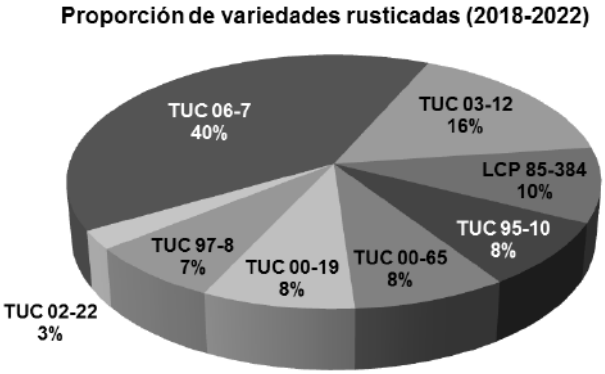


Figura 7. Participación porcentual de las variedades rusticadas en el periodo 2018-2022.SMGCA. EEAOC.

Conclusiones

Entre 2018 y 2022 lograron rusticarse, en el área de aclimatación y crianza en invernáculo, 143.508 “vitroplantas” vigorosas de variedades comerciales de caña de azúcar ya difundidas y de los últimos cultivares TUC producidos por el SMGCA de la EEAOC. Estos materiales implantados en los Semilleros Básicos del Proyecto Vitroplantas permiten al productor cañero abastecerse de caña semilla de alta calidad e incorporar nuevas variedades para diversificar los cañaverales de la Provincia de Tucumán.

Referencias

Aybar Guchea, M.; Ostengo, S.; Espinosa, M.A.; Medina, P.; Díaz, J.V.;Chavanne, E.R.; Costilla, D.D. y Cuenya, M.I. 2020. Relevamiento de la distribución de variedades y de otras tecnologías aplicadas en el cultivo de caña de azúcar en la provincia de Tucumán: campaña 2019/2020 (Parte I). Reporte Agroind. (195). [En línea]. Disponible en http://www.eeaoc.org.ar/ (Consultado el 11 de octubre de 2022).

Díaz Romero, C.; Cuenya, M.I. y García, M.B. 2010. Etapa de aclimatación y crianza de vitroplantas de caña de azúcar en invernáculo. En: L. D. Ploper (ed.) Proyecto Vitroplantas: Producción de caña semilla de alta calidad. Publicación Especial de la EEAOC N°40: 21-26.

Digonzelli, P.; Giardina, J.; Ponce de León, R.; Sanchez Ducca, A.; Fernandez de Ulivarri, J.; Scandaliaris, J. y Romero, E.R. 2010. Producción de caña semilla de alta calidad (Proyecto Vitroplantas): Logros y desafíos. En: L. D. Ploper (ed.) Proyecto Vitroplantas: Producción de caña semilla de alta calidad. Publ. Espec. EEAOC (40): 7-11.

Giardina, J.; Duarte, D.N.; Fajre, S.;Medina, M.; Barceló, F.; Romero, E.R. y Digonzelli, P.A. 2018. Evolución del Proyecto Vitroplantas de la EEAOC. Producción de Caña Semilla de Alta Calidad en Tucumán, periodo 2013-2017. Avance Agroind. 39 (2): 22-27.

Giardina, J.; Digonzelli, P.; Duarte, D.N.; Fajre, S.;Medina, M. y Pérez Alabarce, F. 2022. Producción de caña semilla de alta calidad: Proyecto Vitroplantas. Reporte Agroind. (240). [En línea]. Disponible en http://www.eeaoc.org.ar/ (Consultado el 14 de octubre de 2022).

Noguera, A.S.; Paz, N.V.; Díaz, M.E.; Perera, M.F.; Díaz Romero, C.; García, M.B.; Filippone, M.P.; Welin, B.; Cuenya, M.I.; Digonzelli, P.A. y Castagnaro, A.P. 2015. Production of healthy seed cane in Tucumán, Argentina. International Sugar Journal 112-116.

Pérez Ponce, J.N. 1998. Propagación y mejora genética de plantas por biotecnología. Instituto de Biotecnología de las Plantas, Cuba.

ANÁLISIS DE LA DINÁMICA DE LA COSECHA DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA PROVINCIA DE TUCUMÁNEN EL PERÍODO 2017-2021

Fandos C;Scandaliaris P;Carreras Baldrés J I ySoria F J
Estación Experimental Agroindustrial “Obispo Colombres”
Avenida William Cross 3150, C.C. Nº 9 (T4101XAC), LasTalitas, provincia de Tucumán, Argentina
carminaf@eeaoc.org.ar

Palabras clave: teledetección, SIG, TIG, zafra cañera

Introducción

La época en que se realiza la cosecha de caña de azúcar tiene gran influencia en la producción de azúcar para la cosecha del año, y en el crecimiento y producción del cañaveral del año siguiente. En Tucumán la cosecha debe adaptarse a las condiciones climáticas típicas del área cañera, por la marcada influencia que ejercen en la calidad de la materia prima, en especial al inicio y final de la zafra. Entre los factores a considerar se destaca el volumen y el número de días con lluvia, la humedad relativa ambiente y las temperaturas, especialmente la ocurrencia de heladas. La ausencia de lluvias, baja humedad relativa y temperaturas bajas y sin heladas, resultan las condiciones más adecuadas para un óptimo desarrollo de la zafra (Fernández de Ullivarri*et al.*, 2015).

En la zafra de Tucumán pueden distinguirse cuatro etapas o períodos: inicial, intermedio, final y tardío (Figura 1). El período inicial se desarrolla entre los meses de mayo y junio, y se caracteriza por lluvias y temperaturas decrecientes, humedad relativa elevada y baja probabilidadde heladas. El períodointermedio, el más prolongado, desde julio a mediados de setiembre, se distingue por mínimas lluvias, temperaturas relativamente bajas, humedad relativa en disminución y alta probabilidad de heladas.El período final transcurre entre mediados de setiembre y mediados de octubre, yeltardío, desde fines de octubre en adelante, ambos períodoscaracterizados por el aumento de la temperatura, de las lluvias y de la humedad relativa.

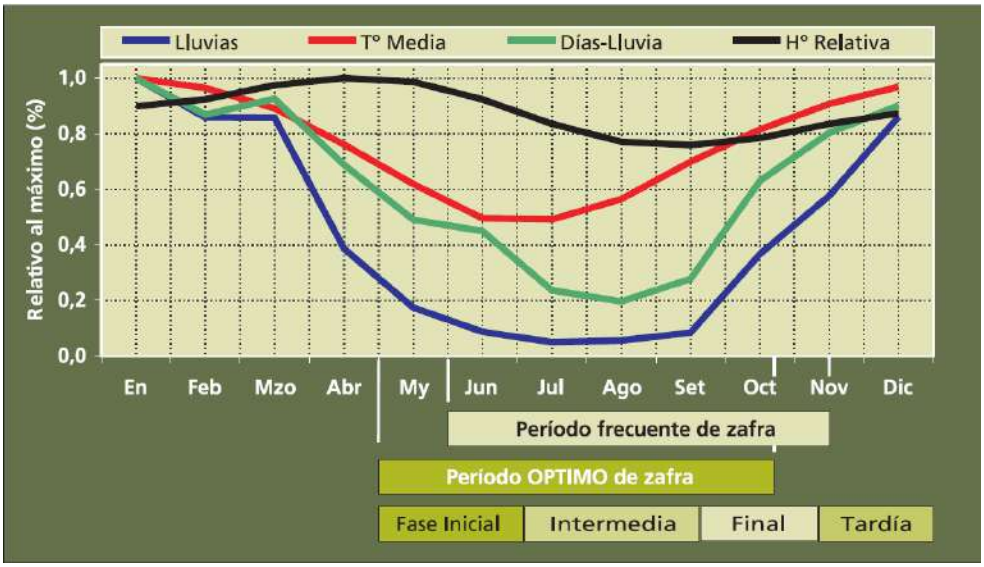


Figura 1: Comportamiento de los principales factores ambientales durante la zafra en Tucumán. Expresados como valores mensuales relativos al máximo. Se indica el período más adecuado y el más frecuente de zafra.

Tomado de Romero *et al.*, 2009

Anticipar el inicio de la zafra permite mejorar la distribución de la molienda y adelantar el fin de zafra;aumentar el tiempo disponible para lograr un manejo cultural oportuno y adecuado; yreducir las pérdidas de azúcar causadas por problemas de deterioro de la materia prima (quema, deshidratación de tallos, heladas), especialmente importantes en las fases final y tardía(Romero *et al.*, 2009).

De allí la importancia de monitorear las fechas en que se lleva a cabo la cosecha para priorizar zonas, de manera de optimizar la recolección según calidad de materia prima yminimizar pérdidas por heladas; también para ajustar las estimaciones de producción y para la adecuada planificación y manejo futuro del cañaveral.

Las tecnologías de información geográfica (TIG), entre ellas la teledetección y los Sistemas de Información Geográfica (SIG), han facilitado el seguimiento de las prácticas agrícolas. Las imágenes satelitales permiten una visión sinóptica de las zonas agrícolas y posibilitan un seguimiento temporal de las fases de desarrollo de los cultivos, en los cuales la dimensión temporal puede resultar clave para la interpretación de imágenes (Chuvieco Salinero, 2002). Como resultado del procesamiento de las imágenes satelitales se obtienen capas de información que pueden ser analizadas mediante la aplicación de técnicas de SIG, posibilitando la detección y análisis de cambios territoriales.

A nivel local, la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres realiza anualmente el monitoreo de la cosecha de caña de azúcar en la provincia de Tucumán aplicando metodologías de teledetección y SIG(Fandos *et al*. 2018, 2019, 2020a, 2020b, 2021).

Los objetivos del presente trabajo fueron analizar la dinámica temporal y espacial de la cosecha de caña de azúcar en la provincia de Tucumán,considerando la serie 2017-2021.

Materiales y métodos

El área de estudio es la región cultivada con caña de azúcar en la provincia de Tucumán (Figura 2), que se concentra principalmente en las regiones de Pedemonte, Llanura deprimida y Llanura chacopampena(Zuccardi y Fadda, 1985).

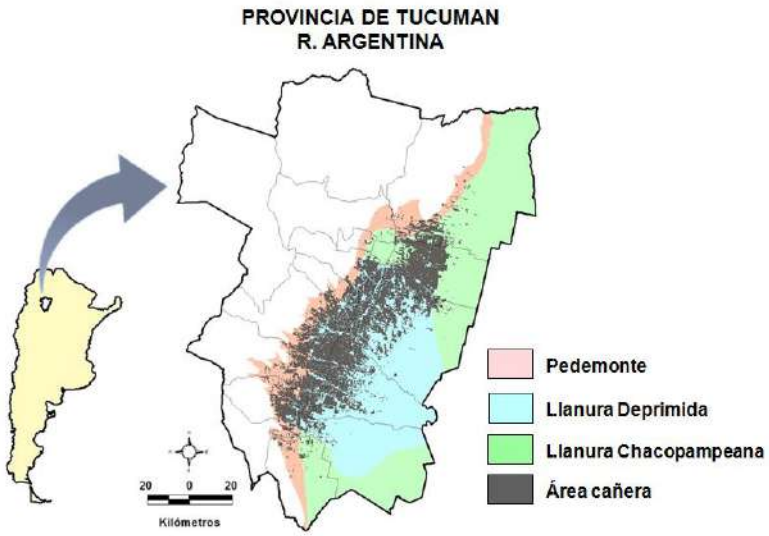


Figura 2. Situación relativa del área de estudio

Las coberturas temáticas utilizadas como base fueron las capas de avance de cosecha de caña de azúcar para Tucumán, obtenidas para los años 2017 a 2021(Fandos *et al*. 2018, 2019, 2020a, 2020b, 2021). Dichas capas temáticas fueron generadas a partir de clasificaciones multiespectrales de imágenes satelitales Landsat 8 OLI y Sentinel 2A y 2B MSI, obtenidos de los sitios https://catalogos.conae.gov.ar/landsat8/ y https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home, respectivamente. Para cada año se analizaron imágenes satelitales que abarcaron la totalidad del ciclo de cultivo de caña de azúcar.

Los softwares utilizados para el trabajo fueron ERDAS Imagine, versión 8.4. y ARC GIS versión 9.0.

Resultados

En la Figura 3se expone la superficie cosechada de caña de azúcar según períodos, en hectáreas y en porcentaje, en la serie 2017-2021; mientras que en la Figura 4 se expone su distribución espacial.

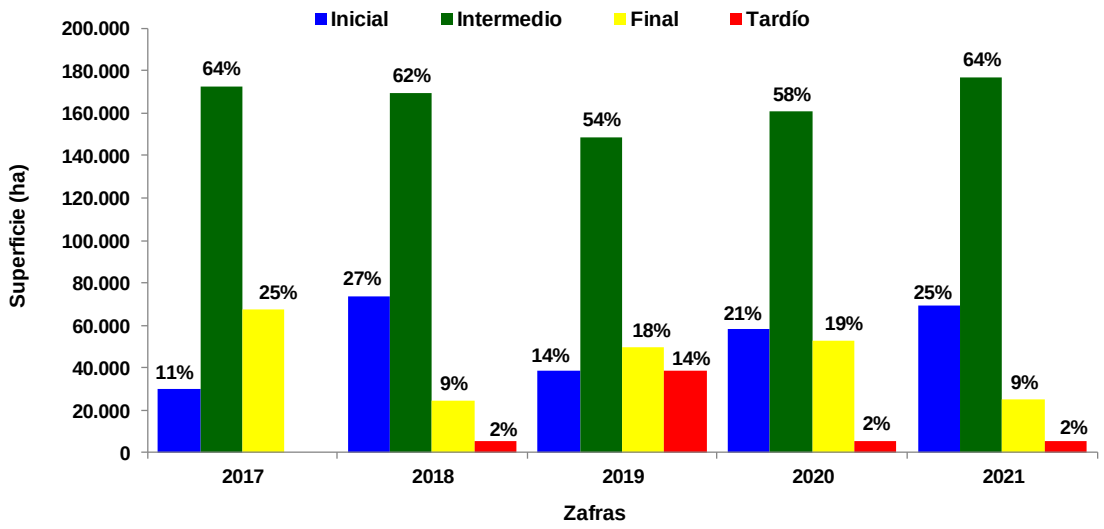


Figura 3: Superficie recolectada según períodos de cosecha, en hectáreas y en porcentaje. Tucumán, zafras cañeras 2017 a 2021.

La zafra 2017 fue la de menor duración, y coincide con la característica de ser la zafra con menor superficie en la serie considerada.

La zafra 2018 evidencia la mayor proporción de cosecha en el período inicial y la extensión hasta el período tardío. Cabe mencionar que en octubre se registraron lluvias de carácter excepcional, lo cual provocó la interrupción de la cosecha durante varios días y determinó la prolongación de la zafra hasta la segunda quincena de noviembre (Fandos *et al*., 2019).

La zafra 2019 presentó la menor proporción de cosecha en el periodo intermedio y la mayor proporción en el tardío. Dicha zafra tuvo un comienzo retrasado debido a las precipitaciones registradas entre marzo y junio, que determinaron falta de piso y dificultad para el ingreso de las máquinas cosechadoras. Las condiciones ambientales a partir de julio fueron en general benignas para el desarrollo de la zafra, sin embargo diversos problemas de funcionamiento de las fábricas azucareras determinaron que la capacidad de molienda no alcanzara su máximo potencial en toda la zafra. Durante noviembre se

registraron intensas lluvias, que provocaron falta de piso para cosecha, lo que determinó el cierre definitivo de la zafra en algunos ingenios, y un retraso de la cosecha en otras fábricas azucareras, prolongando la zafra hasta la primera quincena de diciembre (Fandos *et al*., 2020a).

Con respecto a la zafra 2020, se destaca un aumento en los porcentuales de los periodos inicial, intermedio y tardío, con respecto a la zafra precedente. Las condiciones meteorológicas en dicha campaña, caracterizadas por las bajas precipitaciones en todo el período de cosecha, fueron óptimas para la recolección de los cañaverales, determinando que la zafra se realizara sin interrupciones (Fandos *et al*., 2020b).

En cuanto a la zafra 2021, presenta similitudes con las proporciones en los diferentes períodos de cosecha registrados para la campaña 2018. Cabe mencionar además que las condiciones meteorológicas durante el desarrollo de la zafra fueron óptimas para la recolección de los cañaverales(Fandos *et al*., 2021).

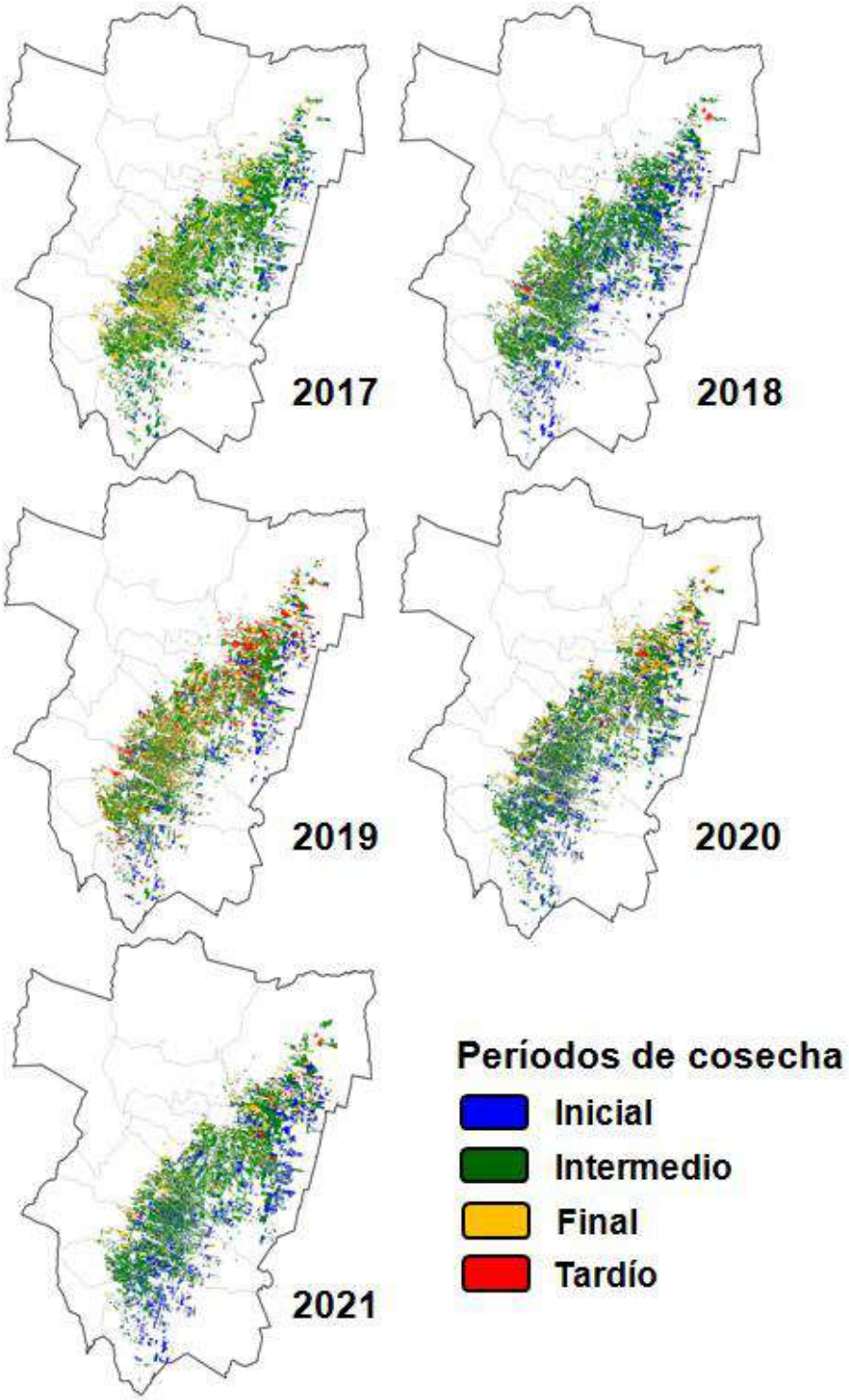


Figura 4: Disposición espacial de períodos de cosecha de caña de azúcar en la serie 2017-2018. Tucumán.

Es importante mencionar que los volúmenes, el número de días con lluvia y la humedad relativa ambiente para un mismo mes decrecen desde el oeste (Pedemonte) al

este de la zona cañera tucumana. Esta última zona tiene una mayor probabilidad de ocurrencia de heladas y de mayor severidad (Fernández de Ullivarri *et al*., 2015). Lo mencionado previamente se corresponde con la distribución espacial de los períodos de cosecha (Figura 4).Se aprecia que en la parte inicial de la zafra, la recolección se focaliza mayormente en los sectores noreste, este y sur del área cañera, situación razonable si se considera que allí se concentran las áreas cañeras con mayor probabilidad de heladas, por lo que es conveniente su recolección de manera anticipada. El período intermedio muestra una distribución homogénea en toda la zona cañera, mientras que en el período final la recolección se concentra principalmente en los sectores norte y oeste del área cañera. Con respecto al período tardío, se aprecia que se concentra mayormente en el sector norte del área cañera, y en algunas campañas, como la 2019, en el sector pedemontano.

Conclusiones

Las condiciones ambientales, la superficie y el volumen de caña cosechados y la funcionalidad de las fábricas azucareras son los factores que influyen en el desarrollo de la zafra y están relacionados directamente con la variabilidad en las épocas de cosecha.

La distribución porcentual de los periodos de cosecha en la provincia de Tucumán evidencia un aprovechamiento inadecuado de los meses iniciales y una acumulación excesiva de la molienda en la etapa intermedia.

La disposición espacial de las épocas de cosecha indica que en la parte inicial de la zafra, la recolección se focaliza mayormente en los sectores oriental y sur del área cañera, estrategia adecuada para anticiparse a los efectos negativos de las heladas; mientras que en la etapa final se centraliza mayormente en los sectores norte y occidental, este último coincidente en gran parte con la zona pedemontana del área cañera, que presenta menor probabilidad de ocurrencia de heladas severas.

Los mapas temáticos generados contribuyen a la planificación operativa de la cosechay a la identificación de los factores que modifican su desarrollo, y sirven de base para análisis posteriores que incluyan otras variables de tipo ambiental, agronómica o económica.

Bibliografía citada

Chuvieco Salinero, E. 2002. Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio. Editorial Ariel S.A. Barcelona. España.

Fandos, C.; J. I. Carreras Baldrés; P. Scandaliaris y F. J. Soria. 2018. Evolución de la cosecha de caña de azúcar en la provincia de Tucumán, Argentina – Zafra 2017. Avance Agroind. 39 (2): 28-31

Fandos, C.; J. I. Carreras Baldrés; P. Scandaliaris; F. J. Soria y E. R. Romero. 2019. Tucuman. Dinamica temporal y espacial de la zafra 2018. Avance Agroind. 40 (3): 42-45

Fandos, C.; P. Scandaliaris; J. I. Carreras Baldrés y F. J. Soria. 2020a. Dinámica de la cosecha de caña de azúcar en Tucumán, zafra 2019. Reporte Agroindustrial EEAOC 178.https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=ra-178-dinamica-de-la-cosecha-de-cana-de-azucar-en-tucuman-zafra-2019 (consultado 21 setiembre 2021).

Fandos, C.; P. Scandaliaris; J. I. Carreras Baldrés y F. J. Soria. 2020b. Dinámica de la cosecha de caña de azúcar en Tucumán, zafra 2020. Reporte Agroindustrial EEAOC 200 https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=ra-200-dinamica-de-la-cosecha-de-cana-de-azucar-en-tucuman-zafra-2020 (consultado 21 setiembre 2021).

Fandos, C.; P. Scandaliaris; J. I. Carreras Baldrés y F. J. Soria. 2021. Dinámica de la cosecha de caña de azúcar en Tucumán, zafra 2021. Reporte Agroindustrial EEAOC 229. https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=dinamica-de-la-cosecha-de-cana-de-azucar-en-tucuman-zafra-2021 (consultado 27 enero 2022).

Fernández de Ulivarri J.; Tonatto M., Romero E. R.; Scandaliaris J.; Leggio Neme F.; Alonso L. G.; Digonzelli P. A. y Pérez Taboada, S. 2015. Capítulo D4: Cosecha de la caña de azúcar. En: Guía técnica del cañero. Digonzelli, P. A., Romero, E. R.; y Scandaliaris J. (eds.). EEAOC.

Romero E. R.; Scandaliaris J.; Digonzelli P. A.; Tonatto M. J.; Fernández de Ulivarri J.; Giardina J. A.; Alonso L. G. P; Casen S. D. y Leggio Neme M. F. 2009. Capítulo 13: Cosecha de la caña de azúcar. En: Manual del cañero. Romero, E. R.; P. A. Digonzelli y J. Scandaliaris (eds.). EEAOC, Tucumán, Argentina. 131-143.

Zuccardi, R. B. y Fadda, G. S. 1985. Bosquejo Agrológico de la Provincia de Tucumán. Miscelánea 86. 63 p. Facultad de Agronomía y Zootecnia de la U.N.T. Tucumán. Argentina.

DETERMINACIÓN DE PERDIDAS DE MATERIA PRIMA POR EXTRACTOR PRIMARIO A TRAVÉS DEL METODO DE BALANCE DE MASAS

Fernández de Ullivarri, J.; Tonatto, M.J.; Criado, A.;Leggio Neme, M.F. y Romero, E.R.
Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) - Av. Williams Cross 3150, Las Talitas (4101), Tucumán; Argentina; jullivarri@eeaoc.org.ar

Palabras clave: cosecha, caña verde, trash

Introducción

La cosecha mecánica de caña de azúcar es la operación que va a determinar el éxito de lo realizado durante el ciclo de cultivo. Una cosecha deficiente y sin un control adecuado puede llevar a excesivas pérdidas de materia prima, mayor cantidad de materia extraña y daños en las cepas que pueden llegar a comprometer la longevidad del cañaveral.

Un gran desafío para el sector cañero representa encontrar un equilibrio para cada una de las condiciones de cosecha, según el estado del cañaveral y las condiciones ambientales. Este equilibrio debería permitir minimizar las pérdidas, mantener la calidad de cosecha con los menores costos posibles (Sandell y Agnew, 2002)

En los últimos años, en diversas regiones cañeras del mundo y en la provincia de Tucumán, se observa una tendencia a un acortamiento del troceado y una excesiva velocidad del extractor primario. Esto lleva a un menor costo de transporte, elevando la densidad de carga y disminuyendo la materia extraña que llega al ingenio (dos aspectos de fácil comprobación), sin embargo, estas dos operaciones tienen como consecuencia un aumento importante de las pérdidas de materia prima que queda en el campo, lo que es difícil de observar sin las mediciones adecuadas. Numerosas investigaciones demostraron que el aumento significativo de la velocidad del extractor primario deriva en grandes de pérdidas de caña con poca mejora en los niveles de materia extraña (Whiteing*et al*. 2016). Por otro lado, en los últimos años, se ha incrementado el diámetro de los extractores y se diseñaron paletas con diseños más eficientes que hacen que, lo que antes se consideraban velocidades moderadas, en los diseños actuales producen grande pérdidas de materia prima (Sandell y Agnew, 2002)

El objetivo de este trabajo fue cuantificar mediante el método de “Balance de masas” las pérdidas de caña de azúcar relacionadas a la velocidad del extractor primario en un campo cosechado en verde

Materiales y Métodos

El ensayo se llevó a cabo el 6 de octubre de 2022 en un campo comercial del departamento Chicligasta, al sur de la provincia de Tucumán. La variedad cosechada fue LCP 85-384, de buena producción cultural y erecta. Este campo fue cosechado por el Frente Nº3 del Ingenio La Trinidad que contaba con dos cosechadoras Case IH A8010 modelos 2021 y 2022.

El método utilizado para evaluar las perdidas es un método indirecto denominado "Balance de masas", en el cual se utilizan dos cosechadoras con diferentes configuraciones de velocidad de extractor para determinar las pérdidas. Generalmente las configuraciones son una cosechadora con velocidad baja o incluso con los extractores apagados, y otra cosechadora con velocidad alta. La diferencia entre el rendimiento de caña cosechado por estas dos cosechadoras son las pérdidas producidas por el extractor, ya que los otros parámetros permanecen iguales en ambas cosechadoras. Este método se utilizó, entre otros lugares, en Australia (Whiteing et al, 2001, Whiteing*et al*. 2016, Estados Unidos (Viator, *et al*. 2007 y Ecuador (Palomeque*et al*. 2013)

Los tratamientos evaluados fueron a) cosecha en verde con la cosechadora modelo 2021 regulada con un extractor a 800 RPM (C800) y b) cosecha en verde con una cosechadora modelo 2022 regulada con extractor a 1100 RPM (C1100). Ambas cosechadoras cargaban directamente al camión y tanto el semirremolque como el acoplado de cada camión eran cargados con la misma cosechadora. Ambas cosechadora trabajaban a la par, de forma de minimizar la variabilidad del lote.

De cada camión cargado se registraron los metros recorridos por la cosechadora para cargarlo totalmente y posteriormente se extrajeron tres muestras de entre 10 y 15 kilos para analizar contenido de materia extraña y largo de troceado. Cada máquina cargó 2 camiones completos y el peso de caña bruta transportada por cada camión fue suministrado por el ingenio.

El rendimiento del cañaveral bruto se obtuvo de dividir los kilos cargados en el camión por la distancia recorrida para cargarlo. El rendimiento neto se obtuvo restándole al rendimiento bruto el porcentaje de materia extraña obtenido de las muestras de cada camión.

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos para los cuatro camiones evaluados se observan en la tabla 1

Tabla 1: Parámetros medidos en cada camión evaluado

	RPM De la extractor primario	**Metros cosechados Para llenar el camión**	**Materia Extraña (despunte)**	**Materia Extraña (hojas)**	**Largo del troceado**	**Peso caña bruto medido en balanza**
Camión 1	800	3086	10,6	3,6	163	40700
Camión 2	800	2885	9,27	5,55	160	41120
Camión 3	1100	4425	10,37	1,43	143	47820
Camión 4	1100	3940	9,9	2,09	153	42240

La caña cosechada con el tratamiento C800 cargó 1318 kg de caña bruta en el camión 1 cada 100 metros de surco, de los cuales, 47,5 kg eran de hojas, 132,7 kg de despunte y 1138,7 de caña neta (Figura 1). En el camión 2 se cargaron 1425,3 kilos de caña bruta, compuesta por 79,1 kilos de hojas, 132,1 de despunte y 1214,1 de caña neta. El promedio de los dos camiones cargados con esta cosechadora es de 1176,4 kilos netos de caña por surco de 100 metros, lo que equivale 73,5 toneladas/ha (con 62,5 surcos/ha)

El camión 3 cargado con la cosechadora cuyo extractor giraba a 1100 RPM cargó 1080,7 kilos de caña bruta en 100 metros de surco, compuesta por 15,5 kilos de hojas, 112,1 kilos de despunte y 953,2 kilos de caña neta. El camión 4 cargado con la misma cosechadora llevó al ingenio 1072,1 kilos de caña bruta cada 100 metros cosechados, de los cuales, 22,4 kilos eran de hojas, 106,1 kilos de despuntes y 943,5 de caña neta. Entre ambos camiones promediaron 948,3 kilos de caña neta, equivalentes a 59,3 t/ha.

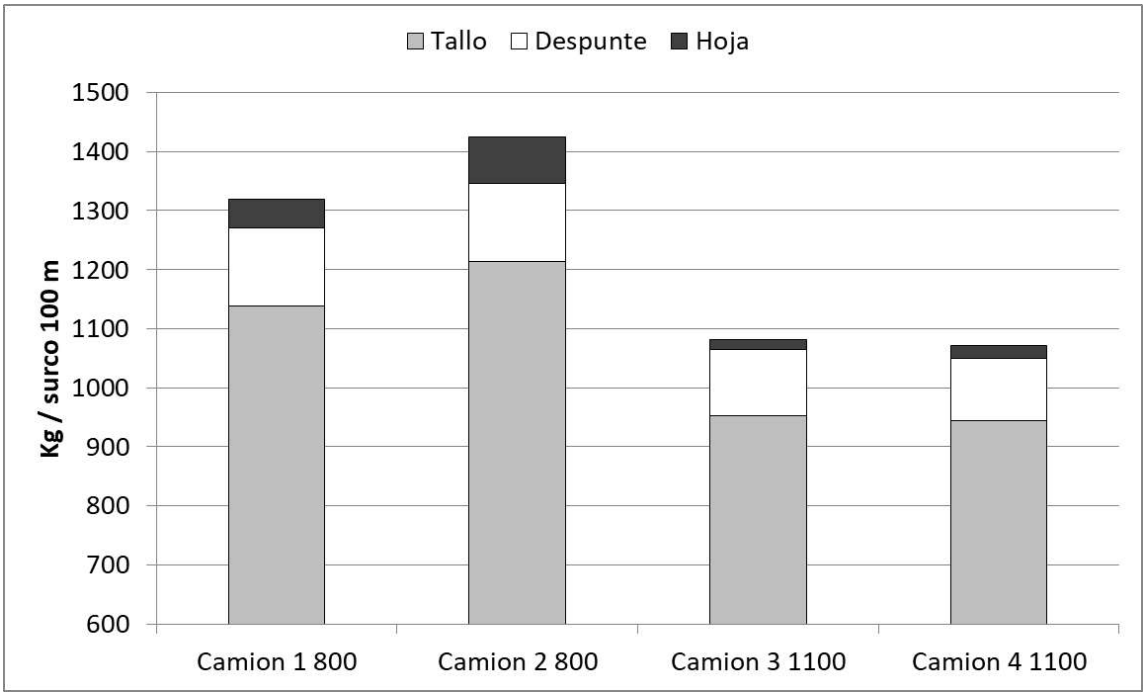


Figura 1: Composición de la caña bruta cargada en cada camión con las distintas configuraciones de las cosechadoras.

La diferencia entre ambos tratamientos fue de 228 kg/surco de 100 metros de caña neta o 14,3 t/ha, lo que equivale a un 19,4 % menos de caña neta cargada en el tratamiento C1100.

Respecto a la cantidad de hojas llevadas al ingenio, en el tratamiento C800 se llevaron en promedio, 3,96 toneladas/ha de hojas, mientras que en el tratamiento C1100 la cantidad de hojas fue de 1,18 t/ha, por lo que al aumentar la velocidad del extractor primario de 800 a 1100 RPM se limpiaron 2,77 toneladas de hoja por hectárea, bajando el trash correspondiente a las hojas de 4,6 % a 1,8 %. (Figura 2)Este componente de la materia extraña total es el más influenciado por el aumento de la velocidad del extractor.

El despunte, al tener una forma similar a la de una tallo, fue menos influenciado por la velocidad del extractor, sin embargo en el tratamiento C800 se cargaron 8,28 toneladas/ha de despunte mientras que en el tratamiento C1100 se cargaron 6,82 t/ha, lo que en porcentaje fue de 9,7 %para C800 y 10,1% para C1100.

Figura 2: Diferencia de materia extraña entre los dos tratamientos evaluados.

Finalmente se obtiene quela materia extraña total para C800 fue 14,2 % y para C1100 fue 11,9 %, por lo que al subir la velocidad de giro del extractor se logró bajar un 2,3 % la materia extraña. Relacionándolo con las pérdidas de caña neta se obtiene que por cada punto de materia extraña que se disminuye, se pierde 8,3 % de caña neta. Esto equivale a decir que por cada 100 kilos de materia extraña que se logra eliminar, se pierden 340 kilos de caña neta.

En Estados Unidos, Viator*et al*. 2007 determinaron una reducción en el rendimiento cultural de 15 % cuando el extractor primario giraba a 1050 RPM respecto a velocidades de 850 y 650 RPM.

Resultados similares a los obtenidos en este ensayo se lograron en el Ingenio San Carlos de Ecuador, donde Palomeque*et al*. 2013 encontraron, cosechando en caña verde, una diferencia de 17 % a favor de un tratamiento con extractor primario a 650 RPM respecto de un tratamiento con extractor primario a 1200 RPM. Estas pérdidas equivalen a 15 toneladas por hectárea, por lo que reportan que el despunte no fue influenciado por la velocidad de extractor primario y que las hojas se redujeron hasta un 12 % con la mayor velocidad del extractor.

En Australia Whiteing et al. 2001 encontraron pérdidas de 22,1 t/ha al pasar de una velocidad de 1000 RPM a 1400 RPM en ensayos realizados con cosechadoras Cameco CH2500 y Austoft 7000. En esta serie de ensayos, subiendo la velocidad del extractor, solo lograron disminuir de 10,8 a 8,0 el porcentaje de materia extraña, por lo que cada punto porcentual de disminución de materia extraña se perdían 11 t/ha de caña neta.

Whiteing*et al*. 2016 muestran que al pasar de una configuración del extractor primario de 1150 RPM a una configuración de 880 RPM, el rendimiento obtenido por hectárea se incrementa de 80 a 88 t/ha.

Conclusiones

Al aumentar la velocidad de giro del extractor primario se pierde gran cantidad de materia prima que resulta muy difícil de ver a simple vista. En este ensayo en particular se perdió el 19,4 % de la caña neta al incrementar la velocidad del extractor de 800 a 1100 RPM, logrando con ese aumento de velocidad disminuir solamente el 2,3 % de la materia extraña.

Con mayor cantidad de ensayos de este tipo, sumando determinaciones de recuperación de azúcar en fábrica con diferentes porcentajes de materia extraña, se podrá en un futuro encontrar el equilibrio entre pérdidas de materia prima y materia extraña llevada al ingenio que permita la máxima recuperación de azúcar en distintas situaciones de cosecha.

Agradecimientos

AlIng. Esteban Brito de la empresa Balcanes S.A. y al Ing. Jorge Saavedra del Ingenio La Trinidad por proporcionarnos los medios y la información para poder realizar los ensayos.

Bibliografía

- Palomeque, D.; Nuñez, O.; Cruz, R. y Spaans, E. 2013. Optimizar la operación de las cosechadoras de caña para armonizar las pérdidas invisibles con el contenido de materia extraña. En III Congreso AETA. Guayaquil - Ecuador.
- Sandell, G.; Agnew, J. 2002. HarvestingBestPractice Manual. BSES: Indooroopilly
- Viator, R. P.; Richard, E, P.;Viator, B. J.; Jackson, W.;Waugespack, H. L. andBirkett, H. S. 2007. Sugarcane chopper harvester extractor fan and groundspeedeffectsonsugaryield, canequality and fieldlosses. AppliedEngineering in Agriculture 23: 31-34.
- Whiteing, C.; Norris, C. P.; Paton, D. C. 2001. Extraneousmatter versus caneloss: finding a balance in chopper harvesteredgreencane. In International Society of SugarCaneTechnologists. Proceedings of the XXIV Congress, Brisbane, Australia, 17-21 September 2001. Volume 2 (pp. 276-282). AustralianSociety of SugarCaneTechnologists.
- Whiteing, C.; Giddy, L.; Norris, C. P. 2016. A cane-lossmeasuringsystemfor machine-harvestedsugarcane. In Proceedings of the International Society of SugarCaneTechnologists Vol. 29, pp. 959-967.

ESTUDIOS PRELIMINARES DE LOS EFECTOS DEL RAC DE CAÑA DE AZÚCAR SOBRE EL CARBONO PARTICULADO Y LA ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DEL SUELO

Fernández de Ullivarri, J.; Torres Leal, F.; Criado, A.; Romero, J.I.; Arroyo, E.; Sanzano, G. A. y Digonzelli, P.A.
Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) - Av. Williams Cross 3150, Las Talitas (4101), Tucumán; Argentina; jullivarri@eeaoc.org.ar

Palabras Clave: caña verde, sustentabilidad, quema

Introducción

La implementación de sistemas productivos sustentables y amigables con el medio ambiente es una temática de importancia global. En el cultivo de caña de azúcar, la sustentabilidad del sistema está asociada a la eliminación de la quema, tanto de caña en

pie como de los residuos que quedan en el campo después de la cosecha en verde. Cosechar los cañaverales en verde (sin quema), permite que se deposite sobre la superficie del suelo una importante cantidad de hojas verdes, secas y despunte denominados, Residuo Agrícola de Cosecha (RAC). Mantener la cobertura de RAC sobre el suelo, en aquellas zonas del área cañera donde es técnicamente viable, resulta altamente recomendable con vistas a la sustentabilidad del sistema productivo.Entre los principales beneficios de mantener la cobertura con RAC se pueden mencionar: conservación de la humedad edáfica por disminución de la evaporación, aporte de materia orgánica al suelo, control de la erosión hídrica y eólica, mejora de la infiltración del agua, reciclado de nutrientes, control de algunas malezas y de algunos insectos, incremento de la población de microorganismos benéficos,etc.Dejar la cobertura de RAC aporta al agroecosistema cantidades variables de Carbono, Nitrógeno, Fósforo y Potasio (Digonzelli*et al*., 2011a y Digonzelli*et al*., 2016), sin embargo, aunque es evidente que el sistema de cosecha en verde con el posterior mantenimiento de la cobertura de RAC sobre la superficie es una forma efectiva de contrarrestar la pérdida de materia orgánica, estos efectos suelen verse a muy largo plazo (incluso mayores a 50 años) (Graham *et al*., 2002 y Cerri*et al*., 2011). Por otra parte, el carbono orgánico particulado (COPa), que es fracción del carbono orgánico total, que por su tamaño se encuentra comprendida entre 2 mm y 53 µm,puede ser un indicador más rápido de cambios en el manejo del suelo.Esta fracción tiene como característica principal, que responde rápidamente a variaciones en el suministro de materia orgánica y podría servir para detectar tempranamente cambios en el carbono total (COT) del suelo (Gregorich*et al*., 1994).

Otro indicador que se encuentra muy asociado a la cantidad de carbono orgánico del suelo es la estabilidad estructural. Esta es una medida de la resistencia de los agregados del suelo a la ruptura cuando son sometidos a procesos potencialmente destructivos y en general se aprecia una mejor estabilidad estructural a mayores contenidos de carbono orgánico o materia orgánica (Sanzano*et al*., 2005; Gudelj y Masiero, 2000). Cuando un suelo bajo vegetación natural se introduce al cultivo de caña de azúcar, tanto la estabilidad estructural como el COT disminuyen (Blair, 2000; Silva *et al*., 2007), por lo que la cosecha de caña en verde y su posterior cobertura del suelo con residuos podría servir para revertir en parte esta degradación inicial. Por lo tanto, el COPa y la estabilidad estructural podrían llegar a ser buenos indicadores de la recuperación de la fertilidad física del suelo cuando se pasa de un sistema de quema a un sistema de cobertura de RAC sobre la superficie del suelo en el corto a mediano plazo.

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del RAC de caña de azúcar, mantenido como cobertura sobre la superficie del suelo, sobre carbono orgánico total, el carbono particulado y la estabilidad estructural del suelo.

Materiales y métodos

El ensayo se realizó en la finca El Potrero, propiedad de la empresa BulacioArgenti S.A, que se encuentra ubicada en el departamento Simoca, región de la Llanura Deprimida Salina, Tucumán, Argentina.

Los tratamientos que se establecieron después de la cosecha en verde fueron: a) cosecha sin quema y eliminación del RAC mediante quema (SR); b) cosecha sin quema y mantenimiento del RAC sobre la superficie del suelo (CR).

Previo a la plantación del ensayo, tanto el RAC como la caña en esta finca se quemaban todos los años, de manera que a partir de la implantación del ensayo se generó

uncambioen el manejo del residuo. El manejo agronómicofueconvencional, seutilizaronherbicidas de post-emergencia, se fertilizó con nitrógeno entre octubre y noviembre y no seaplicó riego suplementario. El Ensayo fue implantado en 2011 y las evaluaciones de mostradas en este trabajo fueron realizadas durante los años 2019 y 2020.

Se empleó un diseño experimental completamente aleatorizado con tres repeticiones. Las parcelas experimentales estuvieron formadas por cinco surcos de 10 metros de longitud ylasevaluacionesse realizaron en los tres surcos centrales de cada parcela. El diseño de plantación del lote experimental fue surcos de base ancha distanciados a 1,60 m. En cada parcela evaluada se tomaron ocho sub-muestras de suelo con barreno sacabocados en la costilla del surco. Las profundidades de muestreo fueron: 0 a 5 cm y 5 a 10 cm, se evaluóCarbono Orgánico Total (COT), Carbono Orgánico Particulado (COPa) y Carbono Orgánico Pesado (COPe). Las muestras fueron llevadas a laboratorio, secadas al aire y tamizadas por malla de 2 mm. Sobre las mismas se determinó carbono orgánico (CO) por Walkey Black (Nelson y Sommers, 1982). A su vez, se tomaron 50 gr de cada una de las muestras, y siguiendo el procedimiento descripto por Cambardella y Elliot (1992), se procedió al fraccionamiento por tamaño de partícula, recuperándose la fracción < a 53 µm(COPe). El carbono orgánico particulado (COPa) se determinó por diferencia entre los contenidos de CO y COPe.Por otro lado, se extrajeron dos muestras no perturbadas de suelo de cada parcela que posteriormente fueron llevadas y procesadas en el laboratorio de la Cátedra de Edafología de la FAZ mediante el método de Leenheer& De Boodt para determinación del Índice de Estabilidad Estructural mediante tamizado en seco y en húmedo. El procesamiento de los datos se efectuó con el paquete estadísticoInfoStat(DiRienzo*etal*.,2020).La comparación de medias de las variables estudiadas se realizó mediante la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad.

Resultados y discusión

En la Tabla 1 se observan los valores, expresados en porcentaje, de carbono orgánico total, carbono orgánico pesado y carbono orgánico particulado, en las dos profundidades de suelo (surco).

Tabla 1.Valores de carbono orgánico total (COT), carbono orgánico pesado (COPe) y carbono orgánico particulado (COPa) expresados en % (porcentaje) para la profundidad de 0 a 5 cm y de 5 a 10 cm, en los dos tratamientos. Ciclo 2019-2020, Tucumán – Argentina.

Profundidad	Tratamiento	COT	COPe	COPa
0 a 5 cm	SR	1,12 a	0,69 a	0,43 a
	CR	1,35 a	0,66 a	0,69 a
5 a 10 cm	SR	0,93 a	0,65 a	0,22 b
	CR	1,04 a	0,52 a	0,52 a

SR: RAC eliminado mediante quema; CR: mantenimiento del RAC sobre la superficie del suelo. Medias con letras distintas en una misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

Al analizar los valores presentados en la tabla 1, se puede observar que para COT y COPe no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos en ninguna de las

profundidades estudiadas dentro del surco. En el caso del COPa, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos a la profundidad de 0 a 5 cm, pero si se encontró una diferencia estadísticamente significativa en la profundidad de 5 a 10 cm donde el tratamiento CR mostró mayor porcentaje de carbono orgánico particulado.

Para COT y COPa, se observó una tendencia a mayor contenido de estos dos tipos de carbono en el tratamiento CR. Para el caso del COPe, ocurrió lo contrario observándose un mayor contenido de este carbono en el tratamiento SR.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Fernández de Ullivarri*et al.* (2018) en ensayos realizados en Tucumán, quienes no encontraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, aunque observaron una tendencia a un mayor contenido de carbono en los suelos en donde se dejó la cobertura de RAC sobre la superficie del suelo.

En Sudáfrica, Graham *et al*. (2002) encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos con RAC quemado y RAC dejado como cobertura, en ensayos de largo plazo (61 años), donde se demostró que los tratamientos bajo cobertura de RAC presentaban mayores contenidos de COT. Por otro lado, Galdos*et al.* (2009) encontraron, en Brasil, diferencias en el carbono orgánico particulado en lotes quemados y sin quemar. Los tratamientos sin quemar mostraron mayores valores de COPa, diferencia que se fue acrecentando a medida que pasaban los años en que se mantenía la cobertura de RAC.

Analizando el carbono particulado en caña de azúcar; Page *et al*. (2013) no encontraron diferencias significativas entre los tratamientos para ninguna de las profundidades analizadas en cuatro ensayos diferentes realizados en Sudáfrica. Trabajando en Brasil, Silva *et al*. (2007) encontraron que cuando un monte nativo se introducía a la agricultura de caña de azúcar disminuían los valores de carbono orgánico particulado en un 42%. Sin embargo, luego de 18 y 25 años de cultivo de caña (quemada todos los años, pero con aportes de vinaza y cachaza), hubo una cierta recuperación de estas fracciones, estableciéndose en valores de 18 y 20 % menores que en el boque nativo, sugiriendo que después de una abrupta caída en los valores de COPa por la introducción a la agricultura, se encuentra un equilibrio algo por debajo del valor de un bosque nativo.

En la Figura 1 se muestran los resultados obtenidos para el Índice de Estabilidad Estructural en los tratamientos SR y CR.

No se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre ambos tratamientos. El índice de estabilidad estructural (IDE) promedio para el tratamiento SR fue de 1,21 mientras que en el tratamiento CR fue de 1,23.

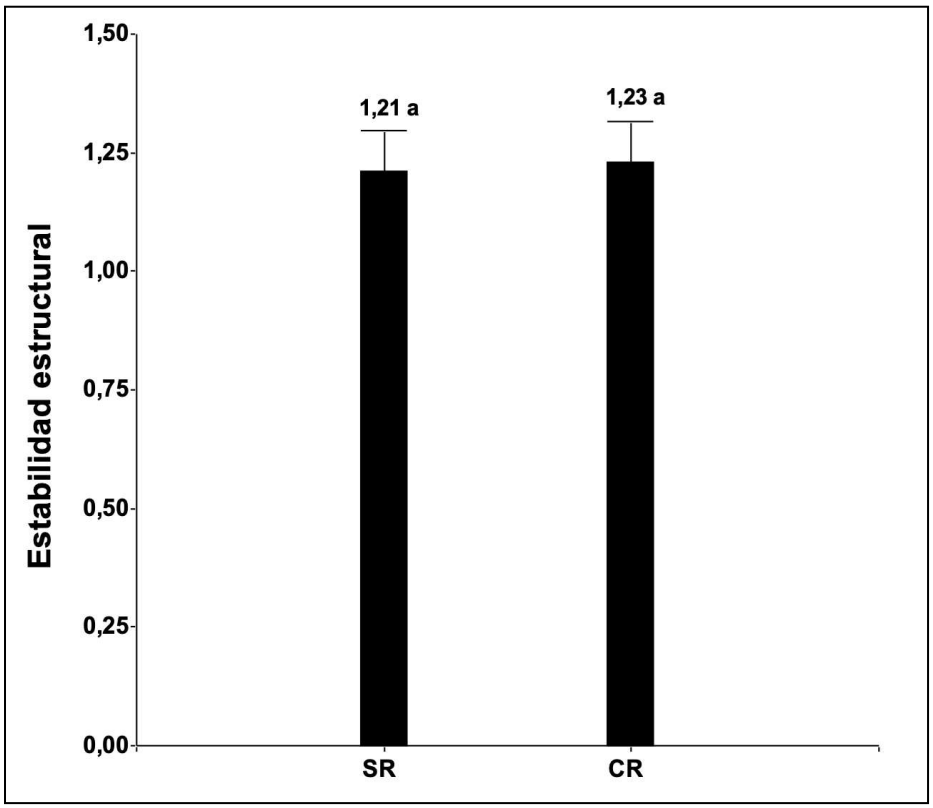


Figura 1. Índice de Estabilidad Estructural en tratamiento SR y CR. Tucumán, Argentina, 2019-2020.

En este sentido, Mthimkhulu*et al*. (2016) no encontraron diferencias de COT y estabilidad estructural comparando parcelas quemadas y parcelas con cobertura en Sudáfrica. Similares resultados reportaron Torres *et al*. (2013) en Brasil, donde no pudieron encontrar diferencias significativas en estabilidad estructural del suelo en tratamientos quemados y con "mulching" de RAC. Sin embargo, y contrariamente a lo que se encontró en este trabajo, Graham *et al*. (2002)

sí encontraron diferencias entre tratamientos de caña quemada y caña con cobertura en la estabilidad de los agregados, obteniendo agregados más estables en los tratamientos con mayor porcentaje de cobertura. En este ensayo realizado en Sudáfrica se mantienen los mismos tratamientos con y sin cobertura desde 1939, por lo que los resultados observados por Graham son de largo plazo.

Conclusiones

El carbono orgánico particulado es una fracción más sensible a los cambios en el manejo de la cobertura del suelo y podría ser un buen indicador de la calidad del suelo y de cómo los distintos manejos de la cobertura afectan el contenido de carbono. El número de repeticiones y la cantidad de muestras evaluadas resultan fundamentales para obtener resultados más confiables para este tipo de análisis.

En este ensayo no se observaron diferencias significativas entre tratamientos para Carbono Orgánico Total, sin embargo en las dos profundidades se observó una tendencia a un mayor contenido de COT en el tratamiento CR.

El Carbono Particulado mostró diferenciassignificativas a favor del tratamiento CR en la profundidad de 5-10 cm. En la profundidad de 0 a 5 cm si bien no se encontraron diferencias significativas, seobservó la misma tendencia que en el COT, con mayores valores en el tratamiento CR.

La estabilidad estructural puede llegar a ser un buen indicador del manejo del suelo, aunque es posible que sean necesarioensayos de mediana y largaduración para encontrardiferencias significativas entre tratamientos.

Bibliografía

- Blair, N. 2002. Impact of cultivation and sugarcane green trash management on carbon fractions and aggregate stability for a Chromic Luvisol in Queensland, Australia. Soil and Tillage Research 55: 183-191.
- Cambardella, C. A.; Elliott, E. T. 1992. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. Soil Sci. Soc. Am. J. 56: 777-783.
- Cerri, C.C.; Galdos, M.V.; Maia, S.M.F.; Bernoux, M.; Feigl, B.F.; Powlson, D.; Cerri. C.E.P. 2011. Effect of sugarcane harvesting systems on soil carbon stocks in Brazil: an examination of existing data. EuropeanJournal of SoilScience 62: 23-28.
- Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; Gonzalez, L; Tablada, M.; Robledo, C.W. 2020. InfoStat versión 2020. Grupo InfoStat, FCA. [En línea]. Disponible en http://www.infostat.com.ar (consultado 1 enero 2020) Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Digonzelli, P. A; Romero, E.R.; Alonso, L.; Fernández de Ullivarri, J.; Rojas Quinteros, H.; Scandaliaris, J.; Fajre, S. 2011. Assessing a sustainable sugarcane production system in Tucumán, Argentina. Part 1: Dynamics of sugarcane harvest residue (trash) decomposition. Rev. Ind. yAgríc. de Tucumán (RIAT) 88 (1): 1-12
- Digonzelli, P. A.; Fernandez de Ullivarri, J.; Tortora, M.L.; Medina, M.M.; Leggio Neme, M.F.. 2016. Evaluación de la descomposición del residuo de la cosecha en verde de la caña de azúcar (RAC) en Tucumán, Argentina. En: 10º Congreso ATALAC (Asociación de Técnicos Azucareros de Latinoamérica y el Caribe), Veracruz, México
- Fernández de Ullivarri, J.; Corbella, R. D.; Plascencia, A.; Medina, M.; Criado, A.; Digonzelli P. A. 2018. Estudios preliminares de diferentes formas de carbono en el cultivo de caña de azúcar en Tucumán. XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 15-18 Mayo de 2018. San Miguel de Tucumán, Argentina.
- Galdos, M. V.; C. C. Cerri; R. Lal; M. Bernoux; B. J. Feigl and C. E. P. Cerri. 2010. Net greenhouse gas fluxes in Brazilianethanolproductionsystems. Global Change Biology.Bioenergy 2: 37- 44.
- Graham, M. H.; Haynes, R.J.; Meyer, J.H.. 2002. Changes in soil chemistry and aggregate stability induced by fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. European Journal of Soil Science 53: 589–598.
Gregorich, E. G.; Carter, M. R.; Angers, D. A.; Monreal, C.; Ellert, B. H. 1994.Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils.Canadian journal of soilscience, 74(4), 367-385.
- Gudelj, O.; Masiero, B. 2000. Efecto del manejo del suelo sobre su estabilidad estructural. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina, 11-14 de abril de 2000.
- Mthimkhulu, S.; Podwojewski, P.; Hughes, J.; Titshall, L.; Van Antwerpen, R. 2016. The effect of 72 years of sugarcane residues and fertilizer management on soil physico-chemical properties. Agriculture, Ecosystems and Environment 225: 42-61.
- Nelson, D. W.; Sommers, L. E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. En: AL Page, RH Miller & DR Keeney. Methods of soil analysis. Part 2 Chemical and Microbiological Properties, pp: 539-579.
- Page, K. L.; Bell M.; Dalal, R. C. 2013. Changes in total soil organic carbon stocks and carbon fractions in sugarcane systems as affected by tillage and trash management in Queensland, Australia. SoilResearch 51: 608-614.
- Sanzano, G. A.; Corbella, R. D.; García, J. R.; Fadda, G. S. 2005. Degradación física y química de un haplustol típico bajo distintos sistemas de manejo de suelo. Cátedra de Edafología- Facultad de Agronomía y Zootecnia, Universidad Nacional de Tucumán.
- Silva, A.J.N.; Ribeiro, M.R.; Carvalho, F. G.; Silva, V.N.; Silva L. E. S. F. 2007. Impact of sugarcane cultivation on soil carbon fractions, consistence limists and aggregate stability of yellow latosol in northeast Brazil. Soil & Tillage Research 94: 420-424.

- Torres, J.L.R.; Pereira, M.G.; Cunha, M.D.A.; Martins, M.E.; Viera, D.D.S. 2013. Physicochemical properties of soil and biomass in sugarcane harvesting systems.Revista de CienciasAgrarias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, 56 (4): 311-318.

ESTUDIO DEL EFECTO DE LAS VARIABLES AMBIENTALES SOBRE LA PRESENCIA DE *PUCCINIA MELANOCEPHALA* EN SANTA ANA, RÍO CHICO, TUCUMÁN, ARGENTINA

Funes C.[1]; Bertani R. P.[1]; Medina P.[2]; Lobo J. A.[1]; González V.[1] y Ostengo, S.[2].

[1]Sección Fitopatología, [2]Sección Mejoramiento - Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). Av. William Cross 3150, C.P. T4101XAC, Las Talitas, Tucumán, R. Argentina. claudiafunes@eeaoc.org.ar.

Palabras clave: caña de azúcar, uredosporas, horas de mojado foliar

Introducción

La roya marrón, cuyo agente causal es *Puccinia melanocephala* H. & P. Sydow, es una de las principales enfermedades reportada en numerosas áreas cañeras del mundo, entre las que se encuentra la Argentina (Funes *et al*., 2016).

En la actualidad, la roya marrón es la enfermedad con mayor prevalencia en los cañaverales de Tucumán, lo que se explica, en parte, por la elevada superficie que ocupa en la provincia la variedad susceptible LCP 85-384 (aproximadamente un 68% del área cañera) (Aybar Guchea *et al*., 2020).

Todos los años esta patología se presenta en Tucumán con distinta intensidad durante el ciclo del cultivo, comenzando a observarse los primeros síntomas en diciembre – enero, alcanzando un pico hacia finales del verano y principios de otoño (mediados de febrero a abril) (Funes *et al*., 2016).

Puccinia melanocephala es un patógeno altamente infeccioso por su capacidad de diseminarse fácilmente, produciendo varias generaciones en un ciclo del cultivo. Entre las variables asociadas con la severidad de la enfermedad, se encuentran la resistencia del hospedante, la virulencia del patógeno, la edad de la planta, las condiciones climáticas, la nutrición vegetal y las condiciones del suelo (Barrera *et al*., 2012).

Entre las principales variables ambientales que determinarían la severidad final de la enfermedad en cada ciclo se encuentran: la humedad de la hoja (más de 8 horas de mojado), la temperatura (de 17ºC a 23ºC) y la humedad relativa ambiente (superior al 80%), junto con la ausencia de heladas en el invierno precedente a la campaña, que favorecería la supervivencia del inóculo inicial (Barrera, 2010). El agua que se origina por el rocío constituye la fuente más importante de humedad durante las epidemias (Barrera *et al*., 2012). La lluvia podría tener un efecto perjudicial al lavar las uredosporas del patógeno de la superficie de la hoja (Barrera, 2010).

El objetivo de este trabajo fue analizar el efecto de las principales variables ambientales sobre la presencia de uredosporas de roya marrón, en la localidad de Santa Ana, Río Chico, Tucumán.

Materiales y métodos

Para cuantificar la presencia de uredosporas de roya marrón, se colocó una trampa pasiva de esporas en parcelas de caña de azúcar con variedades altamente susceptibles a roya marrón, en la subestación experimental Santa Ana (EEAOC), ubicada en Santa Ana, Río Chico, Tucumán.

La trampa contiene un conducto, a través del cual circula el aire, en cuyo interior se coloca un portaobjeto (12 cm^2) cubierto con glicerina. Además, posee una veleta que le permite moverse según la dirección del viento (Figura 1). Las uredosporas son colectadas cuando impactan sobre el portaobjeto.

Figura 1. Detalle de la trampa pasiva de uredosporas instalada en Santa Ana, Río Chico, Tucumán.

La lectura del nº de uredosporas/cm^2 se realizó cada 7-10 días aproximadamente, comenzando en enero, desde el 2018 al 2022. Entre cada lectura se realizó el cambio de portaobjetos, que se trasladaban al laboratorio de la Sección Fitopatología de la EEAOC para su evaluación.

Para la determinación del nº de uredosporas/cm^2 se realizaron 5 lecturas del nº de esporas en 1 cm^2, mediante el empleo de un microscopio óptico (40x). Posteriormente se calculó el promedio de las lecturas.

La información meteorológica se obtuvo de los datos disponibles en https://agromet.eeaoc.gob.ar/, correspondiente a la localidad de Santa Ana, Río Chico, Tucumán, para el período 2017 a 2022. Con esta información se calcularon los promedios diarios y semanales de: temperatura (máxima, mínima y media), humedad relativa, horas de mojado foliar, horas con temperaturas por debajo de 0°C; los cuales fueron correlacionados con los promedios de uredosporas colectadas por cm^2.

Resultados

En la Figura 2 se observan los valores promedios de las uredosporas de roya marrón recolectadas en la trampa pasiva y su relación con las horas de mojado foliar (parámetro meteorológico que más condiciona la manifestación de roya marrón), desde el 2018 hasta julio del 2022, en la localidad de Santa Ana, Río Chico, Tucumán.

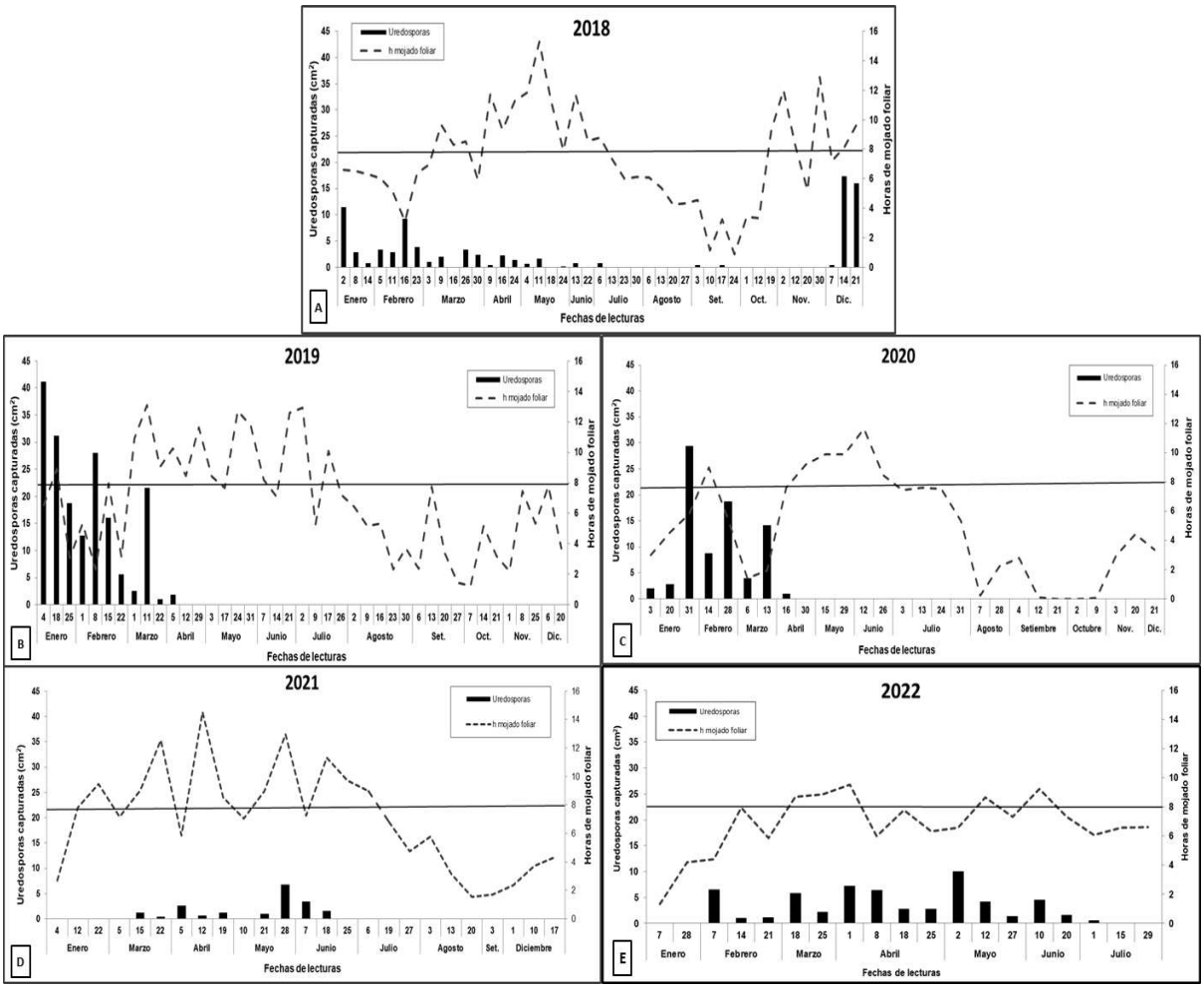


Figura 2. Promedio del número de uredosporas/cm^2 de *Puccinia melanocephala* (barras) y horas de mojado foliar (---) registradas en Santa Ana, Río Chico, Tucumán durante el 2018 (A), 2019 (B), 2020 (C), 2021 (D) y 2022 (E). ¯¯ indica 8 h de mojado foliar.

Durante el 2018 las primeras detecciones de *P. melanocephala* fueron los primeros días de enero, tal como se observa en la Figura 2A. El máximo valor promedio de uredosporas/cm^2 capturadas ese año fue de aproximadamente 10 (2 de enero del 2018). Las condiciones del invierno precedente a la campaña 2018 (invierno 2017) condicionaron la supervivencia del inóculo inicial de roya marrón, ya que se registraron cinco días con temperaturas por debajo de 0ºC (Tabla 1). Por otro lado, recién en diciembre y enero se registraron días con condiciones ambientales conducentes para la enfermedad (Tabla 2); sin embargo la roya marrón no prosperó debido a la baja concentración de inóculo inicial.

En el 2019, las primeras detecciones de uredosporas se registraron a principios de enero (Figura 2B), y fueron de mayor valor en comparación con el 2018. El máximo valor fue 41,2 uredosporas/cm^2 (4 de enero de 2019). Si bien en el invierno precedente se registraron 16 días con heladas (57,8 h por debajo de 0°C) (Tabla 1), existieron condiciones conducentes para el desarrollo de la enfermedad desde octubre del 2018 (Tabla 2).

Por su parte, en 2020 el máximo valor promedio fue 29,4 uredosporas/cm^2 (31 de enero) (Figura 2C). Las condiciones ambientales durante el tiempo de la epidemia no beneficiaron el desarrollo del patógeno (Tabla 2), a pesar de que en el invierno precedente (2019) solo se registraron cuatro días con temperaturas por debajo de 0°C (Tabla 1).

En los inviernos precedentes a las campañas 2020-2021 y 2021-2022, el fenómeno de las heladas afectó severamente al cultivo de la caña de azúcar, provocando la muerte de las hojas (64,6 h y 41,5 h, respectivamente) (Tabla1). Esto podría haber afectado la sobrevivencia de uredosporas de *P. melanocephala* y reducir la viabilidad del inóculo inicial, evidenciándose en los valores bajos de uredosporas recolectadas durante el 2021 y 2022. En ambos años las primeras detecciones de uredosporas se observaron hacia mediados de marzo y a principios de febrero, en el 2021y 2022, respectivamente (Figura 2D y E).

Durante el 2022 no se registraron días con condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad durante todo el desarrollo de la epidemia (Tabla 2).

Tabla 1. Número de días y duración (en horas) de temperaturas inferiores a 0°C y temperatura mínimas (en ºC) registradas en la localidad de Santa Ana, Río Chico, Tucumán durante los inviernos de 2017 a 2021. Datos obtenidos de https://agromet.eeaoc.gob.ar/.

Año	Número de días	Duración (h)	Temperatura (°C)
2017	5	18,9	-2,5
2018	16	57,8	-3,1
2019	4	3,1	-0,7
2020	20	64,6	-3,7
2021	10	41,5	-3,3

Tabla 2. Registro del n° de días por mes que presentaron condiciones favorables para la manifestación de la roya marrón (más de 8 h de mojado foliar, temperaturas entre 17ºC y 23ºC; y humedad relativa superior al 80%) entre octubre y mayo de las campañas agrícolas 2017-2018, 2018-2019, 2019-2020, 2020-2021 y 2021-2022, para la localidad de Santa Ana, Río Chico, Tucumán. Datos obtenidos de: https://agromet.eeaoc.gob.ar/.

Campaña	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
2017 - 2018	0	1	8	8	6	6	17	10
2018 - 2019	9	8	7	8	4	8	5	3
2019 - 2020	0	6	2	3	5	6	6	0
2020 - 2021	1	6	1	7	12	10	0	0
2021 - 2022	0	0	0	0	0	0	0	0

Conclusiones

En los últimos años, la roya marrón se convirtió en una enfermedad frecuente en los cañaverales de Santa Ana, Río Chico, Tucumán, observándose con distinta intensidad según el ciclo del cultivo que se considere.

Tanto las condiciones ambientales reinantes durante las campañas, como las de la temporada precedente, condicionaron la fecha de detección de uredosporas de *P. melanocephala* y la cantidad de las mismas registradas en las campañas analizadas. En este sentido, las heladas del invierno precedente a la campaña a analizar tuvieron un efecto sobre el cultivo de la caña de azúcar e, indirectamente, sobre la supervivencia de las uredosporas; lo que jugó un rol importante condicionando la presencia del patógeno en los campos y en el desarrollo inicial de la epidemia.

Adicionalmente, el mayor número de horas de mojado foliar por mes, sumado a condiciones favorables de temperatura durante las etapas tempranas de una epidemia, tendrían un efecto positivo en el número de uredosporas de *P. melanocephala* que se detectan.

Las mejores condiciones para la manifestación de roya marrón se presentaron durante el 2019, donde las condiciones ambientales propiciaron la expresión de la misma. Esto no se evidenció en los años restantes, probablemente debido a que existieron pocos días con condiciones ambientales conducentes para un óptimo desarrollo del patógeno y que las heladas ocurridas en los inviernos precedentes a las epifitias, tuvieron un efecto negativo sobre la supervivencia del inóculo inicial, provocando una baja manifestación de la enfermedad en dichos años.

Citas bibliográficas

Aybar Guchea M.; Ostengo S.; Espinosa M. A.; Medina P.; Díaz J. V.; Chavanne E. R.; Costilla D.D. y Cuenya M. I. 2020. Nueva encuesta sobre tecnologías adoptadas por el sector cañero tucumano. Relevamiento de la distribución de variedades de caña de azúcar en la provincia de Tucumán: campaña 2019/2020 (Parte II). Reporte Agroindustrial 201.

Barrera W. A. 2010. Effects of environmental variables and crop growth on development of brown rust epidemics in sugarcane. Tesis presentada para la obtención del título de Magister.

Barrera W. A.; Hoy J.; Bin L. 2012. Temperature and Leaf Wetness Effects on Infection of Sugarcane by *Puccinia melanocephala*. J Phytopathol 160:294–298.

Funes C.; Henriquez D. D.; Bertani R. P.; Joya C. M.; González V.; Romero, E. R. y L.D. Ploper. 2016. Factores que afectan el desarrollo de epifitias de roya marrón de la caña de azúcar en La Fronterita, Tucumán. CD de resúmenes XX Reunión Téc. Nac. de la Caña de Azúcar, Sociedad Argentina de Técnicos de la Caña de Azúcar (SATCA).

DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DE NUEVAS VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR DESARROLLADAS POR EL INTA

García J. M.[1]*; Merino M. F.[2]; Felipe A.[1]

[1]Estación Experimental Agropecuaria INTA Famaillá, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Ruta Provincial 301 Km. 32, (4132), Famaillá, Tucumán, Argentina, [2]Facultad de Agronomía y Zootecnia, Universidad Nacional de Tucumán. Av. Kirchner 1900, (4000), San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina. *garcia.josemaria@inta.gob.ar

Palabras clave: Descriptores morfológicos; Mejoramiento genético; Argentina.

Introducción

El programa de Mejoramiento Genético de Caña de Azúcar (PMGCA) del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) tiene como objetivo el desarrollo de nuevas variedades adaptadas a las condiciones subtropicales de este país. Finalizado el proceso de obtención de variedades, las mismas son caracterizadas botánicamente utilizando las directrices del examen de distinción, homogeneidad y estabilidad, propuesto por la Unión Internacional para Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV) (UPOV 2005).

La caracterización morfológica en caña de azúcar basada en numerosos caracteres ha demostrado ser una metodología eficaz para la distinción de variedades (Skinner 1972). El procedimiento utilizado es de fácil implementación y bajo costo en comparación a la caracterización botánica, fisiológica y molecular. En este sentido, la descripción basada en los caracteres propuestos por la UPOV ha demostrado ser eficaz en la distinción de variedades y poseer una gran estabilidad a través de diferentes condiciones ambientales (Perera *et al* 2012).

El presente trabajo tuvo como objetivo realizar el examen de distinción, homogeneidad y estabilidad a dos nuevas variedades de caña de azúcar desarrolladas por el PMGCA del INTA, para su inscripción en el Registro Nacional de Propiedad de Cultivares (RNPC) del Instituto Nacional de Semillas de la República Argentina.

Materiales y métodos

Se utilizó material vegetal a campo de las variedades de caña de azúcar INTA NA 03-663 e INTA NA 03-617, el cual se encontraba disponible en la Estación Experimental Agropecuaria Famaillá de INTA, Tucumán, Argentina. Al momento de la evaluación, las variedades se encontraban en edad de corte planta con un desarrollo de 12 meses.

En las dos variedades, describieron los 54 caracteres morfológicos sugeridos por la UPOV, de los cuales nueve son obligatorios para el registro en el RNPC (UPOV 2005). La evaluación de los caracteres se realizó sobre tallos extraídos al azar y provenientes de diferentes cepas. Para la evaluación de descriptores cualitativos se emplearon seis tallos o partes de ellos, mientras que para caracteres cuantitativos se usaron 24 tallos o partes de ellos.

Para establecer el color de la vaina de la hoja y del entrenudo se empleó la Carta Internacional de Colores de la Royal Horticultural Society (RHS). Para evaluar la vaina y el limbo de la hoja se utilizó la hoja correspondiente al primer collar visible más joven, mientras que, para describir la parte superior de la caña, se consideró la zona comprendida entre el collar más joven y la hoja +4. La caracterización del entrenudo y nudo se realizó sobre el entrenudo más largo de cada tallo y su correspondiente nudo. De acuerdo con la normativa de la UPOV, se asignó a cada descriptor evaluado un nivel de expresión dentro de categorías predeterminadas.

Resultados

En el presente trabajo se hará referencia a los 9 caracteres obligatorios establecidos por la UPOV (Tabla 1) para la inscripción de variedades y otros que resultaron distintivos durante su examinación, y que servirán para su fácil reconocimiento.

Tabla 1. Niveles de expresión de caracteres morfológicos obligatorios establecidos por la UPOV para las variedades INTA NA 03-663 e INTA NA 03-617.

	INTA NA 03-663	**INTA NA 03-617**
Adherencia de la vaina de la hoja	Media	Fuerte

Entrenudo: diámetro	Medio	Medio
Entrenudo: forma	Conoidal	Cilíndrico
Entrenudo: color de la parte expuesta al sol	*Dark Purple red* RHS 184 D	*Dark Purple Brown* RHS 187 A
Entrenudo: color de la parte no expuesta al sol	*Brown Green* RHS 152 D	*Dark Purple Brown* RHS 59 A
Entrenudo: expresión de la alineación en zigzag	Débil	Moderada
Nudo: forma de la yema, excluyendo las alas	Ovada	Ovada
Vaina de la hoja: color del collar	*Brown Green* RHS 152 B	*Brown Green* RHS 152 D
Limbo de la hoja: anchura en el punto medio de la longitud	Estrecho	Mediano

La variedad INTA NA 03-663 presentó plantas de porte erecto, con tallos de altura mediana (2,4±0,1 m) y macollaje intermedio. La intensidad del color verde de la hoja fue clara, mientras que las vainas de la hoja se destacaron por poseer una fuerte adherencia al tallo. Con respecto a los entrenudos, éstos presentaron diámetro medio (20,1±2,5 mm) y forma conoidal, y en los mismos pudo observarse, con escasa frecuencia, la presencia de rajaduras de crecimiento poco profundas. Adicionalmente, los entrenudos de esta variedad mostraron una débil expresión de la alineación en zigzag y la ausencia de canal de la yema. Sin exposición al sol, el color de los entrenudos fue Brown Green (RHS 152 D), mientras que cuando éstos fueron expuestos al sol, el color identificado fue Dark Purple Red (RHS 184 D). Los nudos del tallo presentaron yemas de forma ovada y tamaño mediano (6,1±0,7 mm), cuyos ápices se ubicaron en la parte intermedia del anillo de crecimiento.

En INTA NA 03-663, la vaina de la hoja presentó aurículas subyacentes de forma lanceolada y tamaño mediano, mientras que las aurículas superpuestas exhibieron forma deltoide y tamaño pequeño. La lígula de la vaina de la hoja tuvo forma de cuarto creciente y anchura mediana (4,7±0,5 mm). Por su parte, el limbo de la hoja presentó ápices curvados, cuyos bordes no presentaron pubescencia y se mostraron aserrados.

La variedad INTA NA 03-617, al igual que la anteriormente descripta, presentó plantas de porte erecto, tallos de altura mediana (2,2±0,2 m) y macollaje intermedio. Sin embargo, el follaje de esta variedad mostró una intensidad media del color verde de la hoja y sus vainas mostraron una adherencia al tallo de tipo media. Los entrenudos presentaron forma cilíndrica y diámetro mediano (26,9±2,7 mm), y se observaron cubiertos por una serosidad calificada como media. La alineación en zigzag de los entrenudos en esta variedad fue moderada y en los tallos evaluados no se observó la presencia de rajaduras de crecimiento. Sin exposición al sol, el color de los entrenudos se clasificó como Dark Purple Brown (RHS 59 A), cambiando de tonalidad al exponerse al sol (RHS 187 A). En el nudo se observaron yemas de forma ovada y tamaño mediano (6,4±1,2 mm), cuyos ápices se ubicaron claramente por debajo del anillo de crecimiento.

En INTA NA 03-617, las vainas exhiben lígulas anchas en forma de cuarto creciente, aurículas subyacentes en forma lanceolada y de tamaño mediano y aurículas superpuestas de forma transicional y pequeña. En la vaina se observaron pocos pelos cortos en la parte dorsal. La lígula de la vaina de la hoja tuvo forma de cuarto creciente y fue clasificada como ancha (4,7±0,5 mm). El limbo de la hoja presentó borde aserrado, con ausencia de pubescencia en el borde y ápices curvados.

La descripción presentada en este trabajo permitirá la identificación de las dos variedades a campo por parte de investigadores, mejoradores y productores vinculados a la producción cañera. Cabe señalar la baja similitud observada entre los caracteres de las dos variedades, cuya única coincidencia ente los 9 caracteres obligatorios fue el diámetro del entrenudo. Asimismo, ambas variedades presentan diferencias sustanciales para estos descriptores cuando son comparadas con las variedades actualmente difundidas en el país (Costilla *et al* 2013, 2016).

Conclusiones

El resultado completo del examen de distinción, homogeneidad y estabilidad de las dos variedades evaluadas, compuesta por 54 descriptores morfológicos, permitirá su inscripción en el RNPC de la República Argentina. Finalizada su inscripción, material vegetal de ambas variedades estará disponible en la Estación Experimental INTA Famaillá para su difusión al medio productivo.

Apoyo financiero: Este trabajo fue financiado por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (2019-PE-I516).

Referencias bibliográficas

Costilla, D.D.; Arias, M.E.; García, M.B.; Delgado, N.; Chavanne, E.R.; Cuenya, M.I. 2013. Descripción botánica y registro de las variedades de caña de azúcar (Saccharum spp.) TUCCP 77-42, RA 87-3 y LCP 85-384, en el Registro Nacional de Cultivares de la República Argentina. Rev. Ind. Agric. Tucumán 90(1): 51-55.

Costilla, D.D.; Chavanne, E.R.; García, M.B.; Aybar Guchea, M.; García, J.M.; Cuenya, M.I. 2016. Descripción y registro de la nueva variedad de caña de azúcar TUC 03-12 producida por la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres. Rev. Ind. Agric. Tucumán 93(2): 39-42.

Perera, M.F; Arias, M.E.; Costilla, D.D.; Luque, A.C.; García, M.B.; Romero, C.D.; Racedo, J.; Ostengo, S.; Filippone, M.P.; Cuenya, M.I.; Castagnaro, A.P. 2012. Genetic diversity assessment and genotype identification in sugarcane based on DNA markers and morphological traits. Euphytica, 185(3): 491-510.

Skinner, J.C. 1972. Description of sugarcane clones. Botanical description. Proc. of the XIV ISSCT Congr.14:124-127.

Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV). 2005. Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales.

COMPARACIÓN DE DOS SISTEMAS DE MULTIPLICACIÓN DE CAÑA SEMILLA DE ALTA CALIDAD EN TUCUMÁN, ARGENTINA

Giardina J. A; Duarte D N; Medina M; Fajre S y Digonzelli P A.

Sección Caña de Azúcar. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres Av. William Cross (4101) Las Talitas. Tucumán. Argentina. jgiardina@eeaoc.org.ar.

Palabras clave: Vitroplantas, Caña Semilla y Plantación

Introducción

La caña de azúcar constituye el cultivo de mayor importancia de la provincia de Tucumán, Argentina, incidiendo significativamente en su desarrollo económico y social. El último censo de variedades realizado en el 2019-2020 indica que tres variedades ocupan más del 90% de la superficie cañera de la provincia. La más cultivada es LCP 85-384 (67,7 % del área) seguida por TUC 95-10 (18,05%) y TUCCP 77-42 (8,69 % del área) (Aybar Guchea *et al*., 2020).

La implantación comercial de la caña de azúcar se efectúa plantando trozos de tallos (multiplicación agámica), lo cual favorece la difusión de enfermedades sistémicas como: el mosaico (*SCMV y SrMV*), la escaldadura de la hoja (*Xanthomonas albilineans*), el carbón (*Sporisorium scitamineum)* y el achaparramiento de la caña soca o RSD (*Leifsonia xyli* subsp*. xyli).*

En Tucumán, uno de los factores que históricamente limitó la productividad de los cañaverales fue la falta de semilleros que garantizaran la disponibilidad de semilla de alta calidad, caracterizada por la sanidad, el vigor y la pureza varietal (Digonzelli *et al.*, 2010).

A partir del 2000/2001 la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) inicia el Proyecto Vitroplantas cuyos objetivos principales son: producir caña semilla de alta calidad de las variedades ya difundidas comercialmente y favorecer la rápida difusión de las nuevas variedades liberadas por el Programa de Mejoramiento Genético de Caña de Azúcar de la EEAOC (PMGCA-EEAOC).

En el Proyecto Vitroplantas-EEAOC la producción de caña semilla de alta calidad se realiza empleando las técnicas de cultivo de meristemas y micropropagación. Las vitroplantas así obtenidas se rustican en los invernáculos y luego se multiplican en el campo utilizando un esquema de semilleros: Básicos, Registrados y Certificados. (Digonzelli *et al*., 2010).

Por otra parte, el consumo de caña semilla en las plantaciones mecánicas es de 18 a 20 t/ha, lo cual es un gasto excesivo de tallos que podrían ser destinados a la industria (Landell *et. al.,* 2012; Xavier *et. al*., 2014).

En Tucumán, la tasa de multiplicación de caña semilla por técnicas tradicionales (multiplicación agámica) sin un esquema de semilleros, es aproximadamente de 1:5, es decir, que por cada hectárea destinada a producir caña semilla se plantan 5 hectáreas comerciales.

El Proyecto Vitroplantas, mediante el empleo de las técnicas de cultivo de meristemas y micropropagación y el esquema de semilleros, alcanzó tasas de multiplicación de 1:15 a 1:20 en el paso de semilleros Básicos a Registrados, y de 1:10 a 1:12 en las etapas de Semilleros Certificados y plantación comercial. Esto significa un progreso significativo en el aprovechamiento de la simiente, con el consiguiente aumento de la eficiencia del proceso productivo.

Resulta evidente que todas las tecnologías que permitan aumentar la tasa de multiplicación de la caña semilla tendrán un alto impacto en la producción de caña y en la difusión de nuevas variedades.

El presente trabajo tiene como objetivo analizar y comparar dos sistemas de multiplicación de caña semilla de alta calidad: a) empleo de estacas de 3 yemas obtenidas a partir de las vitroplantas y b) empleo de plantines individuales de alta calidad producidos a partir de yemas aisladas extraídas de material selecto de vitroplantas.

Materiales y Métodos

En el presente trabajo se compararon dos sistemas de multiplicación (SM) factibles de ser usados para producir caña semilla de alta calidad: SM1) uso de estacas de 3 yemas de caña semilla de alta calidad obtenida por micropropagación y SM2) uso de plantines de alta calidad originados a partir de yemas aisladas que se extrajeron de tallos selectos de vitroplantas. Para obtener las yemas se utilizan unas pinzas sacabocados que extraen del tallo la yema con solo una pequeña porción del nudo que tiene unos pocos primordios radiculares, por este motivo se denominan yemas aisladas. Todo el manipuleo del material vegetal se realizó bajo estrictos controles de desinfección de las herramientas utilizadas.

El ensayo implantado en el campo correspondió a la etapa de semillero Registrado y se utilizaron las siguientes densidades de plantación: SM1: 12 yemas por metro de surco y SM2: 2 plantines/m (distanciamiento de 0,5 m entre plantines). La distancia entre surcos fue de 1,60 m en ambos casos y para todos los cálculos se consideraron 62,5 surcos/ha.

Se trabajó con la variedad TUC 95-10 que ocupa el segundo lugar en importancia en Tucumán (18 % del área cañera de la provincia). El ensayo fue implantado el 03 octubre de 2017, para asegurar que hubiese finalizado el período con posibilidad de heladas que

pudieran dañar los plantines. Para asegurar el establecimiento de los plantines a partir de estacas uninodales, el ensayo recibió un riego de asiento en todos los tratamientos.

El ensayo se realizó en la finca San Genaro, en el Dpto. Simoca, Tucumán, Argentina. El diseño experimental fue parcelas divididas en bloques con tres repeticiones. Las parcelas experimentales estuvieron formadas por cinco surcos de 15 metros, se evaluaron los tres surcos centrales, dejando 2,5 metros de borduras en cada extremo.

Primeramente, se calculó y comparó la cantidad de material vegetal (tallos de caña de azúcar) necesarios para producir el número de estacas y plantines requeridos para implantar 1 ha de semillero Registrado con cada sistema de multiplicación.

Una vez establecido el ensayo, al momento de cosecha de la caña semilla, se evaluó el número de tallos y el número de yemas/tallo que se produjeron con los diferentes sistemas de multiplicación. Con estos valores se estimó el número de yemas por hectárea para cada sistema de multiplicación y se calcularon las tasas de multiplicación para las diferentes situaciones analizadas. Las evaluaciones se realizaron en las edades de caña planta y soca 1 qué son las dos edades del cañaveral que se utilizan para la producción de caña semilla de alta calidad.

Con los resultados de este ensayo se realizaron los cálculos correspondientes a la etapa de semillero Certificado (tercera etapa de multiplicación en campo de la caña semilla de alta calidad). Se realizó el ANOVA utilizando el software estadístico InfoStat para Windows y las comparaciones de medias se realizaron con el test de Tukey ($p \leq 0,05$)

Resultados y Discusión

a.- Obtención del material de propagación para los dos sistemas de multiplicación de caña semilla

La cantidad de tallos de caña de azúcar necesarios para producir el material de propagación para establecer una hectárea de semillero Registrado presenta una diferencia importante cuando se emplean como propágulos los plantines de alta calidad obtenidos a partir de las yemas aisladas o las estacas de tres yemas.

Tabla 1. Cantidad de material vegetal necesario para implantar 1 ha de semillero Registrado en los dos sistemas de multiplicación

	Plantines	Estacas	Diferencia
N° de yemas utilizadas	1	3	**2**
densidad de plantación (yemas/metro)	2	12	**10**
Cantidad de yemas/ ha	**12500**	**75000**	**62500**
Cantidad de tallos utilizados (10 yemas/tallos)	**1250**	**7500**	**6250**

Considerando que cada plantin se origina a partir de 1 yema y que cada estaca tiene 3 yemas, se puede observar que en el caso de la utilización de plantines se requiere, para implantar 1 hectárea de semillero, una cantidad de yemas y, por ende, de tallos mucho menor que cuando se utilizan estacas de tres yemas (Tabla 1).

Si se analiza la cantidad de yemas necesarias para plantar una hectárea comparando ambos sistemas de multiplicación (plantines vs estacas de tres yemas) se observa que con la diferencia en el número de yemas que se utiliza en la plantación con estacas, se podrían plantar 5 ha más si el propágulo es el plantín de alta calidad. Esto confirma que el empleo de plantines que se originan de una sola yema permite aumentar la eficiencia y presenta ventajas económicas en la implantación de semilleros tal como lo reportan Xavier *et. al*. (2014).

Por su parte, Landel *et. al.* (2012) reportaron que utilizando como material de propagación yemas prebrotadas (MPB) solo se necesitan 2 toneladas de tallos para plantar 1 hectárea.

b.- Producción de tallos/m, yemas/tallo y yemas/ha en el ensayo de semillero Registrado implantado con ambos sistemas de multiplicación

El número de yemas por unidad de superficie es el componente de mayor importancia en la producción de los semilleros. Este parámetro resulta de la combinación del número de tallos y el número de yemas que tiene cada tallo. La tabla 2 muestra el número de tallos por metro, el número de yemas por tallo y la producción de yemas por hectárea obtenidos en el ensayo de semillero Registrado implantado con los dos sistemas de multiplicación en las dos edades de corte.

Tabla 2. Número de tallos por metro, número de yemas por tallo y producción de yemas por unidad de superficie en el ensayo implantado con los dos sistemas de multiplicación.

Componentes de producción de semilla	Tipo de multiplicación			
	Planta		Soca 1	
	Estacas (SM1)	Plantin (SM2)	Estacas (SM1)	Plantin (SM2)
Número de tallos/m	19,3 a	16,5 b	20,6 a	16,5 b
Número yemas/tallo	15,3 a	14,2 b	13,7 b	14,3 a
Número yemas/ha	**1845562**	**1464375**	**1763750**	**1474375**

Las parcelas experimentales implantadas con las estacas produjeron un 26% más de yemas en caña planta y un 20% más en soca 1 que las establecidas con los plantines de alta calidad obtenidos de yemas aisladas. Considerando la producción de yemas/ha la caña semilla que provino de las estacas de tres yemas produjo, en promedio, 381178 yemas más en caña plantan y 289375 yemas más en soca 1 que la que se originó a partir de los plantines obtenidos de yemas aisladas (Tabla 2).

En la tabla 3 se analiza la posibilidad de utilizar la caña semilla producida en el ensayo del semillero Registrado, en las dos edades de corte, para implantar semilleros Certificados (siguiente etapa de multiplicación en campo de la caña semilla de alta calidad). En este caso se considera una densidad de plantación de 15 yemas/m si el propágulo son las estacas de 3 yemas (SM1) y de 4 plantines/m si el propágulo son los plantines de alta calidad (SM2).

Tabla 3. Número de hectáreas de semillero Certificado implantadas y tasas de multiplicación para los dos sistemas evaluados

	Planta		Soca 1	
	Estacas (SM1)	**Plantin (SM2)**	**Estacas (SM1)**	**Plantin (SM2)**
Número yemas/ha de semillero Registrado	1845562	1464375	1763750	1474375
Densidad de plantación de semillero Certificado (yemas o plantines/ha)	93750	25000	93750	25000
Hectáreas de semillero Certificado plantadas	19,7 ha	58,6 ha	18,8 ha	59,0 ha
Tasa de multiplicación	**1:20**	**1:59**	**1:18**	**1:59**

La tabla 3 muestra que, a pesar de la menor producción de yemas por unidad de superficie, con SM2 se alcanzan tasas de multiplicación que triplican las tasas alcanzadas con SM1. Esto incrementa la eficiencia del sistema de producción de caña semilla de alta calidad y es especialmente importante en el caso de la multiplicación de nuevas variedades cuando el material de partida es siempre escaso. Digonzelli *et al.,* (2010) reportaron tasas de multiplicación de 1:15 a 1:20 en el paso de semilleros Básicos a Registrados, y de 1:12 en las subsiguientes etapas de multiplicación (Semilleros Certificados y plantación comercial) utilizando las técnicas convencionales de propagación por estacas.

Conclusiones

- La utilización de plantines de alta calidad obtenidos a partir de yemas aisladas reduce drásticamente el consumo de caña semilla.
- Combinar el sistema tradicional de multiplicación de caña semilla (estacas provenientes de vitroplantas) con el uso de plantines de alta calidad aumenta significativamente la tasa de multiplicación y resulta especialmente adecuado para favorecer la rápida difusión de nuevas variedades de caña de azúcar.

Bibliografía

1. M. Aybar Guchea, S. Ostengo, M. A. Espinosa, P. Medina, J. V. Díaz, E.R. Chavanne, D. D. Costilla y M. I. Cuenya. 2020. Relevamiento de la distribución de variedades de caña de azúcar en la provincia de Tucumán: campaña 2019/2020 (Parte II). Reporte Agroindustrial N°201: 9 pp.
2. Digonzelli, P.; Giardina J.; Ponce de León R.; Sanchez Ducca A.; Fernádez de Ullivarri J.; Scandaliaris J. y R. Romero E. (2010). Producción de caña semilla de alta calidad (proyecto Vitroplantas): Logros y desafíos. Publ. Espc. EEAOC, Tucumán, Argentina, (40): 7-10.

3. Landell, M.G.A.; Campana,M.P.; Figueiredo, P.; Xavier, M.A.; Anjos, I. A.; Dinardo-Miranda, L.L.; Scarpari, M.S.; Garcia, J.C.; Bidóia, M.A.P.; Da Silva, D.N.;Mendoça, J.R.; Días Kanthack, R.A.; Ferraz de Campos, M.; Brancaliao, S.R.; Petri, R.E.; Miguel, P.E.M. Sistema de multiplicaçao de cana de açucar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas. Documento IAC, Campinas, nº109, 2012.16p.

4. Xavier, M. A.; Landell, M.G.A.; Campana, M.P.; Figueiredo, P,; Mendonça, J.R.; Dinardo-Miranda, L.L.; Scarpari, M.S.; García, J.C.; Anjos, I.A.; Azania, C.A.M.;Brancaliao, S. R.; Kanthack,R.A.D.; Aferri, G.; Silva, D.N.; Bidoia, M. A. P.; Campos, M.F.; Perruco, D.; Matsuo, R.S.; Neves, J.C.T.; Cassaneli Junior, J.R.; Perruco, L.; Petri, R.H.; Silva,T. N.; Silva, V.H.P.; Thomazinho Junior, J.R.; Miguel, P.E.N.; Lorezanto, C. M. Fatores de Desuniformidade e Kit de Pré-Brotaçao IAC para Sistema de Multiplicacao de Cana de Azúcar (MPB). Campinas: Instituto Agronomico, 2014. 22p (Documentos IAC, 113).

EVALUACIÓN *IN VITRO* DE ACEITES ESENCIALES DE ORIGEN VEGETAL PARA EL CONTROL DEL CARBÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Lobo, J.A.; Bertani, R.P.; Salas, H. y González, V.

Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). Av. William Cross 3150, C.P. T4101XAC, Las Talitas, Tucumán, R. Argentina. E-mail: jessianahilobo@gmail.com

Palabras Clave: Porcentajede germinación, esporas, bio-controlador, CE_{50}.

Introducción

Entre las enfermedades fúngicas que afectan al cultivo de la caña de azúcar, se encuentra el carbón, cuyo agente causal es *Sporisoriumscitamineum.*

El carbón puede causar pérdidas de rendimiento debido a la disminución significativa en el contenido de sacarosa, como así también afecta la pureza y otros indicadores de calidad de jugo (Rajput*et al.*, 2021). A nivel mundial, se informaron pérdidas de rendimiento que varían entre el 12% y 75% (Sandhu*et a*l., 1969); estos valores dependen de la utilización de genotipos susceptibles y la presencia de condiciones favorables para la infección (Lee-Lovick, 1978)

En Tucumán, el carbón cobró relevancia debido a la epifita en la década de 1940 (Ploper, 2010). Así mismo, en las últimas dos campañas agrícolas (2020-2021 y 2021-2022) se observó una gran cantidad de lotes afectados por la enfermedad en la provincia (Bertani*et al*., en prensa), siendo LCP 85-384 la variedad más afectada, alcanzando valores de incidencia máxima de 42,7% y 58,5% en las campañas 2020-2021 y 2021-2022, respectivamente. Cabe destacar que LCP 85-384 es la variedad más cultivada en Tucumán actualmente, con un 67,74% de la superficie de cultivo (AybarGuchea*et al*., 2020).

El método más efectivo y económico para el control del carbón de la caña de azúcar es la utilización de cultivares resistentes. En este sentido, el Subprograma de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar de la EEAOC (SMGCA-EEAOC) puso a disposición del sector cañero numerosas variedades TUC de buen comportamiento frente a las principales enfermedades. Sin embargo, se debe tener en cuenta que existen diversas causas que pueden ocasionar un quiebre de la resistencia, como por ejemplo el cambio climático por el cual atraviesa nuestro planeta.

Adicionalmente, una alternativa que se emplea a nivel mundial para el control de carbón es el uso de fungicidas, tanto químicos como biológicos, aplicados a la caña semilla en el momento de plantación (Bhuiyan*et al*., 2015).

En nuestra provincia no existen antecedentes de control químico y/o biológico para la enfermedad del carbón. Por este motivo, en el presentetrabajo se propone evaluar diferentes aceites esenciales de origen vegetal para el control de *S. scitamineum* en condiciones*in vitro*.

Materiales y métodos

Evaluación de la acción inhibitoria *in vitro*de aceites esenciales frente a *S. scitamineum*

Para determinar la eficacia de los aceites esenciales sobre la inhibición de la germinación de las esporas de carbón, se evaluarontres productos: AEV 1, AEV2 y AEV 3.

El ensayo se realizó bajo condiciones *in vitro* en el laboratorio de la Sección Fitopatología de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). Se utilizaron esporas de *S. scitamineum* colectadas de látigos de carbón presentes en lotes comerciales de la variedad LCP 85-384, durante los meses de noviembre y diciembre del 2021.

Se evaluó la acción inhibitoria de los aceites en concentraciones de 1% a 100%. Las diluciones se realizaron empleando agua destilada estéril.Para cada tratamiento se utilizaron tresrepeticiones.

Se preparó una suspensión de esporas de *S. scitamineum* en agua destilada estéril con Tween 20 al 0,01%. Se ajustó la concentración a 1,5 x 10^7 esporas/ml.

Para cada tratamiento se colocaron en microtubosde 1,5 ml, 500 µl de la suspensión de esporas + 500 µl de los aceites esenciales en diferentes concentraciones. Se utilizó como control 500 µl de la suspensión de esporas + 500 µl de agua destilada estéril.

Se evaluarondiferentes tiempos de incubación, entre 5 min y 30 min. Transcurrido el tiempo, se centrifugó durante 10 min a 12000 rpm, para recuperar las esporas y eliminar el aceite esencial. Las esporas se resuspendieron en 500 µl de agua destilada estéril con Tween 20 al 0,01% y se sembraron 100 µl de la suspensión en placas de Petri de 90 mm de diámetro con 20 ml de medio agar agua 1,5% (AA). Se distribuyó de manera homogénea con espátula de Drigalsky. Las placas se incubaron a 31°C por 12-13 h en oscuridad.

Posteriormente se determinó el porcentaje de germinación de las esporas mediante la observación en microscopio óptico (40x). Para ello se seleccionaron porciones de AA de cada placade Petri y con ayuda de bisturí se colocaron sobre portaobjetos.

Las esporas se consideraron como germinadas cuando presentaron un tubo germinativo de por lo menos la mitad del tamaño de su diámetro. Para cada tratamiento se realizó el conteo de 100 esporas de dos áreas de cada placa.

A partir de las lecturas obtenidas en el microscopio se determinó el porcentaje de inhibición de germinación a partir de la expresión:

Inhibición de germinación (%) = [(A-B) /A] x 100,

A: n° de esporas germinadas en el tratamiento control, B: n° de esporas germinadas en el tratamiento con fungicida.

Los valores de porcentajede inhibición fueron promediados entre las dos lecturas de cada repetición y, posteriormente entre las tres repeticiones de cada tratamiento.

Evaluación de la concentración efectiva 50 (CE_{50}) de los aceites esenciales

Para determinar la sensibilidad *in vitro* de *S. scitamineum* a los diferentes aceites esenciales,se realizó el procesamiento de los datos obtenidos mediante el método Probit (Bliss, 1934).Esto permitió ajustar las ecuaciones de regresión con los logaritmos de las concentraciones de los aceites esenciales y los valores de Probit. Se calcularon los valores de la pendiente y concentración efectiva 50 (CE_{50}) para cada AEV. La CE_{50} es el porcentaje requerido para causar la inhibición de la germinación de esporas de *S. scitamineum* en un 50% en comparación con el tratamiento control.

Resultados

En los ensayos realizados para evaluarel control de esporas de *S. scitamineum* mediante el empleo de los aceites vegetales, se observaron diferentes porcentajesde inhibición de la germinación (Figura 1).

En todos los casos, el enfrentamiento de los AVE durante 5 min con la suspensión de esporas de carbón, fue suficiente para disminuir el porcentajede germinación. Por este motivo, se continuó trabajando con ese tiempo de exposición para evaluar la CE_{50}.

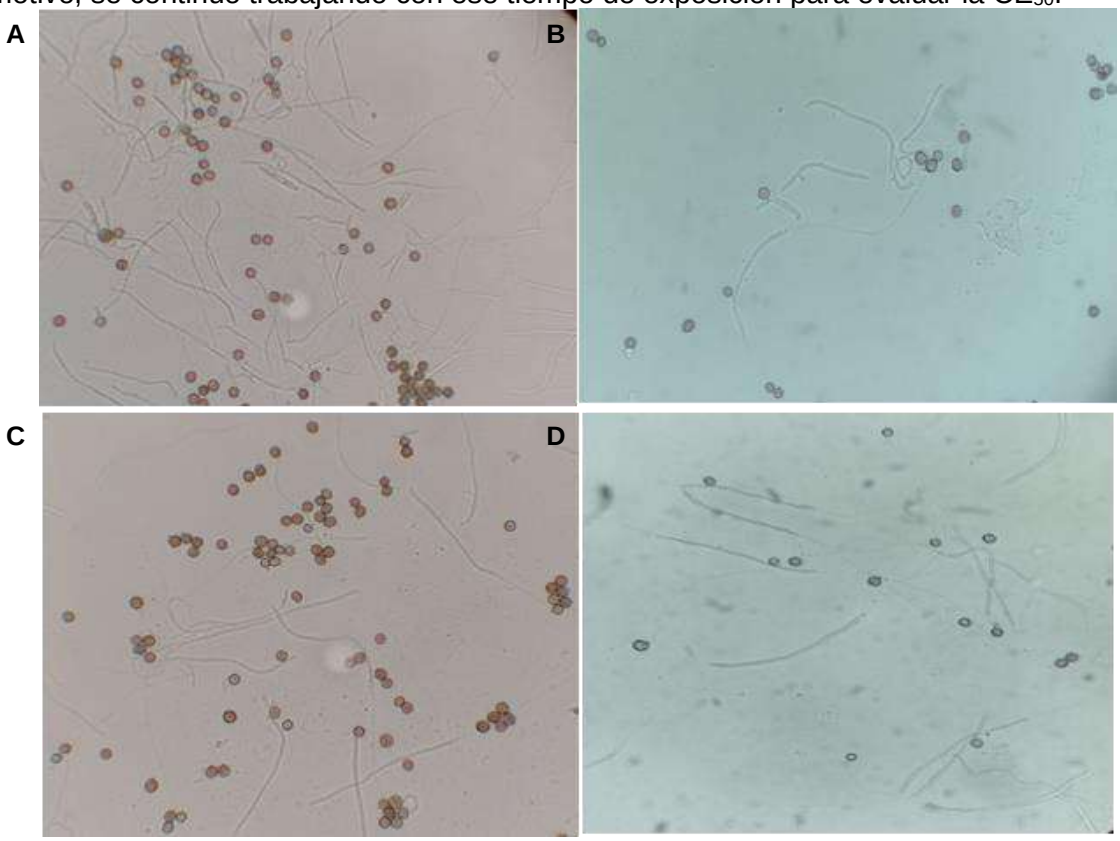


Figura 1. Germinación de esporas de *Sporisoriumscitamineum*, tratadas conlos diferentes aceites esenciales. A) Tratamiento control (sin aceite), B) Aceite Esencial Vegetal 1, C) Aceite Esencial Vegetal 2 y D) Aceite Esencial Vegetal 3.

En cuanto a los valores de CE_{50} obtenidos, el AEV1 presentó el menor valor, por lo que tendría una mayor fungitoxicidad que los productos AEV2 y AEV3.

Tabla 1. Ecuaciones de regresión y concentración efectiva 50 (CE_{50}) obtenidas para los aceites esenciales evaluados.

Aceites esenciales	Ecuación de Regresión	R^2	CE_{50} (%)
AEV1	y=2,421x + 3,4433	0,90	4
AEV2	y=3,8946x + 0,8577	0,96	12
AEV3	$y=3,7283x^2 - 2,7002x + 4,0167$	0,92	10

.

Conclusiones

Estos resultados ponen en evidencia que los tres aceites esenciales mostraron un buen control de la germinación de las esporas de *S. scitamineum* en condiciones *in vitro*, por lo cual podrían ser evaluadosen condiciones *in vivo* o de campo para el control de la enfermedaddel carbón al momento de la plantación de la caña de azúcar.

Desarrollar una estrategia de control con los aceites ensayados, de origen vegetal, permitiría reducir los niveles de contaminación en campo, por lo que sería una alternativa más ecológica que el empleo de fungicidas químicos.

Citas bibliográficas

AybarGuchea M.; Ostengo S.; Espinosa M. A.; Medina P.; Díaz, J. V.; Chavanne E. R.; Costilla D. D. y Cuenya M. I. 2020. Relevamiento de la distribución de variedades y de otras tecnologías aplicadas en el cultivo de caña de azúcar en la provincia de Tucumán: campaña 2019/2020 (Parte I). Reporte Agroindustrial EEAOC 195. https://www.eeaoc.gob.ar/wp-content/uploads/2020/08/RA-195.pdf

Bertani R. P.; Funes C.; Lobo J. A. and Chaves S.En prensa. Reaction of commercial sugarcane varieties against smut disease in Tucumán, Argentina during the 2020/2021 and 2021/2022 seasons.Proceeding of the International Society of Sugar Cane Technologists, volume 31.En prensa.

Bhuiyan S. A.; Croft B. J. and Tucker G. R. 2015. New method of controlling sugarcane smut using flutriafol fungicide. Plant Disease, 99:1367-1373.

Bliss C. I. 1934. The Method of Probits. Science 79 (2037): 38-39. doi:10.1126/science.79.2037.38.

Lee-Lovick G. 1978. Smut of sugarcane-Sporisoriumscitamineum. Review of Plant Pathology 147: 181-188.

Ploper L. D. 2010.En el Mañana Hoy: Un Recorrido por los Cien Años de Innovaciones Tecnológicas de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). Casano Gráfica 1, pp. 334.

Rajput M. A.; Rajput N. A.; Syed R. N.; Lodhi A. M. and Que Y. 2021. Sugarcane Smut: Current Knowledge and the Way Forward for Management. Journal of Fungi 7, 1095.

Sandhu S. A.; Bhatti D. S. and Rattan B. K. 1969. Extent of losses caused by red *Physalosporatucumane*NSisSpeg.) and smut (*Sporisoriumscitamineum*Syd).

BIOINDICADORES DE DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DEL RESIDUO AGRÍCOLA DE COSECHA (RAC) DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Ludueña, Lucrecia Carolina; Tórtora, María Laura; Fernández de Ullivarri, Juan; Romero, Eduardo; Digonzelli, Patricia.
Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). W. Cross 3150. Las Talitas-Tucumán. *E-mail: lluduena@eeaoc.org.ar

Palabras clave: sustentabilidad, bioindicador, sistemas conservacionistas.

Introducción

Durante la cosecha en verde del cañaveral, se depositan sobre la superficie del suelo grandes cantidades de residuo agrícola de cosecha (RAC). Para las condiciones de Tucumán, la cantidad de RAC ha sido estimada entre 7 y 18 t de materia seca/ha (Romero *et al*., 2009). Existen alternativas para manejar el RAC las cuales comprenden: la conservación del residuo agrícola sobre el suelo como cobertura ("mulching"), su incorporación en los primeros centímetros del perfil de suelo, y su enfardado y retiro parcial o total del campo. Eliminar el RAC del suelo después de la cosecha puede ser recomendable en zonas con altas precipitaciones, o donde existe la influencia de una capa freática cercana a la superficie del suelo.

Por otro lado, la conservación del RAC sobre la superficie del suelo aporta materia orgánica favorece el reciclado de nutrientes, mejora el estatus hídrico del suelo, reduce la erosión, contribuye al control de malezas y favorece la actividad y el desarrollo de la microflora benéfica del suelo (Digonzelli *et al*., 2016). La evolución de la flora microbiana constituye uno de los parámetros críticos a tener en cuenta al evaluar la calidad del suelo, debido a que la actividad biológica contribuye al mantenimiento de su fertilidad y funcionalidad. Considerando este aspecto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de diferentes sistemas de manejos de RAC sobre la actividad enzimática total del suelo, la presencia de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y el contenido de proteínas relacionadas con la glomalina total (PRGT) y con la glomalina fácilmente extractable (PRGFE) del suelo que son un parámetro sensible a los cambios en el manejo de los suelos agrícolas.

Materiales y métodos

Descripción del ensayo

Las evaluaciones se realizaron sobre un ensayo implantado en agosto del 2011 en la finca El Potrero (Bulacio Argenti S.A), ubicada en el departamento de Simoca, en la región de la Llanura deprimida salina. El área se caracteriza por la presencia de una capa freática de tenor salino que fluctúa durante el año, si bien la finca mencionada cuenta con un sistema de drenajes que controlan su nivel. Se trabajó con la variedad LCP 85-384, por ser la más cultivada en Tucumán. Los tratamientos evaluados fueron: a) mantenimiento del RAC como cobertura sobre el suelo (RC), b) eliminación del RAC mediante quema poscosecha (RQ), y c) incorporación mecánica del RAC (RI). El diseño experimental fue completamente aleatorizado con tres repeticiones y las evaluaciones se realizaron durante 2 ciclos agrícolas (2017/18 y 2018/19), salvo en el caso de la cuantificación de PRGT y PRGFE que se realizó en el ciclo 2018/19. El diseño experimental fue completamente

aleatorizado con 3 repeticiones por cada tratamiento. Cada parcela experimental estuvo formada por 5 surcos de 10 m de longitud y las muestras de suelo se tomaron a una profundidad de 0-10 cm en los tres surcos centrales. Las muestras obtenidas se conservaron a 4º C hasta su procesamiento en el laboratorio. Los datos obtenidos fueron evaluados estadísticamente mediante el análisis de la varianza (ANOVA) y la Prueba de las Mínimas Diferencias Significativas (LSD) con el software estadístico InfoStat para Windows.

Evaluación de la actividad enzimática total: Se utilizó la técnica de la fluoresceína diacetato (FDA) descripta por Adam y Duncan (2000). Para ello, 2 g de suelo se resuspendieron en buffer fosfato 60 mM (pH: 7,6) y FDA (1000 ug/ ml). La mezcla se incubó a 30ºC 20 min, luego se detuvo la reacción con una mezcla cloroformo:metanol (2:1 v/v) y se centrifugaron las muestras (4000 rpm, 5 min). Se conservó el sobrenadante a fin de determinar la fluoresceína liberada midiendo absorbancia a 490 nm en espectrofotómetro.

Evaluación de la colonización por micorrizas: Las raíces de las plantas de caña de azúcar se lavaron con agua corriente, se cortaron en fragmentos de 1 cm y se trataron con KOH 10% (p/v) a temperatura ambiente durante 20 hs. Luego, los fragmentos se lavaron con agua corriente y se sumergieron en HCl al 10% v/v durante 10 min. Las raíces se tiñeron en Azul de trypan 0,05 % (p/v), calentándolas a baño maría (90ºC) durante 10 min, se montaron en glicerol y se observaron en el microscopio. Por cada parcela, se realizó la observación de 50 muestras de raíces diferentes y se calculó el porcentaje de colonización

Extracción y cuantificación de glomalina total (PRGT) y fácilmente extractable (PRGFE): La concentración de PRGT y PRGFE se determinó utilizando la metodología propuesta por Wright y Upadhyaya, (1996). Para la extracción de la PRGT, a partir de 1 g de suelo se realizaron ciclos sucesivos de calentamiento en autoclave (121ºC) por 60 min, usando buffer citrato 50 mM, pH 8 hasta que el sobrenadante no presento color. Para la extracción de PRGFE, 1 g de suelo se suspendió en buffer citrato 20 mM, pH 8. La suspensión se calentó en autoclave (121ºC) por 30 min. El sobrenadante fue almacenado a 4 ºC hasta su análisis. La cuantificación de PRGT y PRGFE se realizó con la prueba de medición de proteínas totales de Bradford.

Resultados y discusión

Determinación de la actividad enzimática total

Los resultados de las evaluaciones de los ciclos 2017/2018 y 2018/2019 mostraron que la actividad FDA presentó un aumento en los meses de temperaturas más cálidas (noviembre a marzo), y a disminuir en los meses de temperaturas más bajas (junio a octubre) (Figura 1). Esta variación estacional de la actividad FDA, coincide con otros trabajos que afirman que los cambios estacionales en la humedad, temperatura y pH impactan tanto sobre la biomasa microbiana como sobre la actividad enzimática edáfica (Ouro *et al*., 2001). Entre los microorganismos responsables de la actividad FDA en el suelo están los aerobios mesófilos totales, hongos, levaduras y bacterias del género *Pseudomonas* (Alkorta *et al*., 2003). En trabajos previos se demostró que las bajas temperaturas disminuyen la viabilidad de estos grupos de microorganismos, principalmente cuando el RAC se deja como cobertura (Tortora *et al.,* 2013). Al comparar la actividad FDA entre los tratamientos en cada fecha de evaluación, se observó que, para ambos ciclos y prácticamente en todas las fechas de evaluación, los tratamientos RC y RI presentaron valores de actividad enzimática total

significativamente superiores a RQ. Asimismo, luego de la cosecha, todos los tratamientos presentaron una disminución en la actividad FDA, aunque solo fue significativa en RC (dato no mostrado). Este comportamiento probablemente se deba tanto a las bajas temperaturas que ocurren durante esa época del año, como a la perturbación del sistema que previo a la cosecha se encontraba en equilibrio.

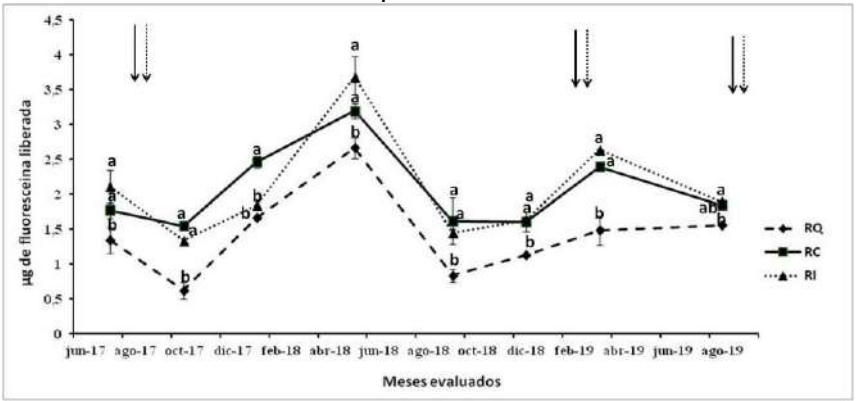


Figura 1. Cuantificación de actividad enzimática total (FDA) para los diferentes tratamientos (2017-2019). Flechas negra y punteada indican momento de cosecha y quema (RQ), respectivamente. Letras diferentes indican diferencias significativas (LSD p≤ 0,10).

La mayor actividad enzimática total por hidrólisis de FDA que se observó en los tratamientos RC y RI, podría explicarse considerando que existe una mayor disponibilidad de nutrientes para los microorganismos del suelo. Así, en distintos trabajos se ha descripto que la actividad agrícola conservacionista, con prácticas de labranza mínima y siembra directa, favorece la colonización y desarrollo de diferentes comunidades microbianas (Bending, 2002). Las poblaciones microbianas del suelo pueden responder rápidamente a cambios introducidos en el sistema como consecuencia de diferentes prácticas de manejo constituyendo, por lo tanto, adecuados indicadores de los efectos de estas prácticas.

Determinación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA)

En los ciclos 2017/2018 y 2018/2019, todas las muestras de raíces analizadas presentaron colonización por HMA, independientemente del tratamiento evaluado. Esto coincide con lo reportado por Azevedo *et al.,* (2014) quienes confirmaron que la caña de azúcar es capaz de asociarse naturalmente con una diversidad de hongos micorrízicos arbusculares de los géneros *Glomus*, *Acaulospora* sp. y *Funneliformis* sp. Al cuantificar la colonización radicular, observamos que existen diferencias significativas entre los distintos tratamientos evaluados ($p<0.10$) (Figura 2).

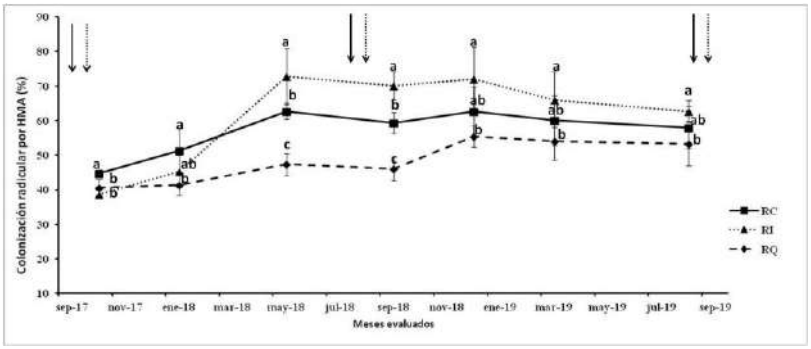


Figura 2. Colonización radicular (%) para los diferentes tratamientos (2017-2019). Flechas negra y punteada indican momento de cosecha y quema (RQ), respectivamente. Valores de HMA con diferentes letras son estadísticamente diferentes (prueba de LSD fisher p≤ 0,10).

En general, los mayores porcentajes de colonización se observaron en las raíces de plantas crecidas en las parcelas RC y RI, en comparación con RQ. Esto podría explicarse, teniendo en cuenta que la mayor conservación de humedad del suelo cuando se deja el RAC como cobertura y el incremento en el contenido de materia orgánica como resultado de la descomposición del RAC, son factores que favorecen la colonización radicular por HMA (Turmel *et al.*, 2015). De esta forma, se observó que durante todos los muestreos del primer ciclo de cultivo evaluado (2017/2018) los valores de colonización fueron significativamente mayores para las plantas crecidas en las parcelas RC con respecto a RQ. Mientras que, en el ciclo 2018/2019, las parcelas RI fueron las que presentaron la mayor colonización radicular por HMA respecto a RQ.

Cuantificación de proteínas relacionadas con la glomalina total (PRGT) y fácilmente extractable (PRGFE)

En la Figura 3 se muestra el contenido de PRGFE en el ciclo 2018/19, para los muestreos realizados antes de la cosecha el contenido de PRGFE. En los tratamientos RC y RI, este parámetro fue significativamente superior al encontrado en RQ. En el primer muestreo después de cosecha (Setiembre 2018) no hubo diferencias entre tratamientos, mientras que en los muestreos subsiguientes el contenido de PRGFE fue mayor para RC respecto a RQ.

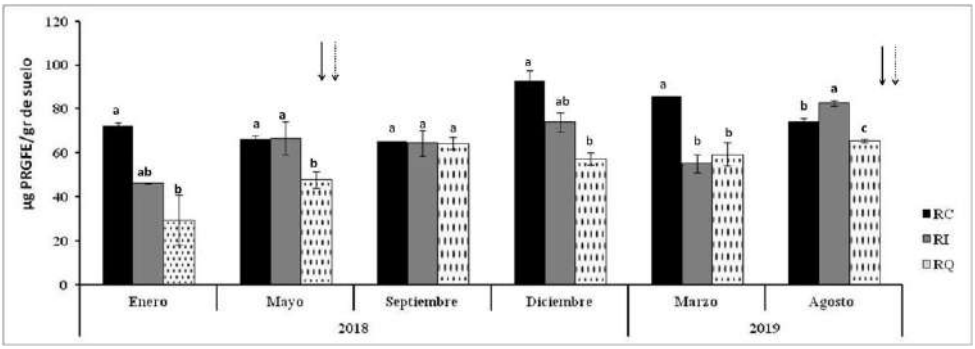


Figura 3. Cuantificación de proteínas relacionadas con la glomalina fácilmente extractable (PRGFE) para los diferentes tratamientos. Flechas negra y

punteada indican momento de cosecha y quema (RQ), respectivamente Valores de PRGFE con diferentes letras son estadísticamente diferentes (prueba de LSD fisher p≤ 0,10).

Resultados similares se obtuvieron al analizar el contenido de PRGT de los diferentes tratamientos. Al evaluar el contenido de PRGT, se observó que, en general, este indicador fue mayor para las parcelas donde el RAC se dejó como cobertura (RC) o se incorporó en forma mecánica (RI), con respecto a los tratamientos RQ. Estas diferencias fueron significativas, especialmente en el caso de RC, y se mantuvieron en la mayoría de los muestreos realizados (figura 4).

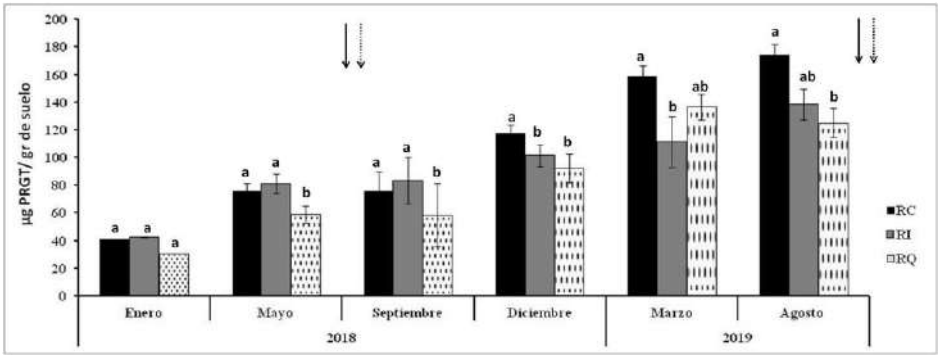


Figura 4. Cuantificación de proteínas relacionadas con la glomalina total (PRGT) para los diferentes tratamientos. Flechas negra y punteada indican momento de cosecha y quema (RQ), respectivamente. Valores de PRGT con diferentes letras son estadísticamente diferentes (prueba de LSD fisher p≤ 0,10).

Nuestros resultados coinciden con los reportados por Pattinson *et al.,* (1999), quienes establecieron que los HMA y la glomalina, junto con otros parámetros de suelo, son significativamente afectados por las altas temperaturas. Los resultados obtenidos al evaluar el contenido de PRGT, tienen correlación con los obtenidos anteriormente al evaluar el porcentaje de colonización radicular por HMA, lo que era de esperarse considerando que la presencia de proteínas relacionadas con la glomalina en el suelo está estrechamente relacionada con el contenido de esporas de HMA (Seguel *et al*., 2008). La utilización de sistemas agrícolas sustentables, como lo son los tratamientos RC y RI, al favorecer un incremento en los niveles de glomalina contribuyen, por un lado, a la estabilización de los agregados del suelo, y por otro, a mejorar su fertilidad, debido a que la glomalina es considerada como una gran reserva de C y N (Lozano *et al*., 2013).

Conclusiones

Según los resultados obtenidos, podemos concluir que los indicadores biológicos del suelo que se evaluaron en este trabajo responden rápidamente a cambios introducidos en el sistema debido a diferentes prácticas de manejo del RAC constituyendo, por lo tanto, adecuados indicadores biológicos. Estas modificaciones dependen de la época del año en la que se realice el muestreo. A diferencia de los sistemas conservacionistas como los implementados en los tratamientos RC y RI, la quema del RAC luego de la cosecha, afecta significativamente la actividad FDA y reduce la presencia de HMA asociados al sistema radicular y los niveles de glomalina presentes en el suelo.

La conservación del RAC como cobertura o su incorporación en forma mecánica constituyen alternativas de manejo sustentables para los cañaverales, que favorecen la participación de los microorganismos del suelo en su estabilización y funcionalidad.

Bibliografía

Adam G., Duncan H. (2000). Development of a sensitive and rapid method for the measurement of total microbial activity using fluorescein diacetate (FDA) in a range of soils. Soil Biology and Biochemistry 33: 943-951.

Alkorta I., Aizpurua A., Riga P., Albizu I., Amézaga I., Garbisu C. (2003). Soil enzyme activities as biological indicators of soil health. Environmental Health 18 (1): 65-73.

Azevedo L.C.B.D., Stürmer S.L., Lambais M.R. (2014). Early changes in arbuscular mycorrhiza development in sugarcane under two harvest management systems. Brazil Journal Microbiology 45 (3): 995-1005.

Bending G.D., Turner M.K., Jones J.E. (2002). Interactions between crop residue and soil organic matter quality and the functional diversity of soil microbial communities. Soil Biology and Biochemistry 34: 1073-1082.

Romero E.R., Scandaliaris P., Digonzelli P., Alonso L.G.P., Leggio Neme M.F., Giardina J.A., Casen S.D., Tonatto M.J., Fernández de Ullivarri J., Casen S.D., Alonso L.G.P. (2009). Effect of variety and cane yield on sugarcane potencial trash. Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán. 86(1): 9-13.

Digonzelli, P. A.; Fernández de Ullivarri, J.; Medina, M.; Pérez Taboada, S., Rojas Quinteros, H. y Leggio, M.F. (2016). Análisis de la descomposición del residuo de la cosecha en verde del cañaveral (RAC) en tres ensayos diferentes. XX Reunión Técnica Nacional de la Caña de Azúcar. Trabajo completo en CD: 5 pp. Tucumán, Argentina.

Lozano E., Jiménez-Pinilla P., Mataix-Solera J., Arcenegui V., Bárcenas G.M., González-Pérez J.A., García-Orenes F., Torres M.P., Mataix-Beneyto J. (2013). Biological and chemical factors controlling the patchy distribution of soil water repellency among plant species in a Mediterranean semiarid forest. Geoderma 207-208, 212-220.

Ouro G., Pérez-Batallón P., Merino A. (2001). Effects of silvicultural practices on nutrients status in a *Pinus radiata* plantation: Nutrient export by tree removal and nutrients dynamics in decomposing logging residues. Annual Forest of Science 58: 411-422

Pattinson G.S., Hammill K.A., Sutton B.G., McGee P.A. (1999). Simulated fire reduces the density of arbuscular mycorrhizal fungi at the soil surface. Mycology Research 103 (4): 491-496.

Tortora M.L., Grellet Naval N., Vera L., Fernández de Ullivarri J., Digonzelli P.A., Romero E.R. (2013). Efecto del residuo agrícola de la cosecha en verde de la caña de azúcar en el desarrollo de microorganismos de importancia agrícola y ambiental. Rev. Ind. Agric. de Tucumán. 90(1):61-68.

Seguel A., Rubio R., Carrillo R., Espinosa A., Borie F. (2008). Niveles de glomalina y su relación con características químicas y biológicas del suelo (andisol) en un relicto de bosque nativo del sur de Chile. Bosque (Valdivia) 29 (1): 11-22.

Turmel M.S., Speratti A., Baudron F., Verhulst N., Govaerts B. (2015). Crop residue management and soil health: A systems analysis. Agronomy 134: 6-16.

Wright S, A Upadhyaya. 1996. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Sci.* 161: 575-586.

RESULTADOS PRELIMINARES DEL USO DE POLÍMEROS ABSORBENTES EN REFALLE DE LOTES COMERCIALES CON PLANTINES DE CAÑA DE AZÚCAR

Medina, M.M.; Giardina, J.A.; Fernández González, P.E.; Alonso, L.P.; Romero, E. y Digonzelli, P.A. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres. William Cross N°3150. Las Talitas, Tucumán-Argentina. mmedina@eeaoc.org.ar

Palabras claves: Fallas, rendimiento, plantación, hidrogel, yemas.

Introducción

En Tucumán cerca del 90% de la caña de azúcar se cultiva en secano y la época típica de plantación coincide con la escasez de precipitaciones (otoño-invierno). Estas dos situaciones, sumadas a años con primaveras muy secas (momento de emergencia de los brotes), incrementan la posibilidad de que ocurran fallas en las plantaciones, afectando negativamente el rendimiento cultural y la vida útil del cañaveral.

Los plantines de alta calidad obtenidos a partir de yemas aisladas extraídas *in situ*, representan una alternativa para el refalle de las plantaciones comerciales. En ese sentido, la EEAOC, en su constante búsqueda de nuevas tecnológicas aplicables al cultivo, que permitan su correcto establecimiento, desarrollo y crecimiento, inició en 2016 la evaluación de un hidrogel de uso comercial para ser empleado al momento de la plantación (Fernández González *et al.,* 2021).

Los hidrogeles son polímeros que tienen la capacidad de absorber y ceder gradualmente cantidades de agua y otras soluciones acuosas sin disolverse. Este proceso ocurre a distintas velocidades de acuerdo al grado de polimerización del material (Estrada Guerrero, *et al*., 2010). Estos polímeros contribuyen al aumento de la capacidad de retención de agua del suelo y permiten una utilización más eficiente de los recursos disponibles.

Se trabajó con el producto STOCKOSORB® 660 M (Evonik) que es polímero acondicionador de suelo diseñado y desarrollado especialmente para la retención y suministro de agua y nutrientes, en sustratos y suelo.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el refalle, con plantines de caña de azúcar de alta calidad, de un lote comercial con 40 % de fallas, comparando dos situaciones: 1) usando el polímero prehidratado y sin aplicar riego y 2) sin usar el polímero prehidratado y aplicando un riego de 30 mm inmediatamente después de la plantación de los plantines.

Materiales y Métodos

El ensayo se llevó a cabo en la localidad Los Gómez, Dpto. Leales, Tucumán, ubicado en la región agroecológica de la Llanura Deprimida Salina. En esta zona la precipitación anual varía entre 650 y 900 mm.

Se trabajó con plantines de caña de azúcar de alta calidad obtenidos a partir de yemas aisladas de la variedad TUC 95-10, la segunda más difundida en nuestra provincia. Los plantines utilizados presentaban un estado de crecimiento similar tomando en cuenta la altura y el diámetro de los tallos y el número de hojas verdes expandidas.

El diseño experimental fue en bloques al azar, con cuatro repeticiones. La parcela experimental estuvo formada por cuatro surcos de 10 metros de largo. En todas las parcelas se eliminaron cepas de caña para generar un 40 % de fallas. Este porcentaje de fallas en una plantación comercial lleva a la necesidad de refalle.

Los tratamientos fueron: T1) Testigo sin refallar, T2) Refallado con plantines y regado, y T3) Refallado con plantines con polímero pre-hidratado y sin riego.

En los tratamientos con refalle se colocaron los plantines en un diseño a tres bolillos. En T2 se aplicó un único riego con una lámina de 30 mm inmediatamente después de la implantación de los plantines. En T3 el hidrogel prehidratado se colocó en el fondo del pozo de plantación, a la dosis recomendada de 300 ml por plantín. Luego, los plantines se taparon cuidadosamente, para asegurar un buen contacto con el suelo. Al momento de cosecha se evaluaron las siguientes variables:1) Población de tallos (Número de tallos/m) y 2) peso individual de tallos (kg).La población se determinó en los dos surcos centrales en estaciones fijas de conteo de cinco metros de longitud. Para la determinación del peso individual de tallos, se tomaron 10 tallos corridos los cuales se pelaron, se despuntaron en el punto de fragilidad natural y se pesaron. A partir de estos componentes se estimaron el número total de tallos/ha y el rendimiento cultural de caña/ha de cada una de las alternativas ensayadas

Los resultados obtenidos para los distintos tratamientos fueron sometidos a análisis de la varianza (ANOVA) y prueba LSD de Fisher de comparación de medias.

Resultados

En la Figura 1 se grafican los valores promedio de número de tallos/m para los tres tratamientos ensayados en las edades de caña planta, soca 1 y soca 2. En la figura se representan además, los resultados de las pruebas de comparación de medias obtenidas a partir de los análisis de la varianza efectuados. La existencia de diferencias significativas entre tratamientos dentro de cada edad, se indica mediante letras diferentes.

En la caña planta la población varió entre 13,5 y 16,1 tallos/m, siendo estadísticamente significativas las diferencias entre el T1 y los tratamientos T2 yT3, los cuales a su vez no presentaron diferencias entre ellos. El mismo comportamiento se observó en las edades de soca 1 y soca 2. Para la caña planta las diferencias en el número de tallos entre T1 y los otros dos tratamientos representaron un incremento en la población del 13,3% y del 19,2% a favor de T2 y T3, respectivamente. Para la soca 1 el aumento de la población de tallos fue del 12,4% y el 10,8% para T2 y T3, respectivamente. En soca 2 en T2 y T3 la diferencia en el número de tallos resultó en un incremento del 18,5 % y 16,4 % con respecto al testigo.

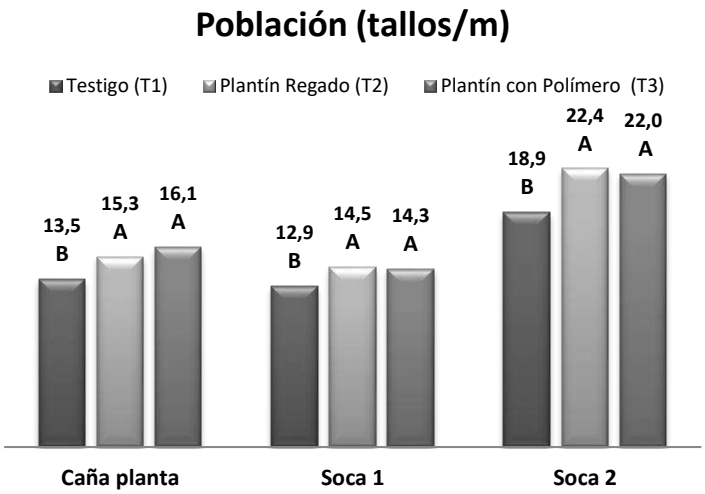


Figura 1. Población de tallos (tallos/m) en T1, T2 y T3 al final de los tres ciclos agrícolas evaluados (2020-2022). Diferencias según test de Fisher al 5%. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (p<= 0,05). Tucumán, Argentina.

Al analizar el peso individual de tallos (Tabla 1) se observa que, en general, no hubo diferencias entre los tratamientos, salvo para la edad de soca 1 en la cual el peso individual de los tallos fue mayor para T2 respecto a T3, aunque no presentó diferencias con el testigo.

Tabla 1. Valores medios de peso por tallo (kg).Testigo (T1), plantín regado (T2) y plantín con polímero (T3). Período 2020-2022.Tucumán – Argentina. Se indica las diferencias según test de Fisher al 5%.

Tratamientos	Peso por tallo (kg)		
	Caña planta	Soca 1	Soca 2
Testigo (T1)	0,91 **A**	0,86 **AB**	0,64 **A**
Plantín regado (T2)	0,96 **A**	0,91 **A**	0,67 **A**
Plantín con polímero pre-hidratado (T3)	1,08 **A**	0,81 **B**	0,69 **A**

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (p<= 0,05).

En la Figura 2 al analizar el rendimiento cultural (t/ha), se observaron diferencias significativas entre T1 y T3, en dos de las tres edades analizadas (caña planta y soca 2), con una diferencia máxima de 25,2 t/ha a favor de T3 en caña planta. En el caso del T2 el rendimiento cultural fue similar al obtenido en T3 en las tres campañas estudiadas, siendo significativamente mayor que el testigo sin refallar en las dos edades de socas analizadas. La máxima diferencia de producción con el testigo fue de 18,7 t/ha en la soca 2.

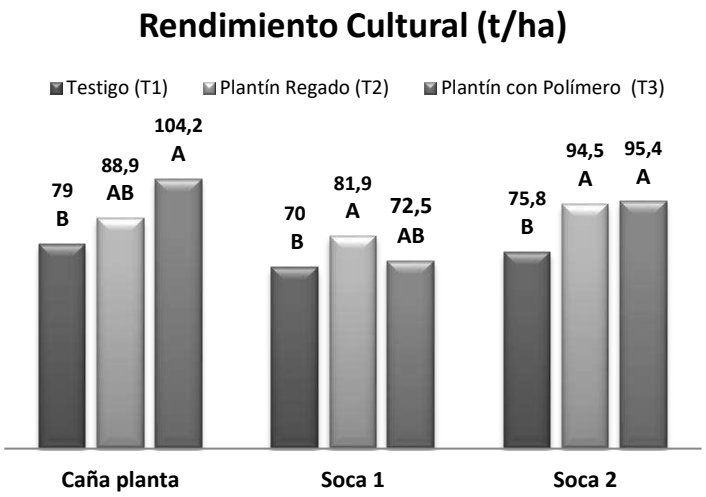


Figura 2. Rendimiento cultural promedio (t/ha) en T1, T2 y T3 al final de los tres ciclos agrícolas evaluados (2020-2022). Diferencias según test de Fisher al 5%. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (p<= 0,05). Tucumán, Argentina.

Conclusiones

En general se observó un efecto positivo del refalle sobre la producción cultural en las tres edades del cañaveral estudiadas,

El refalle permitió un aumento significativo en la población de tallos, principal componente del rendimiento cultural.

Con el empleo de plantines de alta calidad aplicando un riego o utilizando el polímero pre-hidratado sin regar, se obtuvieron poblaciones de tallos y rendimientos culturales similares. Son necesarios mayores estudios relacionados con el uso de este tipo de productos para favorecer el establecimiento de plantines de caña de azúcar en condiciones de secano.

Bibliografía

Estrada Guerrero, R.F.; Lemus Torres, D.; Mendoza Anaya, D.; Rodríguez Lugo; V. 2011.Hidrogeles biopoliméricos potencialmente aplicables en agricultura. Rev. Iberoam. Polim., 12(2), 76-87.

Fernández González, P.E.; Giardina, J.A.; Medina, M.; Romero, E. y Digonzelli, P. 2021.Hidrogeles en suelos cañeros. Revista Avance Agroindustrial. 42 (2): 29-31.

BACTERIAS PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL AISLADAS DE CAÑA DE AZÚCAR MEJORAN LA SUPERVIVENCIA DE PLANTAS MICROPROPAGADAS DURANTE LA ACLIMATACIÓN.

Michavila G.[1]; Alibrandi P.[2]; Cinà P.[3]; Welin B.[1]; Castagnaro A.P.[1]; Chalfoun N.R.[1]; Noguera A.S.[1]; Puglia A.M.[4]; Ciaccio M.[5]; Racedo J.[1]

[1]Instituto de Tecnología Agroindustrial del Noroeste Argentino (ITANOA), Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) - CONICET NOA Sur, Las Talitas, Tucumán, Argentina.
[2]Department of Life Sciences and Systems Biology, University of Turin, Italia.
[3]ABIEL srl c/o Arca Incubatore di imprese, Palermo, Italia.
[4]Laboratory of Molecular Microbiology and Biotechnology, STEBICEF Department, University of Palermo, Italia.
[5]Institute for Biomedical Research and Innovation, National Research Council, Palermo, Italia.

gabrielamichavila@hotmail.com

Palabras Clave: *Bacillus*; *Paenibacillus*; *Pseudomonas*; *Saccharum* spp.

Introducción

Tradicionalmente la caña de azúcar se multiplica por medio de estacas, llamadas “caña semilla”. Esta propagación agámica favorece la difusión de enfermedades sistémicas, lo que provoca importantes pérdidas de producción. Mediante técnicas de cultivo de meristemas y micropropagación se puede obtener caña semilla de alta calidad, es decir, con pureza genética y sanidad garantizada. Las plántulas obtenidas *in vitro* se aclimatan a las condiciones *ex vitro* en invernadero y posteriormente se multiplican en viveros a campo para producir suficiente caña semilla para la siembra comercial. A lo largo del proceso de propagación *in vitro*, las plantas mantienen principalmente un metabolismo heterótrofo (Kozai *et al*., 2005), y sufren un estrés severo cuando se transfieren a condiciones de crecimiento autotrófico *ex vitro*, durante la etapa de aclimatación. Como consecuencia, aunque se tomen todas las precauciones pertinentes, puede ocurrir una pérdida significativa de plántulas en esta etapa. Una de las principales causas informadas de la alta mortalidad de los brotes, es la desecación debido a la transpiración descontrolada y a las graves deficiencias nutricionales durante este período de transición (Oliveira *et al*., 2002; Yadav *et al*., 2019). Además, considerando que la técnica de micropropagación de meristemas elimina no sólo a los microorganismos patógenos sino también a la mayoría de los microorganismos endófitos benéficos, la etapa de aclimatación podría ser un escenario útil para estudiar los efectos beneficiosos de las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPB, por sus siglas en inglés de *Plant growth-promoting bacteria*).

Objetivos

Aislar y caracterizar PGPB de diferentes hábitats de caña de azúcar y analizar su uso potencial como herramienta biológica para mejorar la supervivencia de plantas de caña de azúcar micropropagadas durante la aclimatación *ex vitro*.

Materiales y métodos

MUESTREO Y AISLAMIENTOS BACTERIANOS

El material vegetal de partida para la obtención de los aislamientos bacterianos se recolectó en 2014 y 2016, en un campo experimental de caña de azúcar de la EEAOC, Tucumán,

Argentina. Cada año, se recolectaron y agruparon al azar cinco plantas de caña de azúcar del cultivar comercial LCP 85-384 para obtener una muestra compuesta representativa de aislados bacterianos. Las muestras de rizósfera, rizoplano, raíces y tallos se procesaron por separado en el laboratorio, como se describe en Michavila *et al*. 2022.

SECUENCIACIÓN DEL GEN ADNr 16S Y ANÁLISIS FILOGENÉTICO DE AISLADOS.
Para identificar los aislados bacterianos a nivel de género, se realizó una PCR de colonias utilizando los cebadores universales 27F y 1492R, que amplifican alrededor de 1~~0~~500 pb (dependiendo del género) del gen 16S del ADN ribosomal (Frank *et al*., 2008). Los amplicones se purificaron utilizando PCR *clean up kits* (Sigma-Aldrich, St Louis, EE. UU.) siguiendo las instrucciones del fabricante, mientras que la secuenciación fue realizada por BMR Genomics S.R.L. (Italia, http://www.bmr-genomics.it/). La calidad de los cromatogramas obtenidos se verificó a través del software FinchTV de Geospiza (Perkin Elmer Inc., Waltham, EE. UU.; www.geospiza.com/Products/finchtv.html) y los aislamientos se identificaron mediante secuenciación parcial de ADNr 16S seguido de ~~l~~a alineamiento por BLAST (*Basic Local Alignment Search Tool*) contra la base de datos Genbank del Centro Nacional de Información Biotecnológica (NCBI). Posteriormente se realizó un análisis filogenético alineando las secuencias parciales del gen ADNr 16S con las secuencias de mayor identidad, así como con otras secuencias de referencia de cada género identificado.

DETECCIÓN *IN VITRO* DE POTENCIALES ACTIVIDADES PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL
Se evaluaron 24 aislamientos bacterianos según las siguientes características de promoción del crecimiento vegetal (PGP): solubilización de fosfato orgánico e inorgánico, fijación potencial de nitrógeno (medida como crecimiento en medio libre de nitrógeno), producción de sideróforos y de ácido indol acético (IAA). Cada ensayo se realizó por triplicado siguiendo los ensayos descriptos en Michavila *et al*. 2022.

INOCULACIÓN DE PLÁNTULAS DE CAÑA DE AZÚCAR MICROPROPAGADAS
Mediante el cultivo *in vitro* de meristemas se obtuvieron plántulas de caña de azúcar micropropagadas de la variedad TUC 03-12, siguiendo el proceso de producción de caña semilla de alta calidad de la EEAOC (Noguera *et al*., 2013). Después del proceso de multiplicación y enraizamiento *in vitro*, las plántulas se transfirieron a condiciones *ex vitro* en un vivero para su aclimatación. Para la inoculación de plántulas, se seleccionaron tres cepas bacterianas, 182-*Bacillus* (número depósito de GenBank MT581442), 221-*Paenibacillus* (número depósito de GenBank MT581441) y 336-*Pseudomonas* (número depósito de GenBank MT581443), en función de su perfil de marcadores bioquímicos. Para llevar a cabo la inoculación, las colonias bacterianas individuales se colocaron en medio líquido LB y se cultivaron a 28 °C con agitación durante 24 h, posteriormente las células se cosecharon por centrifugación a 2100 g durante 10 min a 4 °C. Se descartó el sobrenadante y el sedimento celular se resuspendió en agua destilada estéril y se diluyó a una DO 600 de 0,1. Esta suspensión bacteriana se utilizó para sumergir las raíces de plántulas micropropagadas de la variedad de caña de azúcar TUC 03-12, escogida por tener una tasa de mortalidad relativamente alta durante la aclimatación *ex vitro*. Las raíces de las plantas se sumergieron en la suspensión durante 30 min antes de transferirlas al sustrato. Plántulas sumergidas en agua destilada estéril se incluyeron como control.

MEDICIÓN DE LA TASA DE SUPERVIVENCIA EN ACLIMATACIÓN DE PLÁNTULAS DE CAÑA DE AZÚCAR MICROPROPAGADAS

El ensayo se realizó con un diseño experimental completamente al azar utilizando tres bandejas con 25 plántulas por cada tratamiento. Después del tratamiento con bacterias o agua, las plántulas se transfirieron a un vivero para su aclimatación. La supervivencia de las plantas (tasa de plantas supervivientes) se evaluó cada tres días durante 30 días.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Cada bandeja de plántulas que contenía 25 plantas se consideró como una unidad experimental. Se evaluaron tres bandejas para cada factor de tratamiento (Control, 182-*Bacillus*, 221-*Paenibacillus* y 336-*Pseudomonas*). Este ensayo se repitió tres veces de forma independiente, utilizando diferentes lotes de plántulas. Centrándose en el día 30, se realizó un Modelo Lineal Generalizado bajo distribución binomial y link logit con el factor de tratamiento como efecto fijo y el ensayo como efecto aleatorio. Se llevaron a cabo análisis adicionales para evaluar las diferencias en la tasa de mortalidad entre los factores de tratamiento dentro de cada ensayo. Se realizaron múltiples comparaciones con el método a posteriori DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves). Todos los análisis se realizaron con Infostat v. 2020.

Resultados

AISLAMIENTO E IDENTIFICACIÓN DE BACTERIAS.

Se obtuvieron un total de 162 aislamientos de caña de azúcar. Sobre la base de las diferencias de morfología de las colonias y el patrón de crecimiento, se seleccionaron 24 aislados para experimentos adicionales y para la identificación de género a partir de la secuencia parcial del gen ADNr 16S. Todas las secuencias mostraron una alta homología (> 98,5%) con secuencias de bacterias depositadas en la base de datos del NCBI. A partir de los alineamientos BLAST se determinó que los 24 aislamientos pertenecían a los géneros: *Achromobacter*, *Acinetobacter*, *Bacillus*, *Brevibacterium*, *Escherichia*, *Klebsiella*, *Kosakonia*, *Paenibacillus*, *Pseudomonas* y *Rhizobium*.

CARACTERIZACIÓN DE BACTERIAS COMO PGPB

La mayoría de los 24 aislados bacterianos seleccionados poseían más de una característica asociada con la actividad de PGP. En cuanto a la solubilización de fosfatos, 14 aislados exhibieron la capacidad de solubilizar al menos una de las cuatro fuentes de fosfato evaluadas, de los cuales tres aislados (188-*Escherichia*, 329-*Kosakonia* y 336-*Pseudomonas*) pudieron solubilizar el fosfato de todas las fuentes evaluadas.

Todos los aislados estudiados crecieron en medio Jensen sin fuente de nitrógeno, lo que demuestra su potencial capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico. Sólo se observaron cuatro cepas productoras de sideróforos; mientras que 11 aislamientos mostraron evidencia de producción de AIAA.

EFECTOS DE AISLADOS BACTERIANOS EN PLÁNTULAS DE CAÑA DE AZÚCAR MICROPROPAGADAS

Se seleccionaron los aislados 336-*Pseudomonas*, 221-*Paenibacilus* y 182-*Bacillus* para los siguientes experimentos. El progreso de la tasa de mortalidad a lo largo del tiempo fue significativamente diferente en cada tratamiento bacteriano, en comparación con la tasa de mortalidad de las plántulas tratadas con agua (control) (Fig. 1).

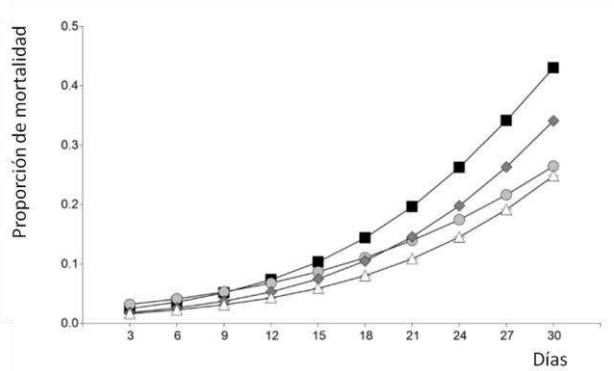


Figura 1. Tasa de mortalidad de plántulas de caña de azúcar micropropagadas en etapa de aclimatación *ex vitro*. Las plántulas de caña de azúcar cultivadas *in vitro* se trataron con agua (control) (■), 182-*Bacillus* (▲), 221-*Paenibacillus* (♦) y 336-*Pseudomonas* (●). Después de los tratamientos, se evaluó la supervivencia de las plantas durante 30 días en invernadero.

Al final de los experimentos (día 30) se observaron diferencias significativas entre tratamientos. Las cepas 182-*Bacillus* y 336-*Pseudomonas* mejoraron significativamente la tasa de supervivencia de las plántulas en aclimatación con respecto a las plantas control. Cuando cada ensayo se analizó de forma independiente, el día 30 se observó que la supervivencia de las plántulas variaba significativamente entre los tres experimentos (Fig. 2). En el ensayo con el primer lote de plántulas, la tasa de mortalidad más alta se obtuvo para las plantas testigo tratadas con agua (0,56 ± 0,06). En estas condiciones, sólo la cepa 336-*Pseudomonas* logró mejorar significativamente la supervivencia. En el ensayo con el segundo lote de plántulas, se observó una baja tasa de mortalidad (entre 0,16 y 0,25) para todos los tratamientos (incluido el testigo). Finalmente, utilizando el tercer lote de plántulas, los tres tratamientos bacterianos mostraron diferencias estadísticamente significativas con respecto a las plantas control, mejorando la supervivencia de las plantas transferidas. Cabe destacar que el tratamiento de las plantas con la cepa 336-*Pseudomonas* mostró una baja tasa de mortalidad en los tres ensayos realizados (0,21, 0,19 y 0,21, respectivamente).

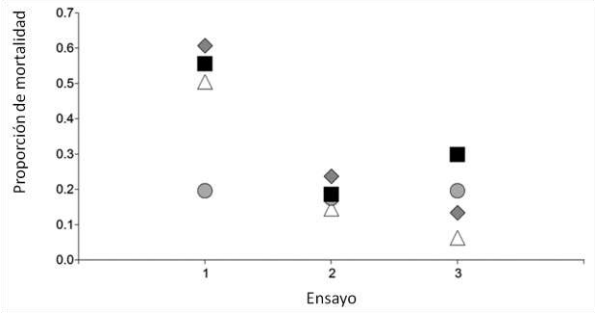


Figura 2. Mortalidad de plantas a los 30 días, en tres ensayos independientes. La proporción de mortalidad para plántulas de caña de azúcar tratadas con agua (control) (■), 182-*Bacillus* (▲), 221-*Paenibacillus* (♦) y 336-*Pseudomonas* (●) se muestran en el gráfico. Los datos se presentan como proporción de plántulas muertas a los 30 días en cada experimento.

Conclusiones

La inoculación de plántulas de caña de azúcar micropropagadas con la cepa 336-*Pseudomonas* mejoró significativamente la supervivencia durante la etapa de aclimatación en un 20%, permitiendo su adaptación a las diferentes condiciones de estrés que ocurren

durante la etapa más crítica del proceso. Estos resultados tienen potencialmente un gran impacto en la producción de caña de semilla saneada y de pureza genética garantizada de la variedad TUC 03-12.

Citas bibliográficas

Frank J.A.; Reichm C.I.; Sharma S.; Weisbaum J.S.; Wilson B.A.; Olsen G.J., 2008. Critical evaluation of two primers commonly used for amplification of bacterial 16S rRNA genes. Appl Environ Microbiol. 74:2461–2470.

Glickmann E.; Dessaux Y., 1995. A critical examination of the specificity of the Salkowski reagent for indolic compounds produced by phytopathogenic bacteria. Appl Environ Microbiol. 61:793-796.

Jensen H.L., 1942. Nitrogen fixation in leguminous plants. II. Is symbiotic nitrogen fixation influenced by *Azobacter.* Proc Linn Soc NSW, 67:205–212.

Kozai T.; Xiao Y.; Nguyen Q.T.; Afreen F.; Zobayed S.M.A., 2005. Photoautotrophic (sugar-free medium) micropropagation systems for large-scale commercialization. Propag Ornam Plants. 5:23-34.

Michavila G.; Alibrandi P.; Cinà P.; Welin B.; Castagnaro A.P.; Chalfoun N.R.; Racedo J., 2022. Plant growth-promoting bacteria isolated from sugarcane improve the survival of micropropagated plants during acclimatisation. Ital. J. Agron. 17(2).

Noguera A.S.; Paz N.V.; Díaz M.E.; Perera M.F.; Díaz-Romero C.; García M.B.; Filippone M.P.; Welin B.; Cuenya M.I.; Digonzelli P.A.; Castagnaro A.P., 2013. Production of healthy seed cane in Tucumán; Argentina. Proc Int Soc Sugar Cane Technol. 28:1-9.

Oliveira A.L.M.; Urquiaga S.; Döbereiner J.; Baldani J.I., 2002. The effect of inoculating endophytic N_2 fixing bacteria on micro propagated sugarcane plants. Plant Soil. 2:205-215.

Yadav A.; Kothari S.L.; Kachhwaha S.; Joshi A., 2019. *In vitro* propagation of chia (*Salvia hispanica* L.) and assessment of genetic fidelity using random amplified polymorphic DNA and intersimple sequence repeat molecular markers. J Appl Biol Biotechnol. 7(01):42-47.

EVALUACIÓN DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA Y LA ESTRUCTURA POBLACIONAL DE GENOTIPOS DE CAÑA DE AZÚCAR DE DIFERENTES ORÍGENES

Perera M.F.[1]; Ostengo S.[1]; Ovejero S.N.[1]; Peña Malavera A.[1]; Balsalobre T.W.A.[2]; Onorato G.D.[3]; Noguera A.S.[1]; Hoffman H.P.[2,3] y Sampaio Carneiro M.[2,3]

[1]Instituto de Tecnología Agroindustrial del Noroeste Argentino (ITANOA), Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), CCT NOA Sur. Av. William Cross 3150. Las Talitas, Tucumán, R. Argentina, T4101XAC.
[2]Departamento de Biotecnologia e Producão Vegetal e Animal, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, Araras, São Paulo, Brazil.
[3]Sugarcane Breeding Program of RIDESA/UFSCar, Araras, São Paulo, Brazil.
franciscaperera@yaoo.com.ar

Palabras clave: lignina, sacarosa, roya naranja, roya marrón, tolerancia a sequía

Introducción

En el mejoramiento genético de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) es posible obtener genotipos de mayor productividad de azúcar y/o biomasa y resistentes a enfermedades de importancia regional, a través del manejo adecuado de los recursos genéticos de los bancos de germoplasma. Por ello, los programas de mejoramiento incorporan material extranjero para ampliar su base genética. En América del Sur, los programas de mejoramiento de UFSCAR/RIDESA y EEAOC en Brasil y Argentina, respectivamente, nunca intercambiaron materiales.

Por lo general, para realizar los cruzamientos dirigidos los progenitores se seleccionan en base a características fenotípicas. Sin embargo, como estas características están influenciadas por el ambiente, el perfil molecular posibilita identificar de manera más confiable las mejores combinaciones de progenitores. A fin de detectar polimorfismos en regiones codificantes, los marcadores TRAP (de sus siglas en inglés de “Target Region Amplified Polymorphism”) constituyen una excelente opción. Específicamente, aquellos TRAP basados en genes de las rutas metabólicas de la sacarosa y la síntesis de lignina permitirían encontrar nuevas variantes alélicas considerando que aumentar el contenido de azúcar es uno de los principales objetivos de los programas de mejoramiento (Suman et al. 2012), al mismo tiempo que disminuir el contenido de lignina puede facilitar la sacarificación de la celulosa para fines de caña energética. También con el objetivo de extender la frontera cultivable puede resultar útil analizar marcadores TRAP anclados en genes de tolerancia a sequía.

En relación a las enfermedades de importancia regional, existen marcadores diagnóstico asociados a la resistencia a roya marrón (*Puccinia melanocephala*) y roya naranja (*P. kuehnii*), entre otras enfermedades. La evaluación de su presencia y frecuencia en el germoplasma permite diseñar cruzamientos con el objetivo de incorporar en la progenie, alelos de resistencia.

Considerando lo expuesto, en este trabajo se propuso conocer tanto la diversidad genética como la estructura poblacional y la presencia de marcadores asociados a la resistencia a roya marrón y naranja en genotipos de caña de azúcar pertenecientes principalmente a los programas de mejoramiento de UFSCAR/RIDESA y EEAOC, en Brasil y Argentina, respectivamente.

Materiales y métodos

Muestras y extracción de ácidos nucleicos

Se colectaron muestras de 103 genotipos de caña de azúcar en total, entre los que se incluyeron variedades comerciales y progenitores de ambos programas de mejoramiento.

Los ácidos nucleicos se extrajeron a partir de cilindros meristemáticos empleando el método de CTAB propuesto por Aljanabi *et al*. (1999). La concentración de ADN se determinó mediante espectrofotometría y la calidad del ADN se evaluó mediante electroforesis en gel de agarosa al 0,7%.

Marcadores moleculares TRAP

Las muestras fueron caracterizadas con 10 combinaciones de cebadores TRAP. Los cebadores antisentido arbitrarios fueron obtenidos de Li y Quiros (2001). Los siete cebadores sentido asociados con genes del metabolismo de sacarosa y el involucrado en la respuesta de tolerancia a sequía estuvieron basados en Alwala *et al*. (2006) y Creste *et a*l. (2010), mientras que los dos asociados a genes del metabolismo de lignina, en Suman *et al*. (2012).

Las reacciones de amplificación fueron optimizadas en nuestro laboratorio con la incorporación de un nucleótido fluorescente para separar luego los productos de amplificación en geles de poliacrilamida y visualizarlos en tiempo real en el equipo Li-cor DNA Analyzer.

Análisis de datos

La similitud genética se calculó utilizando el coeficiente de Jaccard (Sneath y Sokal 1973). El análisis de conglomerados se llevó a cabo empleando el método de Ward. El módulo FIND se utilizó para identificar todos los árboles y el módulo CONSEN los compiló para evaluar la robustez de la topología del árbol. Todos los cálculos se realizaron utilizando el software InfoStat (Di Rienzo *et al*. 2009) con su interfaz en R.

El análisis de la varianza molecular (AMOVA) y el análisis de coordenadas principales (ACoP) se realizaron utilizando el software InfoStat. La estructura de la población, para verificar el número de subpoblaciones, se determinó mediante el software Structure (Pritchard et al. 2000).

Marcadores asociados a resistencia a enfermedades

La evaluación de la presencia de los marcadores diagnóstico R12H16 y 9O20-F4-RsaI asociados al gen Bru1 que confiere resistencia a roya marrón y la interpretación de los resultados (haplotipos 1 a 4) se realizaron según el protocolo propuesto por Costet *et al*. (2012).

La presencia del marcador asociado al gen G1 que confiere resistencia a roya naranja se determinó de acuerdo a lo propuesto por Yang *et a*l. (2018).

Resultados

Marcadores moleculares TRAP

En las 103 muestras caracterizadas molecularmente con 10 combinaciones de marcadores TRAP, se amplificaron 436 fragmentos, de los cuales el 100% resultó polimórfico (Tabla 1).

Tabla 1: Fragmentos totales y polimórficos obtenidos para cada combinación de cebadores TRAP.

Característica	Combinación de cebadores	Fragmentos totales	Fragmentos polimórficos
Tolerancia a sequía	DBF/Arbi1	49	49
Metabolismo de sacarosa	DirH6/Arbi3	34	34
	PODK3/Arbi1	31	31
	SuPS/Arbi3	63	63
	SuPs1/Arbi3	28	28
	Sut/Arbi2	38	38
	Sut4/Arbi3	48	48
	SAI4/Arbi1	56	56
Metabolismo de lignina	COMT/Arbi1	54	54
	F5H/Arbi1	35	35
Total		436	436

En el ACoP, los dos ejes principales explicaron el 20,1% de la variabilidad (Figura 1).

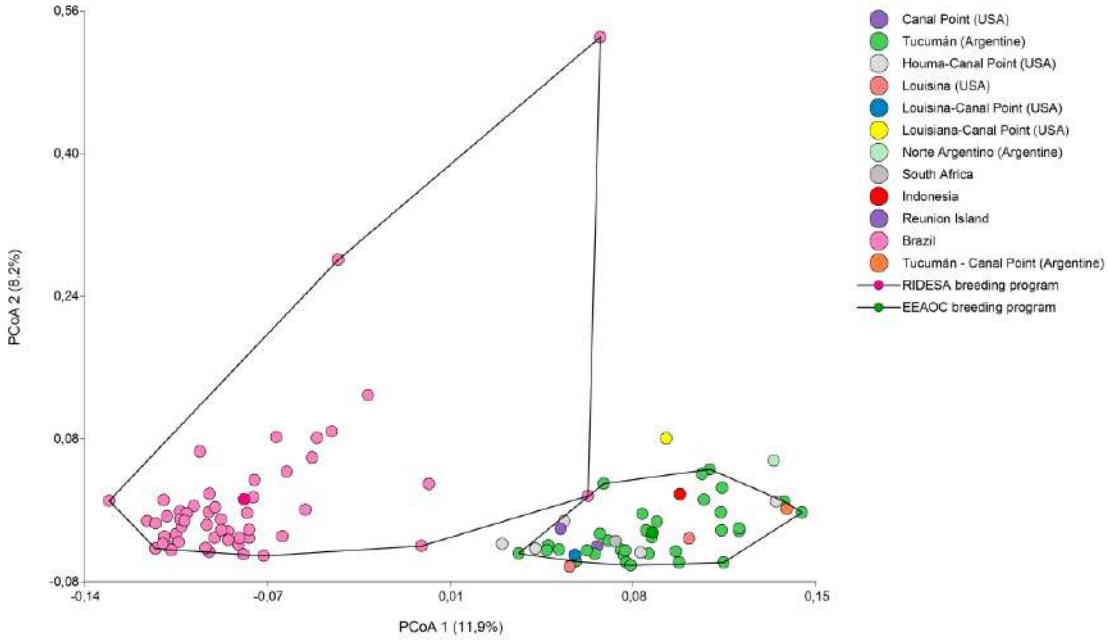


Figura 1: Análisis de Coordenadas Principales (AcoP) de los genotipos evaluados de caña de azúcar. Los colores diferentes representan los distintos orígenes de los genotipos*.*

Tanto en el ACoP como en el análisis de similitud, los genotipos se conglomeraron en dos grupos de acuerdo al programa de mejoramiento de pertenencia (Figura 2). Cuando los datos generados con los marcadores TRAP se analizaron por característica (sacarosa, lignina y tolerancia a sequía), la topología del árbol fue similar a la obtenida con el total de los datos solo en el caso de los marcadores anclados a genes del metabolismo de sacarosa. Para marcadores anclados a genes del metabolismo de lignina y de tolerancia a sequía los genotipos no se conglomeran claramente de acuerdo al programa de origen.

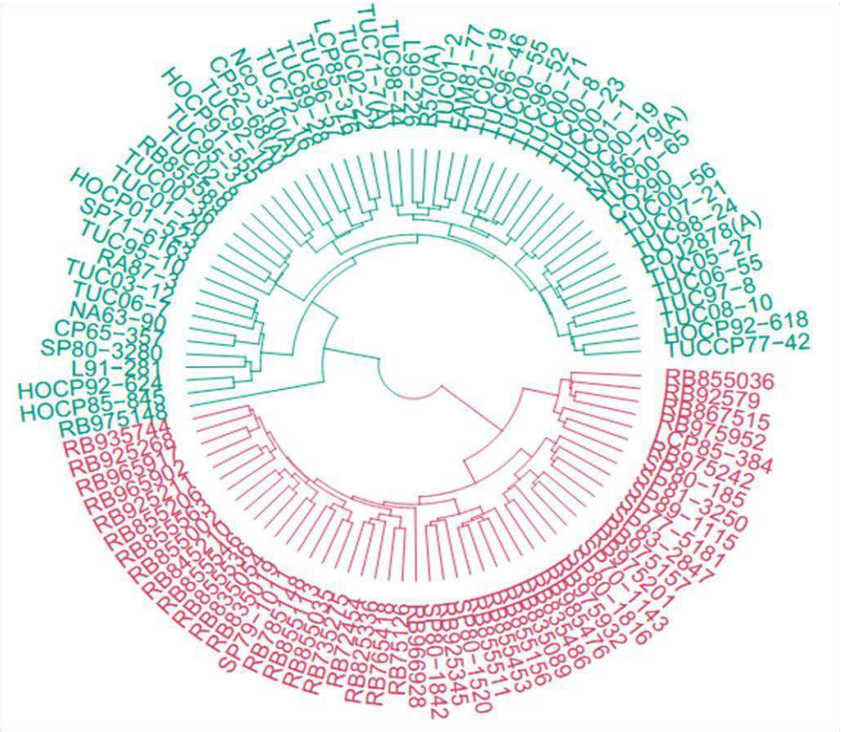


Figura 2: Dendrograma circular de las distancias genéticas de los 103 genotipos de caña de azúcar. Los dos colores se corresponden con los dos grupos obtenidos.

Cuando se analizó la estructura genética, se identificaron dos subpoblaciones (k=2). Solo cinco genotipos (RB92579, RB975242, SP80-185, SP80-3280 y LCP85-384) fueron asignados a diferentes grupos por análisis de conglomerados y estructura de población.

El AMOVA detectó un porcentaje de variación mayor dentro (86,86%) que entre programas de mejoramiento ($p<0,0001$). Además, el valor de ΦFST del 13% indica una diferenciación genética moderada entre los genotipos de los dos programas de mejoramiento.

Marcadores de resistencia a enfermedades

Los genotipos brasileros presentaron una alta frecuencia del haplotipo 1 (presencia de ambos marcadores asociados al gen *Bru1*, 72%), mientras que en los argentinos el haplotipo 4 (ausencia de ambos marcadores asociados) presentó una elevada frecuencia (82%) (Figura 3).

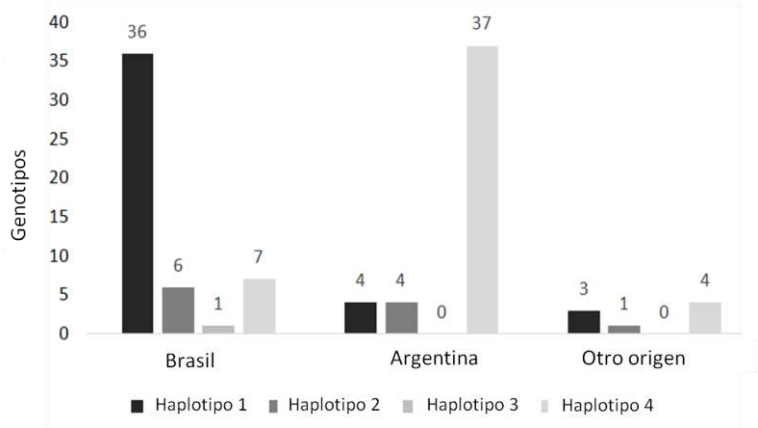


Figura 3: Haplotipos asociados al gen *Bru1* que confiere resistencia a la roya marrón, detectados en los genotipos evaluados.

El marcador G1, asociado a resistencia a roya naranja estuvo presente en el 56% de los genotipos brasileros y en el 60% de los argentinos (Figura 4).

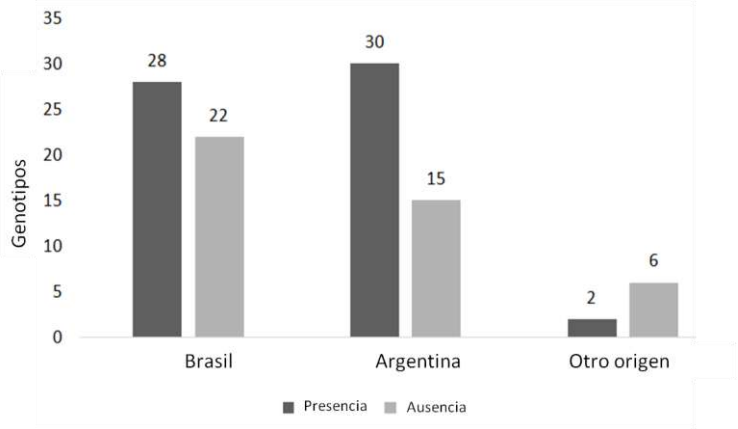


Figura 4: Detección del marcador G1 asociado a resistencia a roya naranja en los genotipos evaluados.

Conclusiones

El intercambio de materiales entre los programas de mejoramiento de caña de azúcar de la EEAOC y RIDESA, permitiría ampliar la base genética de sus bancos de germoplasma, ya que constituyen dos grupos genéticamente diferenciados, por lo que los pooles de genes son distintos.

El conocimiento de la diversidad genética, identificada con precisión mediante el uso de marcadores moleculares TRAP anclados a genes del metabolismo de sacarosa y lignina, ayudaría a los mejoradores a diseñar los cruzamientos con el fin de introgresar de manera eficiente alelos deseables, aumentando la probabilidad de obtener variedades más productivas y con características agronómicas deseables.

En relación a roya marrón, la mayoría de los genotipos brasileros cuenta con los marcadores asociados a la resistencia basada en el gen *Bru1*, por lo que también resultaría útil el empleo de estos genotipos como progenitores en el programa de mejoramiento de la EEAOC para incorporar esta fuente de resistencia, sumándola a las alternativas que están presentes en los genotipos argentinos.

Por otro lado, aunque la roya naranja no constituye aún un problema fitosanitario en

Argentina, resulta importante disponer de la información de genotipos que porten genes asociados a fuentes de resistencia.

Citas bibliográficas

Aljanabi S.; Forget L.; Dookun A. 1999. An improved and rapid protocol for the isolation of polysaccharide and polyphenol free sugarcane DNA. Plant Molecular Biology Reporter 17: 281.

Alwala S.; Suman A.; Arro J.A. *et al*. 2006. Target region amplification polymorphism (TRAP) for assessing genetic diversity in sugarcane germplasm collections. Crop Science 46: 448-455.

Di Rienzo J.; Casanoves F.; Balzarini M.; Gonzalez L.; Tablada M.; Robledo C. 2009. InfoStat. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Costet L.; Le Cunff L.; Royaert S. *et a*l. 2012. Haplotype structure around Bru1 reveals a narrow genetic basis for brown rust resistance in modern sugarcane cultivars. Theoretical and Applied Genetics 125: 825-36.

Creste S.; Accoroni K.A.; Pinto L.R. *et al*. 2010. Genetic variability among sugarcane genotypes based on polymorphisms in sucrose and drought tolerance genes. Euphytica 172: 435-446.

Li G.; Quiros C.F. 2001. Sequence-related amplified polymorphism (SRAP), a new marker system based on a simple PCR reaction: its application to mapping and gene tagging in *Brassica*. Theoretical and Applied Genetics 103: 455-461.

Pritchard J.K.; Stephens M.; Donnelly P. 2000. Inference of population structure using multilocus genotype data. Genetics 155: 945-959.

Sneath P.H.; Sokal R.R. 1973. Numerical taxonomy. The principles and practice of numerical classification. W. H. Freeman, San Francisco.

Suman A.; Ali K.; Arro J.; Parco A.S.; Kimbeng C.A.; Baisakh N. 2012. Molecular diversity among members of the *Saccharum* complex assessed using TRAP markers based on lignin-related genes. Bioenergy Research 5: 197-205.

Yang X.; Islam M.S.; Sood S. *et al*. 2018. Identifying Quantitative Trait Loci (QTLs) and developing diagnostic markers linked to orange rust resistance in sugarcane (*Saccharum* spp.). Frontiers in Plant Science 9: 1-2.

Análisis del margen bruto del cultivo de caña de azúcar en distintos momentos de zafra en el período 2006-2022en Tucumán

Pérez, D. R; Paredes, M.V.; Rodriguez, G.V.

danielaperez@eeaoc.org.ar

Introducción

El margen bruto por hectárea es un indicador ampliamente utilizadoen el análisis de la rentabilidad de los cultivos, pero se debe tener presente que este indicador deja fuera importantes componentes de costos globales de la empresa (Casari*et al*., 2014, Ghida Daza *et al*., 2009).Este indicador es la diferencia entre los ingresos brutos que recibe el productor al comercializar su producción y los egresos, gastos directos, en los que incurre al llevarla a cabo.

El ingreso bruto de una hectárea de cañade azúcar, para la gran mayoría de los cañeros en Tucuman, responde a un sistema de maquila y es el producto entre la cantidad de azúcar que recibe el productory el precio al que vende la misma. La cantidad de azúcar que comercializaráel cañero depende del rendimiento de caña por hectárea (rendimiento cultural, RC, t/ha), de la cantidad de azúcar que se extrae de la misma (rinde fabril %, RF%) y de la participación (% de azúcar que la fábrica entregará al cañero). Tanto el rendimiento fabril como el precio varían en el transcurso de la zafra, mientras que la participación en el último lustro tuvo valores que oscilaron entre 58 y 60% (Pérez *et al*., 2019). El rendimiento fabril % sigue la curva de maduración de la caña en la provincia, con valores más bajos al inicio de zafra, que ascienden a medida que ésta avanza y que descienden hacia el final de la misma. Por su parte, el precio no presenta una tendencia tan definida sin embargo, en general, los precios más altos se ubican fuera del período de zafraque se extiende con frecuencia entre mayo y octubreen Tucumán.

Los egresos están en relación con la cantidad de insumos que requiere la producción, éstos dependerán del planteo técnico, y también de la forma y del momento en que se adquieran y paguen los productos y servicios que se utilicen.

Existen tantos ingresos y egresos como empresas, puesto que cada una tiene su particular manera de producir, comprar, financiarse y vender.Sin embargo, asociados a un paquete tecnológico de amplio uso en una región es posible encontrar patrones que se repiten.

El objetivo del presente trabajo fue analizar las variaciones del resultado económico del cultivo de caña de azúcar en Tucumán en el período 2006-2022utilizando el margen bruto yconsiderando diferentes momentos de comercialización de la producción, un determinado paquete tecnológico, una modalidad de adquisición de insumos y servicios, y unnivel productivo.

Para realizar el análisis se determinaron gastos de producción para un planteo técnico frecuente en Tucumán y se calcularon diferentes niveles de ingreso teniendo en cuenta la evolución del rendimiento fabril % promedio de la provincia durante los meses de zafra y también la evolución del precio del azúcar.Se consideró ademásen todo el período de análisis, el rinde cultural promedio de la provincia en cada zafra y una participación del 58%.

Finalmente se compararon ingresos brutos, gastos y márgenes brutos, en diferentes momentos de una misma zafra y entre campañas,en términos de bolsas de azúcarde 50 Kg, indicador de amplio uso en la producción azucarera.

Materiales y métodos

Se determinó el Margen bruto (MB) de una hectárea (ha)

MB ($/ha)= Ingreso bruto ($/ha) – Costos directos ($/ha)

A) Ingreso bruto (IB)= RC (t/ha) xRF (%) xP % xPr($/t).

RC=rinde cultural, t de caña de azúcar por ha; RF= rinde fabril %; P="*participación %"*; Pr= precio del azúcar en pesos corrientes /t

Se determinaron trestipos de IBpara el período 2006–2022.En todosellos se consideraron el RC promedio de campaña, una participación del 58% y el precio del azúcar blanco comúntipo A vagón ingenio sin IVA, pero se diferenciaron en el período que abarcó el cálculo del RF% y del precio. 1) IB promedio mensual, producto del RC, RF% promedio del mes y precio promedio del mes; 2) IB promedio de zafra,producto delRC,RF%y precio promedios de zafra. 3) IB máximo de interzafra,producto del RC y RF% promedio de zafra y del preciomáximointerzafra (período comprendido desde el fin de una zafra y el comienzo de la siguiente). Cabe agregar que para la zafra 2022 se utilizó el mismo valor, correspondiente al mes de septiembre, para calcular el IB promedio mensual de septiembre y el IB máximo de interzafra.En cuanto a la participación, existenacuerdos variables y en este estudio se utilizó un valor del 58%.

B)- Gastos: se seleccionó un esquema que representa una condición media del conjunto de labores realizadas en el cañaveral tucumano y del que se espera una producción entre 57 y 75 toneladas por hectárea (t/ha). El mismo incluye tareas de cultivo, control químico de malezas, fertilización con urea, y cosecha integral. Se supone una distancia al ingenio de 25 km. Para calcular cosecha y transporte por ha se utilizaron los rendimientos promedio provinciales de cada campaña. Se tuvo en cuenta la renovación manual de un 20% de la superficie todos los años. Los precios de los insumos y labores son los vigentes al momento en el que se estima deben ser efectuadas las tareas. Los gastos de plantación, aplicaciones, cosecha integral y flete corresponden a valores de contratista. No se incluyó IVA,otros impuestos, ni gastos de administración.

C-Ingresos, gastos y margen bruto se transformaron a bolsas de azúcar.

Resultados

Ingreso bruto

En la Tabla 1 se muestra el precio promedio mensual de la tonelada de azúcar blanco común tipo A vagón ingenio del período 2006-2022, expresado en pesos corrientes, sin IVA en Tucumán. En gris se aprecian los valores de los meses de molienda, los recuadros rojos corresponden a los precios máximos promediomensuales del período interzafra. Los recuadros negros indican los promedios mensuales, dentro de la zafra, que se ubicaron por arriba del valor interzafra. Se observa que en un 70,5 % de las zafras los mayores valores se ubican fuera del período de molienda.

Tabla 1. Precio delatonelada de azúcar blanco común tipo A vagón ingenio, promedio mensual del período 2006-2022 en $ corrientes sin IVA en Tucumán.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2006	772	812	829	838	***871***	***879***	***865***	***864***	***900***	***920***	***850***	800
2007	870	900	950	930	***970***	***980***	***900***	***1.100***	***970***	***1.000***	***1.300***	1.040
2008	1.380	1.260	1.270	1.107	***1.074***	***1.440***	***1.400***	***1.320***	***1.300***	***1.330***	***1.000***	992
2009	959	942	950	967	***978***	***1.087***	***1.013***	***1.033***	***1.095***	***1.142***	***1.493***	1.636
2010	1.669	2.017	2.273	2.248	***2.148***	***1.910***	***2.057***	***2.184***	***2.270***	***2.500***	2.810	3.140
2011	3.124	3.223	3.322	3.273	***2.950***	***2.725***	***2.880***	***3.154***	***3.130***	***3.130***	3.140	3.100
2012	3.060	2.990	2.891	2.870	***2.820***	***2.770***	***2.610***	***2.540***	***2.390***	***2.490***	2.550	2.480
2013	2.250	2.128	2.100	2.200	***2.150***	***2.260***	***2.260***	***2.400***	***2.770***	***3.140***	2.970	2.990
2014	3.280	4.130	3.970	3.960	***3.910***	***3.930***	***3.970***	***3.940***	***3.780***	***3.580***	***3.520***	3.950
2015	3.700	3.740	3.930	3.890	***3.940***	***3.880***	***3.940***	***3.610***	***3.620***	***3.160***	***3.630***	***4.600***
2016	3.618	3.471	3.423	3.525	3.550	***4.230***	***4.380***	***4.890***	***5.470***	***5.720***	***5.950***	***6.457***
2017	6.930	7.180	7.430	7.770	***7.700***	***7.750***	***7.180***	***6.780***	***7.660***	***7.710***	8.120	8.650
2018	8.675	9.177	9.645	***10.170***	***9.870***	***9.370***	***8.860***	***7.880***	***9.480***	***10.100***	***9.760***	10.300
2019	11.600	13.000	13.800	13.846	***14.500***	***14.700***	***14.200***	***13.600***	***13.800***	***13.800***	***16.300***	20.700
2020	24.753	30.602	31.010	32.496	***29.990***	***28.430***	***28.378***	***25.484***	***30.117***	***29.923***	***29.995***	30.600
2021	30.309	30.576	29.246	31.160	***30.170***	***31.550***	***34.000***	***37.890***	***38.610***	***39.680***	***45.120***	44.114
2022	46.000	49.500	52.400	56.700	***60.000***	***61.000***	***86.500***	***106.000***	***108.000***			

Fuente: Centro de agricultores cañeros Tucumán (CACTU) y Secretaría de Comercio Interior de Tucumán.

En la Tabla 2 se muestran los RF % promedio mensuales y anuales de Tucumán en el período 2006-2022 (este último hasta septiembre). En recuadros grises se destacan los mínimos promedios mensuales de cada zafra y en negro los máximos. En el 58% de los años analizados, los mínimos valores corresponden al mes de inicio de zafra y en el 42% restante al mes de fin de zafra. Con respecto a los máximos valores, en el 70% de los años analizados,éstos, corresponden a los meses de agosto yseptiembre. La zafra con mayorRF% promedio anual fue la 2006, que salvo por los meses de inicio y fin de zafra, tuvo rindes fabriles promedio mensuales superiores a 10,38%. Cabe aclarar que para la zafra 2019 se utilizó el RF % correspondiente al azúcar equivalente.

En la Tabla 2 se muestranademás el rendimiento cultural promedio de cada campañay la cantidad de bolsas de azúcar que equivale a la productividad promedio de cada campaña. Para ambos indicadoresel mayor registro corresponde a la campaña 2005/06 (zafra 2006). Hacia fines del período 2005/06-2021/22se observa una tendencia decreciente delos parámetros analizados.

Tabla 2. Rendimiento fabril % promedio mensual y anual, rinde cultural promedio de campaña (t/ha), rinde promedio de azúcar/ ha en bolsas de azúcar para Tucumán, período 2006-2022.

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015,0	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Abr													6,34				
May	9,28	9,64	8,44	8,70	7,95	8,63	7,00	8,25	6,32	7,55		6,62	7,29	7,36	8,05	7,38	7,69
Jun	10,38	9,93	9,48	10,21	9,48	9,73	8,97	9,44	8,45	8,74	8,80	8,53	9,19	8,58	9,18	8,53	8,84
Jul	11,23	10,14	9,92	11,03	10,44	9,79	9,39	10,36	9,43	10,33	9,81	9,80	9,68	9,33	9,96	9,12	9,74
Ago	11,66	9,92	10,61	10,28	10,50	9,25	9,90	9,56	10,44	10,90	10,64	10,09	9,98		10,35	9,36	10,25
Sep	11,86	9,64	11,16	9,50	10,05	8,75	10,21	8,33	11,02	11,07	10,83	9,79	9,76	9,69	10,13	9,51	10,53
Oct	11,03	8,63	11,03	8,87	8,88	7,24	9,95	7,15	10,76	11,14	11,01	9,39	8,88	8,92	9,46	9,15	
Nov	8,10	6,26	9,57	7,66					9,58	9,17	10,44		6,50	9,26	8,56	7,17	
Dic										8,6	8,4						
Rinde fabril % (media zafra)	11,22	9,6	10,366	10,08122	9,994	9,272	9,897	9,277	10,295	10,5	10,562	9,568	9,417	8,9938	9,782	9,042	9,5541
Rinde cultural (t/ha) (media anual)	69,39	63,21	64,52	62,13	61,44	61,59	61	54,2	56,73	61,6	59,79	54,25	56,13	56,47	55,09	55,81	55,81
Bolsas de azúcar de 50 Kg (media zafra)	90,31	70,39	77,58	72,66	71,23	66,24	70,03	58,33	67,75	75,32	73,25	60,21	61,31	58,91	62,51	58,54	61,85

Fuente: elaborado con datos Centro azucarero regional Tucumán (CART), Centro azucarero argentino (CAA),Instituto de Promoción de Azúcar y Alcohol de Tucumán (IPAAT), Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC).

En la Figura 1 se muestran losIB por hectárea determinados para cada campaña del período 2005/06-2021/22 (este último año hasta septiembre), expresados en pesos corrientes y en bolsas de 50 kg de azúcar. Se observan los tres tipos de IB determinados, IB promediomensual, IB promedio de zafra,IB máximo de interzafra.

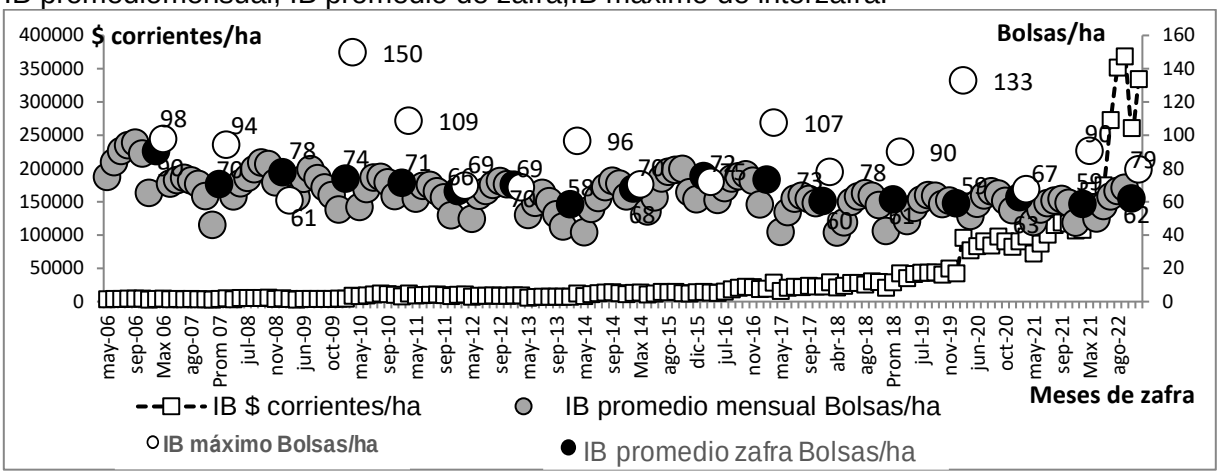


Figura 1. Ingreso bruto mensual, ingresos promedio de zafra y máximo de interzafraexpresados en $ corrientes/ha y en bolsas/ha, período 2006-2022. Tucumán..

Expresado enpesos corrientes por ha,el máximo IB promedio de zafra corresponde a la zafra 2022 y los IBpromedio mensual e IB máximointerzafra, a septiembre de 2022.

En bolsas de azúcar, el mayor IB promedio mensual fue de 95 bolsas/haen septiembre de 2006, valor un 40 % superior al valor de septiembre de 2022 (68 bolsas de azúcar/ha). En las distintas zafras los máximos IB promedio mensuales se ubicaron, en el 40% de los años, en el mes de septiembre y en el 30% de los años, en agosto, coincidiendo con los meses de mayor rinde fabril. La diferencia entreel máximo y el mínimo IB mensual en igual zafra,se ubicó entre un 74% (2014) y 27% (2011).

En cuanto a los IB promedios de zafra, el mayor valor de 90 bolsas/ha correspondió a la zafra 2006 y el menor valor de 58 bolsa/ha a la zafra 2013, mientras que el promedio del período 2005/06-2021/22 fue de 68 bolsas/ha.

Con respecto a los IB máximos de interzafra, el mayor valor de 150 bolsas/ha se registró en la zafra 2009, mientras que el menor valor de 61 bolsas/ha ocurrió en la zafra 2008. Salvo las zafras 2008, 2012 y 2015 cuyos IB máximo fueron inferiores al IB promedio de zafra, los IB máximos de interzafra fueron superiores a los IB promedios, en un rango de entre 3 y 77 bolsas/ha. Los IB máximos interzafra indicaríanla cantidad debolsas de azúcar que se obtendrían con respecto al promedio de zafra si la producción se comercializa al mejor precio de la interzafra.

Gastos

En la Figura 2 se muestran los gastos de producción determinados para cada campaña durante el período 2005/06 -2021/22, expresados en pesos corrientes por ha y en bolsas de azúcar por ha. Para transformar los pesos corrientes en bolsas de azúcar se utilizó el precio de la tonelada de azúcar correspondiente alperíodo en el que se efectuaron las tareas en cada campaña. Si se analiza la evolución del gasto por hectárea en pesos corrientes,se observa un incremento sostenido a lo largo del período con una variación entre extremos del 5096%, y un crecimiento anual promedio del 28%. Si el análisis se realiza en términos de bolsas de azúcar, se observa uncrecimiento del 9% entre extremos,

pasando de 55 bolsas de azúcar/ha en la zafra 2006 a 60 en la zafra 2022, y un pico de 74bolsas de azúcar/ha en la zafra 2015/16. Para el período 2005/06 - 2021/22, se determinó un gasto promedio de 55 bolsas/ ha.

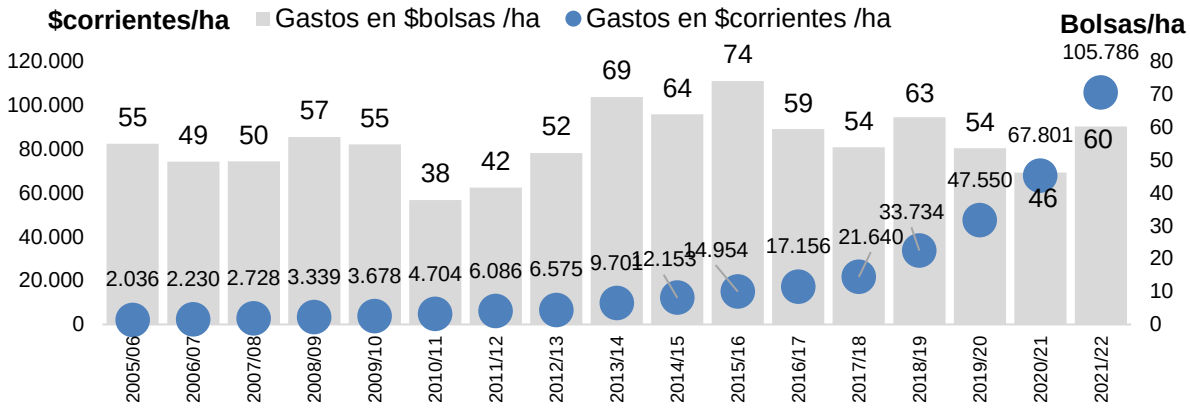


Figura 2.Gastos de producción de caña de azúcar en bolsas de azúcar y pesos corrientes por ha. Período 2005/06 – 2021/22.

Margen bruto

En la Figura 3 se muestran los MBmensuales, un MB promedio de zafra y un MB "máximo" de interzafra,determinados para cada campaña del período 2005/06- 2021/22, expresados en bolsas de azúcar/ha.Para la campaña 2021/22, puesto que acaba de concluir la zafra 2022, el MB promedio es parcial, y el MB máximointerzafra corresponde al mayor precio mensual registrado en la zafra, de septiembre de 2022.

Los resultados indican que considerando el IB promediode zafra, el MB promedio del período fue de 13,6bolsas de azúcar/ha, con valoresnegativos en los años 2014, 2016 y 2019.

Cuando se considera la comercialización de la producción promedio de azúcar de una zafra al mejor precio promedio mensual de la interzafra, el MB máximo interzafra en promedio fue de 37 bolsas/ha, con extremos de 1,4 bolsas/ha(2014) y 92bolsas/ha(2009). En el 82 % de los años analizados, el MB máximointerzafrasuperó al promedio, en un valor mínimo de 2,6 bolsas/ha (2014) y un valor máximo de 83,4 bolsas/ha (2019).

Con respecto a los MB mensuales, en prácticamente todas las zafras se observó el comportamiento acampanado similar al del rinde fabril, es decir bajo al inicio de zafray luego creciente, alcanzando los mayores valores entre agosto y septiembre de cada año, y decreciente hacia el final de zafra. Se registraron MB mensuales negativos en el inicio de las zafras 2013,2014, 2015, 2016, 2017,2018, 2019, 2020 y 2022 y en el fin de las zafras 2007, 2009, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019.

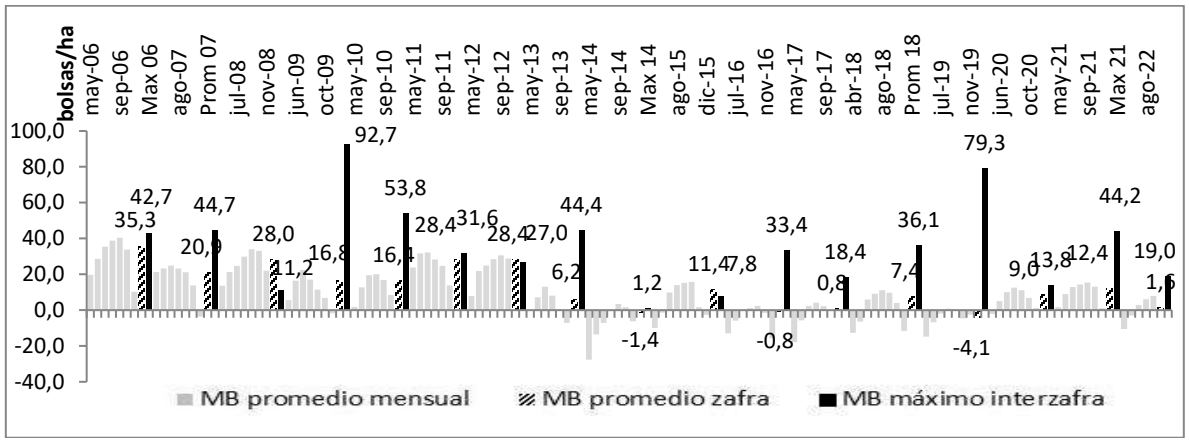


Figura 3. MB de caña de azúcar en bolsas de azúcar por ha. Período 2005/06 – 2021/22.

Consideraciones finales

Para el período 2005/06 - 2021/22 el promedio de los IB promedios de zafra, fue de 68 bolsas/ha, con un rango de 58 (2013) y 90 (2006) bolsas por ha. Se observaron menores IB promedios hacia la segunda mitad del período debido a un amesetamiento de rindes fabriles y culturales.

Teniendo en cuenta el paquete tecnológico seleccionado, los niveles de rendimientos y precios establecidos en este estudio, el gasto directo promedio del período 2005/06 - 2021/22, fue de 55 bolsas de azúcar por ha, con un crecimiento entre extremos del 9% (bolsas de azúcar/ha)o del 5096% (pesos corrientes/ha). Para poder abarcar situaciones contrastantesde gastos, no contempladas en este trabajo, ocasionadas por variaciones totales o parciales en paquete tecnológico se deberían caracterizar estos manejos y su frecuencia mediante un relevamiento o encuesta.

Analizado en bolsas de azúcar/ha, el MB promedio de la caña de azúcar en Tucumán fue positivo en el 82 % de las zafras del período 2005/06-2021/22, y los MB de comienzos del período fueron superiores a los del final. Los MB de las zafras 2014, 2016 y 2019 fueron negativos, y presentaron MB negativos en la mayoría de los meses de zafra, cabe agregar que el MB permite un análisis parcial, de modo que probablemente al agregar gastos indirectos e impuestos, la frecuencia de campañas con resultados negativos sería mayor. Los mayores MB promedios mensuales ocurrieron en los meses de agosto o septiembre de cada zafra. Se registraron MB mensuales negativos en el mes de inicio en el 52% de los años del período analizado porcentaje que se repitió para el mes de fin de zafra.

Los MB máximos interzafrafueron superiores alMB promedio de zafras en el 82% de las campañas. Es decir que en la medida en que se pueda comercializar el azúcar más lejos del período de zafra existen mayores probabilidades de obtener un margen superior.

Bibliografía

Casari, M, Gorziglia, G. 2014.Margen bruto: ¿Concepto precario para la toma de decisiones agropecuarias?*Instituto de Investigaciones Teóricas y Aplicadas, Escuela de Contabilidad* Decimoctavas Jornadas *"Investigaciones en la Facultad" d*e Ciencias Económicas y Estadística..

Ghida Daza C.,P. Alvarado,Castignani H, CaviglíaJ,D´Angelo M L. 2009. PE AEES 1731 Economía de los Sistemas de Producción. Indicadores económicos para la gestión de empresasagropecuarias. Bases Metodológicas. Serie Estudios socioeconómicos de la sustentabilidad de los sistemas deproducción y recursos naturales Nº11. ISSN: 1851-6955.

Pérez D.; Paredes V.; Rodriguez G. y Scandaliaris J. 2019.Economic - Economic and productionindicators of thesugarindustry in Tucumán, Argentina, 1994-2017. Proceedings of the International Society of SugarCaneTechnologists, volume 30, 816–825. ISBN: 978-616-92761-0-4.

CUANTIFICACIÓN DEL EFECTO DEL CARBON EN CLONES DEL PROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENETICO DE INTA

Pérez Gómez, S. G.

EEA INTA Famaillá, Ruta Prov 301 km 32 Famaillá, Tucumán, Argentina. perezgomez.sergio@inta.gob.ar

Palabras Clave: materiales avanzados, PMG, carbón

Introducción

El manejo de las enfermedades en el cultivo de caña de azúcar se basa en la implementación de las recomendaciones de materiales seleccionados y evaluados durante todas las etapas de los Programas de Mejoramiento. Instancias en las cuales los clones son testeados y expuestos a diferentes condiciones ambientales y meteorológicas sucedidas durante 12 a 15 años. Las evaluaciones realizadas durante este período sirven de referencia para caracterizar el comportamiento fitosanitario del material en observación. Para el Programa de Mejoramiento Genético del INTA (PMG), la última etapa de selección se denomina Ensayo Externo, que es dónde se evalúa el comportamiento de los materiales avanzados en ambientes específicos y representativos del cultivo comercial, particularmente en este caso para la Provincia de Tucumán.

El síntoma típico, observable, por el que se manifiesta la presencia de *Sporisorium scitamineum* o carbón de la caña de azúcar es el látigo, que es una alteración del tallo accionada por un desbalance hormonal , que contiene estructuras de color negro llamadas teliosporos, que son diseminadas por el viento y la lluvia, pudiendo alcanzar nuevas plantas para producir infección y colonización. En casos severos de infección o en variedades susceptible, pueden existir muchos látigos por cepa. Como referencia del efecto negativo de esta enfermedad en la producción se puede mencionar la epifitia del carbón ocurrida en Brasil durante la expansión del área de cultivo, desde 1976, de una variedad de moderada susceptibilidad (NA 56-79) que llegó a ocupar el 45% del área plantada. En el año 1987, se llegó a cuantificar, en esta variedad, hasta 40mil látigos por hectárea, lo que obligó a restringir su porcentaje en nuevas plantaciones (Rezende *et al*., 2011)(Tokeshi *et al*., 2005)

Objetivos

Identificar el comportamiento de los materiales avanzados del PMG por manifestación de los síntomas típicos de carbón para distintos ambientes, considerando la variabilidad existente en ensayos externos. Se pretende además, reconocer como área de riesgo a las zonas donde los valores de prevalencia o incidencia son mayores para proponer o recomendar un manejo agronómico diferencial.

Materiales y métodos

Los ensayos externos están dispuestos en zonas representativas del cultivo comercial en la provincia de Tucumán. Las localidades dónde están ubicados estos ensayos son: 1) La Cruz, Depto Burruyacu; 2) Árbol Sólo, Depto. Cruz Alta; 3) EEA INTA Famaillá, Depto. Famaillá; 4) Río Seco, Depto. Monteros y 5) Arcadia, Depto. Chicligasta.(Figura 1)

Los Ensayos están compuestos por materiales de distintos origen o selección, donde cada clon está implantado en macroparcelas de tres surcos de 10 metros cada uno y en tres repeticiones, donde también se incluyen variedades testigos de uso común en la actualidad. Los materiales considerados no son precisamente los mismos por ser priorizados por cualidades agronómicas destacables para cada ambiente y en años de plantación distintos para cada ensayo. El manejo agronómico realizado es el que habitualmente cumplen los productores o prestadores de servicios de la región.

Durante los últimos dos campañas 2020/2021 y 2021/2022, entre los meses de diciembre y enero, se realizaron observaciones visuales y se atribuyeron valores de incidencia en base a una escala interna (no validada) del PMG de INTA que permite agrupar en categorías y comparar a los clones en selección (Tabla 1).

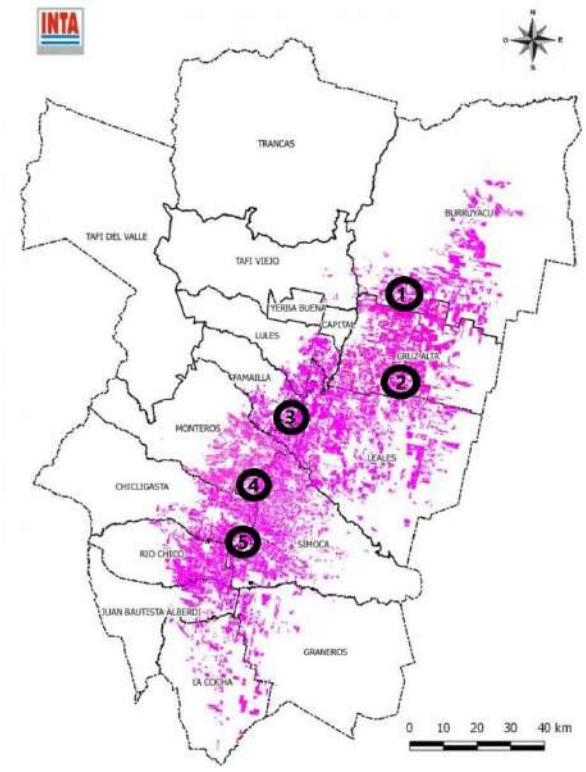


Figura 1: Ubicación de los ensayos externos del PMG de INTA

Tabla 1: Categorías de incidencia de carbón de la caña de azúcar según escala PMG (INTA)

CATEGORÍA	CARACTERISTICAS
0	Sin síntoma observado
1	1 ó 2 látigos en parcelas
2	3 a 4 látigos en parcela o 1 a 2 cepas con más de 1 látigo por cepa
3	5 a 9 látigos en parcela o 3 a 5 cepas con látigos
4	10 o más látigos en parcela o más de 6 cepas con látigos

Resultados

Para la localidad de La Cruz, donde el efecto se destaca por la influencia del ambiente más predisponente para que se manifiesten los síntomas, se determina una incidencia de categoría 2 y 3, es decir entre 3 y 9 látigos en parcela o 1 a 5 cepas con látigos; y una frecuencia de infección en 11 clones de un total de 15 (73%). En segundo lugar con una frecuencia de aparición de 20% es decir, 3 clones con síntomas de un total de 15 y una incidencia de 1 y 2 para la escala considerada, se reconoce en el ensayo externo de la localidad de Árbol Solo. Para el ambiente Famaillá se reconoce sólo un clon con incidencia de categoría 2 y para los ensayos ubicados en Monteros y Chicligasta se identifica el síntoma típico en al menos un clon y con los valores más bajos para la categoría 1, que significa encontrar 1 ó 2 látigos por parcela.

Es importante también mencionar las calificaciones determinadas para uno de los testigos presente en los ensayos, LCP 85 384 que muestra una categoría relativamente superior en el departamento Burruyacú, correspondiente a 3 a 4 látigos en parcela o 1 a 2 cepas con más de 1 látigo por cepa (categoría 2) y en Cruz Alta y Famaillá de al menos 2 látigos por parcela.

Tabla 2: Incidencia de carbón para las localidades que comprenden la red de Ensayos Externos del PMG del INTA.

LOCALIDAD	INCIDENCIA		TESTIGO LCP 85-384
	CLONES AFECTADOS	ESCALA (Valores promedio)	
La Cruz BURRUYACU	11/15 (73%)	C 2/3	2
Árbol Sólo CRUZ ALTA	3/15 (20%)	1/2	1
EEA Famaillá FAMAILLÁ	1/8 (12,5%)	2	1
Río Seco MONTEROS	1/15 (6%)	1	0
Arcadia CHICLIGASTA	1/15 (6%)	1	0

Conclusiones

Se puede reconocer como área predisponente o área de riesgo de ocurrencia de infección de carbón de la caña de azúcar, aquellas regiones que comparten condiciones ambientales y meteorológicas, en primer lugar, con la localidad de La Cruz y en segundo lugar con la localidad de Árbol Sólo, por lo que se debe prestar atención en aprovechar el potencial de variedades que demuestren poca susceptibilidad a la presión de esta enfermedad.

Apoyo Financiero: I516; I090 INTA

Citas Bibliográficas:

Rezende, J.A.M.; Massola, N.S.; Bedendo, I.P. ;Krugner, T.L. 2011. Conceito de doença, sintomatologia e diagnose. In: Amorim, L.; Rezende, J.A.M.; Bergamin Filho, A. Manual de fitopatologia I. 4 Ed. Piracicaba. Ceres. Tokeshi, H.; Rago, A. Doenças da cana-de-açúcar. 2005. In: Kimati, H.; Amorim, L.; Rezende, J.A.M.; Bergamin Filho, A.; Camargo, L.E.A. (Ed.) Manual de Fitopatologia: Doenças das plantas cultivadas V. 2.. São Paulo: Ceres,

SELECCIÓN GENÓMICA PARA CARACTERÍSTICAS DE INTERÉS EN EL MEJORAMIENTO GENÉTICO DE LA CAÑA DE AZÚCAR DE LA EEAOC

Racedo J.[1]; Rossi E.A. [2]; AybarGuchea M.[3]; Peña Malavera A.N. [1]; Bruno C.[4]; Perera M.F.[1]; Noguera A.S. [1]; Bonamico N. [2]; Balzarini M.[4]; Ostengo S. [1,3]

[1]Instituto de Tecnología Agroindustrial del Noroeste Argentino (ITANOA), Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) - CONICET NOA Sur, Las Talitas, Tucumán, Argentina.
[2] Instituto de Investigaciones Agrobiotecnologicas (INIAB, CONICET-UNRC). Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
[3] Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). Tucumán, República Argentina.
[4] Unidad de Fitopatología y Modelización Agrícola - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (UFYMA INTA-CONICET), CCT CONICET Córdoba, Argentina. Estadística y Biometría. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.

Palabras Clave:*Saccharum*spp., MARCADORES MOLECULARES, VALOR GENÉTICO ESTIMADO A PARTIR DE DATOS GENÓMICOS, GEBV, PRECISIÓN.

Introducción

El mejoramiento genético de la caña de azúcar (*Saccharum*spp.) es complejo y lento. La obtención de una nueva variedad requiere entre 10 y 15 años de trabajo intensivo. Esto se debe a la complejidad genética del cultivo y a la fuerte influencia ambiental sobre los caracteres de interés, en su mayoría cuantitativos (Ostengo et al. 2022). Es por ello que resulta necesario implementar nuevas tecnologías para buscar herramientas metodológicas que permitan mejorar la caracterización de cultivares e incrementar la eficiencia de la selección de clones en cada ciclo, acelerando el tiempo en que se logra la ganancia genética deseada. Una herramienta útil para aumentar la tasa de ganancia genética consiste en integrar información fenotípica y genómica en procedimientos de Selección Genómica (SG), y predecir el valor de mejora estimado desde datos genómicos para cada genotipo (*GenomicEstimatedBreedingValue*, GEBV) (Meuwissen et al. 2001).

Objetivos

Evaluar la precisión de distintos modelos de SG entrenados sobre una población de 182 clones del banco de germoplasma de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC), fenotipados para características asociadas a la madurez temprana.

Materiales y métodos

Se incluyeron en el estudio 182 genotipos de caña de azúcar pertenecientes al banco de germoplasma de la EEAOC, correspondientes a las accesiones más utilizadas como progenitores por el Programa de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar (PMGCA) para los cruzamientos.

Los ensayos de evaluación fenotípica se realizaron en el campo experimental de la EEAOC donde cada genotipo estuvo representado por 1 surco de 3 m. Las accesiones fueron fenotipadas para azúcar recuperable, pol(%) y fibra, durante tres edades de corte sucesivas, siguiendo el procedimiento descrito en Diez et al. (2000). Brevemente, se recolectaron aleatoriamente muestras de 10 tallos molibles dentro de cada parcela. Los tallos se limpiaron, despuntaron y procesaron en el laboratorio utilizando una trituradora de martillo para caña y el jugo se extrajo utilizando una prensa hidráulica (sujeta a una presión de 240 kg cm^{-2} min).

Los datos fenotípicos se analizaron utilizando modelos lineales mixtos (MLM) para obtener los predictores genéticos (BLUP) para cada característica. Para ello se utilizó el siguiente modelo estadístico:

$$y = X\beta + Zu + \varepsilon$$

donde y es el vector de observaciones fenotípicas, y X y Z son matrices de incidencia. El vector β representa los efectos de la edad de corte, asumidos como fijos, u representa los efectos aleatorios y ε los términos de error. Se supone que los efectos genéticos aleatorios se distribuyen normalmente, N (0, σ2), con la matriz de (co)varianza genética (vcovG) con estructura diagonal g. Se asumió que los efectos de la interacción genotipo-edad de corte (GxE) se distribuyeron normalmente con media cero y estructura de varianza-covarianza diagonal. Se supusieron errores i.i.d. N (0, $\sigma 2e$) e independiente de los demás efectos aleatorios.

El ADN se extrajo de tejido de hoja congelado siguiendo el protocolo DiversityArraysTechnology (DArT) PtyLtd (Yarralumla, Australia) (https://www.diversityarrays.com/orderinstructions/plant-dna-extraction-protocol-for-dart/). La calidad y cantidad de ADN se verificaron en un gel de agarosa al 0,8 %. Las accesiones se genotiparon con la plataforma de genotipado por secuenciación de DArTseq. Se analizaron las frecuencias de los marcadores para identificar aquellos con una frecuencia alélica menor (MAF) inferior a 0,2, que se excluyeron de los análisis posteriores.

Se ajustaron modelos de SG con los métodos Ridge Regression, Bayes A, Bayes B y Bayes C. La eficiencia se evaluó para cada carácter mediante la correlación entre los valores GEBVs estimados por cada modelo y los BLUPs del efecto genotípico. Las correlaciones fueron obtenidas mediante validación cruzada.

Resultados

Un total de 80.494 SNP derivados de DArTseq fueron detectados en los clones bajo estudio. Posteriormente se filtraron y eliminaron aquellos con frecuencia inferior a 0,2, por lo cual los procedimientos de SG fueron realizados con un total de 34.869 SNP.

Si bien se observaron diferencias entre las capacidades predictivas de distintos modelos, la eficiencia de la SG dependió mayormente de la característica en estudio, siendo más alta (r=0.43) para el carácter azúcar recuperable estimada por el método Ridge Regression. Sorpresivamente, las precisiones para el contenido de fibra fueron las más bajas para todos los modelos evaluados (0,09-0,13) (Cuadro 1).

Conclusiones

Dado que el panel de estudio está constituido por progenitores de uso frecuente en el PMGCA de la EEAOC, las precisiones obtenidas en el presente estudio permitirán la selección de los mismos de acuerdo a sus GEBVs. Por lo tanto, se obtendrá una mejor predicción de su valor genético, especialmente para caracteres sustancialmente afectados por efectos genéticos aditivos, en comparación de cuando solo se emplean datos fenotípicos.

Este estudio es el primer acercamiento para la implementación de SG en el esquema de mejoramiento genético de la EEAOC. Las precisiones obtenidas para las características relacionadas con la maduración temprana, clave para la región, son alentadoras para

respaldar la selección de progenitores que incorporan información molecular mediante la estimación de sus GEBV.

Cuadro 1. Valores medios de los coeficientes de correlación (N=100), Error Estándar (E.E.) y sus intervalos de confianza al 95% (límites inferior y superior, LI y LS, respectivamente) para los modelos de selección genómica aplicados en una población de genotipos de caña de azúcar del banco de germoplasma de la EEAOC, compuesta por 182 accesiones fenotipadas para características asociadas a la madurez temprana.

Azúcar recuperado (%)				
Modelo	Media	E.E.	LI(95%)	LS(95%)
Bayes A	0.42	0.01	0.39	0.45
Bayes B	0.40	0.02	0.36	0.45
Bayes C	0.40	0.01	0.37	0.42
Bayesian Ridge Regression	0.43	0.01	0.41	0.46
Pol%				
Bayes A	0.39	0.01	0.36	0.41
Bayes B	0.39	0.02	0.34	0.43
Bayes C	0.40	0.01	0.38	0.43
Bayesian Ridge Regression	0.40	0.01	0.38	0.42
Fibra%				
Bayes A	0.13	0.01	0.10	0.16
Bayes B	0.12	0.02	0.08	0.16
Bayes C	0.13	0.01	0.11	0.16
Bayesian Ridge Regression	0.09	0.02	0.06	0.12

Citas bibliográficas

Diez O.; Zossi S.; Chavanne E.R.; Cárdenas G., 2000. Calidad industrial de las cañas de azúcar de maduración temprana LCP85-384 y LCP85-376 en Tucumán. Análisis de sus principales constituyentes físico-químicos. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán* 77(2): 39-48.

Meuwissen T.H.; Hayes B.J.; Goddard M.E., 2001.Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps.*Genetics* 157(4):1819-1829.

Ostengo S.; Serino G.; Perera M.F. et al., 2022.Sugarcane Breeding, Germplasm Development and Supporting Genetic Research in Argentina.Sugar Tech 24, 166–180. https://doi.org/10.1007/s12355-021-00999-z

COMPARACIÓN DE DOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE PLANTULAS MICROPROPAGADAS DE CAÑA DE AZÚCAR

S.I. Rodríguez[1]*; N del V. Paz[3]; A. N. Peña Malavera[3]; P.A. Digonzelli [1,2]; A.S. Noguera[3].

[1] Facultad de Agronomía y Zootecnia (FAZ) - UNT. F. Ameghino s/n, CP 4105.

[2] Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC), Av. William Cross 3150, C.P. T4101XAC, Las Talitas, Tucumán, República Argentina.

[3] Instituto de Tecnología Agroindustrial del Noroeste Argentino (ITANOA) - Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), CCT NOA Sur. Av. William Cross 3150. Las Talitas, Tucumán, R. Argentina, T4101XAC.
E-mail: silvinainesrodriguez@gmail.com

Palabras claves: Sistema de inmersión Temporal, Sistema de micropropagación convencional, Cultivo *in vitro,* caña de azúcar.

Introducción

La caña de azúcar (*Saccharum spp.)* es originaria del Sudeste Asiático, específicamente de la región de Nueva Guinea e Indonesia (James, 2004). Es una de las especies C4 de mayor importancia económica y alimentaria, aportando cerca del 75% del azúcar que se produce a nivel mundial (Souza *et al.,* 2008).

Argentina se puede considerar un productor mediano a nivel mundial dentro de la industria sucroalcoholera, tanto por la superficie como por el volumen de producción. Sin embargo, en el NOA es un cultivo con fuerte identidad cultural y constituye una producción clave para la economía regional de Tucumán, Salta y Jujuy.

La caña de azúcar se propaga comercialmente en forma agámica mediante el empleo de estacas que se conocen como "caña semilla". Esta forma de propagación favorece la difusión de enfermedades sistémicas que ocasionan graves pérdidas de producción cuando se emplea "caña semilla" sin estándares de calidad. La "caña semilla" de alta calidad se caracteriza por la sanidad, identidad genética y vigor por lo que disponer de este tipo de simiente es fundamental para aumentar la productividad de los cañaverales.

Las técnicas de cultivo de tejidos pueden utilizarse como herramientas eficientes para la obtención de caña semilla de alta calidad. En Tucumán, la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) produce, desde 2001, caña semilla de alta calidad utilizando el cultivo de meristemas y la micropropagación (Digonzelli *et al.*, 2005 y Digonzelli *et al.*, 2019).

El cultivo de meristemas es una técnica que consiste en aislar asépticamente la región meristemática con 1-3 primordios foliares e implantarla en un medio de cultivo estéril, con el propósito de inducir la diferenciación de células y tejidos en plantas completas mediante la utilización de medios de cultivos adecuados (Noguera *et al*., 2010). La técnica de cultivo *in vitro* de meristemas, como método de saneamiento, se fundamenta en la distribución no uniforme de los microorganismos (virus, bacterias, micoplasmas) en los tejidos de las plantas infectadas y su disminución progresiva hacia el ápice del tallo. Por su parte, la micropropagación consiste en la propagación masal de plantas en un ambiente artificial controlado, empleando un medio de cultivo adecuado. Esta herramienta es muy útil en los programas de mejoramiento, ya que tiene el potencial de producir plantas de calidad uniforme a escala comercial, a partir de un genotipo selecto y con una elevada tasa de multiplicación.

Los Sistemas de Inmersión Temporal (SIT), han demostrado ser una herramienta eficaz para la micropropagación de diferentes especies vegetales de importancia económica. Los SIT permiten la automatización de algunas etapas del proceso de cultivo *in vitro* y por lo tanto la disminución de los requerimientos de mano de obra y favorecen la obtención de plántulas de excelente calidad (Alvard y otros, 1993; Mc Alister y otros, 2005).

El objetivo de este trabajo fue comparar la eficiencia en la micropropagación *in vitro* del SIT vs. el sistema de micropropagación convencional, mediante la evaluación del coeficiente de multiplicación en los cultivares TUC 00-19 y TUC 97-8.

Materiales y Métodos

El ensayo se llevó a cabo en el laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales de la Sección Biotecnología de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC).

Como material de partida se utilizaron plántulas *in vitro* en fase de multiplicación (3° subcultivo) de los cultivares comerciales TUC 00-19 y TUC 97-8, las cuales provenían de un sistema de micropropagación convencional,

En el sistema convencional, se partió de un total de 10 frascos de cada variedad. Cada frasco contenía 5 plántulas (4º subcultivo) de aproximadamente 5 cm de altura y se colocaron 30 ml del medio de cultivo de multiplicación en cada frasco. El número de frascos aumentó en cada división con el fin de mantener una densidad de siembra de cinco brotes por frasco siguiendo el protocolo de multiplicación convencional.

En el sistema de inmersión temporal, se utilizaron 10 biorreactores, en cada uno se colocó 800 ml de medio de cultivo de multiplicación y 10 plántulas de aproximadamente 5 cm de altura. En el 6°subcultivo (M6), el número de bidones se duplicó con el fin de mantener una densidad de siembra de 100 brotes por bidón, siguiendo el protocolo de multiplicación. Se utilizó un tiempo de inmersión de 5 minutos con una frecuencia de 3 horas (8 inmersiones/día).

Las condiciones de la cámara de cría fueron de 25ºC ± 2°C con un fotoperiodo de 16 horas de luz/8 horas de oscuridad. Cada subcultivo tuvo una duración estimada de 25 ± 5 días. Se realizaron tres evaluaciones a los 25, 50, 75 días ± 5 días y se determinó el Coeficiente de Multiplicación en tres subcultivos (M4, M5 y M6) mediante el conteo del número de plantas obtenidas a partir de cada planta inicial.

El medio de cultivo líquido empleado para la fase de multiplicación fue el propuesto por Murashige y Skoog (1962) (MS), suplementado con 0,25 ml de ácido 1-naftalenacético (ANA) y 5 ml de benzilamino purina (BAP), 3,0% de sacarosa y se ajustó el pH a 5,8 previo a la esterilización.

Resultados

Se ajustó un Modelo lineal general para la variable dependiente tasa de multiplicación. Se puede observar en las salidas que la interacción Sistema*Variedad no es significativa *(valor-p=0,1087,* mientras que los factores principales Sistema y Variedad si tuvieron diferencias significativas *(*valor-p= <0,0001 y 0,0003, respectivamente*)* (Tablas 1, y 2).

Tabla 1. Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0
98	345,66	360,92	-166,83	3,18	0,52

AIC y BIC menores implica mejor

Tabla 2. Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	339,87	<0,0001
Sistema	1	37,00	<0,0001
variedad	1	13,95	0,0003
Sistema:variedad	1	2,62	0,1087

Estructura de varianzas
Modelo de varianzas: varIdent
Formula: ~ 1 | Sistema

Parámetros de la función de varianza

Parámetro	Estim
SIT	1,00
Convencional	0,25

tasa - Medias ajustadas y errores estándares para Sistema

Las tablas 3 y 4 y las figuras 1 y 2 muestran las comparaciones de medias en el coeficiente de multiplicación de los dos sistemas y las dos variedades estudiadas.

Tabla 3. Coeficiente de multiplicación en los dos sistemas estudiados. Tucumán – Argentina, 2019. *LSD Fisher (Alfa=0,05)*

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Sistema	Medias	E.E.	
SIT	6,77	0,54	A
Convencional	3,41	0,10	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Tabla 4. Coeficiente de multiplicación para las variedades estudiadas. Tucumán – Argentina, 2019. *LSD Fisher (Alfa=0,05)*

Procedimiento de corrección de p-valores: No

variedad	Medias	E.E.	
TUC 97-8	6,12	0,33	A
TUC 00-19	4,06	0,45	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

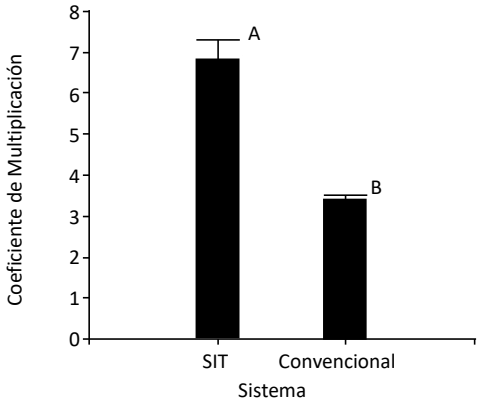


Fig. 1. Comportamiento del Coeficiente de Multiplicación en los sistemas SIT y Convencional.

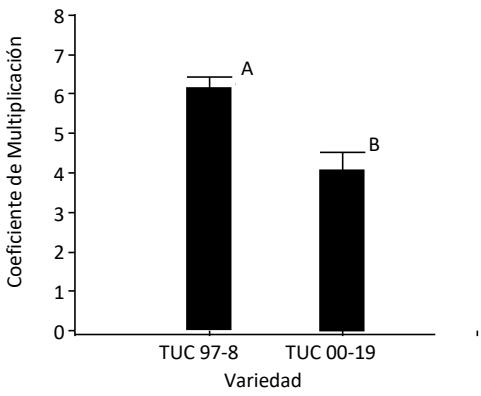


Fig. 2. Comportamiento del Coeficiente de Multiplicación de los genotipos TUC 97-8

y TUC 00-19.

Las tablas 5 y 6 y las figuras 3 y 4 muestran el comportamiento del coeficiente de multiplicación para cada sistema evaluado (SIT vs micropropagación convencional), analizados para cada cultivar en forma separada.

Tabla 5. Coeficiente de multiplicación para TUC 97-8 en los dos sistemas estudiados. Tucumán –Argentina. 2019. *LSD Fisher (Alfa=0,05)*

Sistema	Medias	E.E.	**TUC 97-8**
SIT	8,25	0,69	A
Convencional	4,00	0,16	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Tabla 5. Coeficiente de multiplicación para TUC 00-19 en los dos sistemas estudiados. Tucumán –Argentina. 2019. *LSD Fisher (Alfa=0,05)*

Sistema	Medias	E.E.	**TUC 00-19**
SIT	5,29	0,71	A
Convencional	2,83	0,13	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05

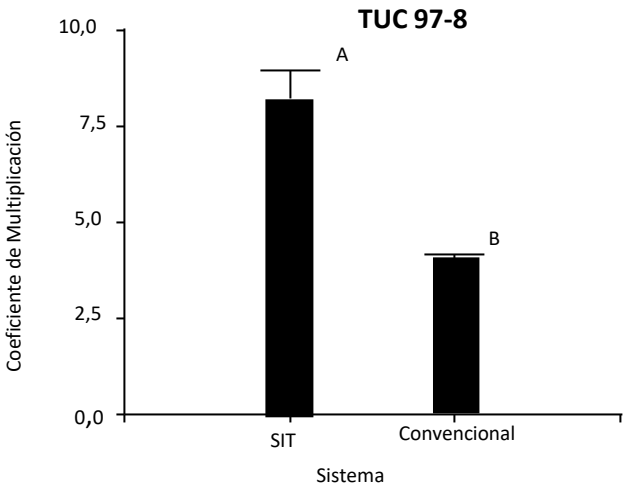


Fig. 3. Comportamiento del Coeficiente de Multiplicación en los sistemas SIT y Convencional en el cultivar TUC97-8.

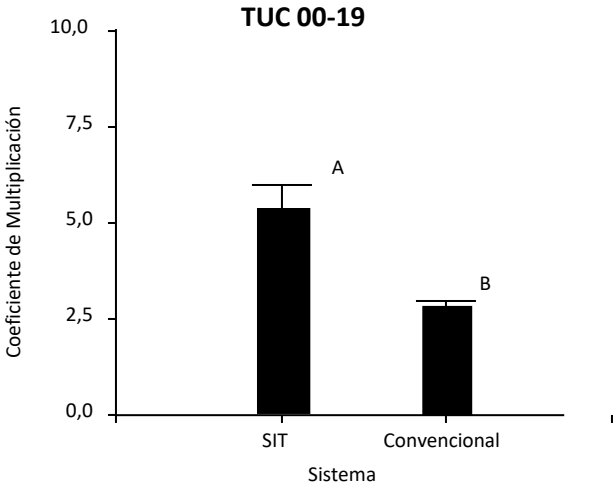


Fig. 4. Comportamiento del Coeficiente de Multiplicación en los sistemas SIT y Convencional en el cultivar TUC00-19.

Se observó que el promedio general del coeficiente de multiplicación, considerando los dos genotipos evaluados y las tres fechas de evaluación, fue de 1:6,77 y 1:3,41 en los sistemas SIT y convencional, respectivamente (figura 1). La tasa de multiplicación prácticamente se duplicó en el SIT, lo que significa que a partir de cada brote se produjeron casi el doble de brotes en este sistema respecto al sistema de micropropagación convencional. Esta diferencia podría fundamentarse en el hecho de que el SIT presenta ventajas como la inmersión intermitente de los explantos en el medio de cultivo lo que posibilita la renovación constante de la atmósfera interna de los frascos evitando la acumulación de gases nocivos tipo etileno y facilitando la regulación de la concentración de CO_2 y la oxigenación de los tejidos. Las consecuencias prácticas de lograr mayores coeficientes de multiplicación se relacionan con la posibilidad de obtener el número requerido de vitroplantas partiendo de menor número inicial de meristemas y/o de un menor número de multiplicaciones *in vitro* todo lo cual se traduce en menores requerimientos de mano de obra y de tiempo con la consiguiente disminución de costos.

Por otra parte, este ensayo evidenció que los cultivares de caña de azúcar presentan comportamientos diferentes durante el cultivo *in vitro*. Así, en general, TUC 97-8 alcanzó el mayor coeficiente de multiplicación de brotes en comparación con TUC 00-19 (figura 2).

Las figuras 3 y 4 confirman que el comportamiento diferencial de los cultivares evaluados es consistente en ambos sistemas de multiplicación.

Diferencias de comportamiento entre cultivares se observan en todas las etapas de la micropropagación y tienen como consecuencia que, según el genotipo, sea posible producir mayor o menor número de plántulas partiendo de un mismo número de meristemas implantados inicialmente y que la duración del proceso *in vitro* pueda ser mayor o menor afectando, en definitiva, la eficiencia del mismo.

Por otra parte, se destaca en el SIT se obtuvieron plantines de mayor tamaño y vigor que en el sistema de micropropagación convencional lo cual favoreció a la fase de enraizamiento y posterior aclimatación de los mismos en invernadero (datos no mostrado).

Conclusión

Se concluye que el sistema (SIT) permitió lograr mayores coeficientes de multiplicación en los genotipos estudiados lo que permite aumentar la eficiencia del proceso. Esto, a su vez, reduce los requerimientos de mano de obra, facilita el escalado e incrementa la productividad. Las variedades responden en forma diferencial a las técnicas de cultivo de tejidos vegetales, en este trabajo se observó que el cultivar TUC 97-8 presentó mayores coeficientes de multiplicación que TUC 00-19 en ambos sistemas de multiplicación.

Bibliografía

- Alvard, D; Côte, F; Teisson, C (1993). Comparison of methods of liquid medium culture for banana micropropagation. Effects of temporary immersion of explants. Plant Cell Tiss Org Cult. 32, 55-60.
- Digonzelli P.A.; Giardina J.A.; Duarte D.; Fajre S.; Medina M.M.; Barceló M.F. y Pérez Alabarce J.F. 2019. Producción de caña semilla de alta calidad en semilleros Básicos y Registrados de la provincia de Tucumán: un análisis de cinco años (2014-2018). Rvta. Agronómica del Noroeste Argentino (RANAR) 39 (2): 117-125. ISSN 0080-2069.
- Digonzelli, P.A., Brito, E., Giardina, J., Scandaliaris, J., & Romero, E. (2005). Caña semilla de alta calidad: insumo vital para mejorar la productividad de los cañaverales tucumanos. Avance Agroind, 26(2), 13-16.
- James G. (2004). Sugarcane, Second Edition by Blackwell Science Ltd a Blackwell Publishing Company Edited - ISBN 0-632-05476-X. pag. 224.
- Mc Alister, B; Finnie, J; Watt, M P; Blakeway, F (2005). Use of the temporary immersion bioreactor system (RITA®) for production of commercial Eucalyptus clones in Mondi Forests. Plant Cell Tiss Org Cult. 81, 347-358.

- Noguera, A. S., Paz, N. D. V., Díaz, M. E., Perera, M. F., Sepúlveda Tusek, M., Filippone, M. P., & Castagnaro, A. P. (2010). La producción de caña semilla de alta calidad comienza en el laboratorio. Rvta: Publicación Especial Vitroplantas. ISSN: 0328-7300.
- Souza AP, Gaspar M, Silva EA, Ulian EC, Waclawosky AJ, Nishiyama MY JR, Santos RV, Teixeira MM, Souza GM, Buckeridge MS (2008) El CO2 elevado aumenta la fotosíntesis, la biomasa y la productividad, y modifica la expresión de genes en la caña de azúcar. Plant Cell Environ 31 (8): 1116–112

FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO, FÓSFORO Y AZUFRE EN CAÑAS SOCAS EN TUCUMÁN, ARGENTINA.

Romero, J.I.[1]; Arroyo E. [1]; Peña Malavera A. [2]; Rojas Quinteros H. [1]; Sanzano A.[1]
[1]Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC); [2] ITANOA (EEAOC-Conicet)
Tucumán, Argentina. jiromero@eeaoc.org.ar

PALABRAS CLAVE:nutrición balanceada, longevidad.

INTRODUCCIÓN

Para avanzar hacia una mejor integración entre producción agrícola y sustentabilidad, se requiere, entre otras estrategias, un continuo ajuste en el manejo de la fertilización de los cultivos (Manschadi et al. 2014).

En Tucumán, el cultivo de caña de azúcar se fertiliza casi exclusivamente con nitrógeno (N) y en algunos casos, según el análisis de suelo,también con fósforo (P). Por las características de fertilidad de los suelos locales, en la gran mayoría de los casos, no se tienen en cuenta otros nutrientes en el plan de fertilización del cultivo.

En nuestra área cañera, se establecieron tres situaciones diferenciadas de disponibilidad de fósforo para el cultivo de caña de azúcar. Según los valores de P extractable (Bray y Kurtz II) determinados en los suelos, estos se clasifican en contenidos bajos, medios y altos. Contenidos menores a 13 ppm se asociaron con una respuesta “segura” a la fertilización fosfatada; contenidos medios (13-25ppm) con una respuesta “probable”; y “nula” respuesta en suelos con más de 25 ppm en el suelo (Pérez Zamora et al.;1999; 2002).

En general, los productores basan sus decisiones en el retorno inmediato de la inversión, sin considerar la eficacia del sistema en el mediano y largo plazo (García; 2013).La eficiencia de uso del fertilizante fosfatado por los cultivos es muy baja debido a la limitada solubilidad y movilidad en el suelo (Fixen y Bruulsema, 2014).En suelos con contenidos medios de P (13-25ppm) la respuesta productiva a la fertilización fosfatada en el corto plazo no está asegurada, lo que podría ir en desmedro de la longevidad del cañaveral. Sin embargo, algo a destacar en estas situaciones es que, para incrementar la probabilidad de respuesta a un nutriente (en niveles de deficiencia) será necesario que el resto de los factores (ej: agua u otros nutrientes) estén a nivel óptimo o cercano al óptimo (Sumner, 2000).Así, la deficiencia de otro/s nutrientes puede ser una de las causas de falta de respuesta al agregado de P en ciertas condiciones.

El azufre (S) cumple importantes funciones en la nutrición vegetal. La fertilización azufrada es una práctica en expansión en diversos países alrededor del mundo. Durante años, el estudio de este nutriente recibió poca atención dado que su disponibilidad en el suelo y los aportes atmosféricos y/o en los agroquímicos permitía cubrir la demanda de los cultivos. Sin embargo, en la actualidad existen numerosos reportes de respuestapositiva en los rendimientos ante el agregado de azufre (S) además de N y P al sistema en cultivos de grano en Argentina (Vivas et al. 2007).

Existen ciertas condiciones que favorecen la deficiencia de azufre: suelos de textura gruesa, con bajo contenido de materia orgánica (MO), ambientes de alta productividad, etc. (Carciochi et al.;2015). Todas estas condiciones se encuentran presentes en algunas áreas de producción de caña de azúcar.

Arroyo et al. (2022), determinó que el 56% del área cañera de Tucumán presenta suelos con niveles bajos de materia orgánica, con contenidos menores al 2%. Siguiendo

este razonamiento, podríamos suponer que en algunas situaciones de bajo P y baja materia orgánica, la respuesta al P pueda verse limitada por una deficiencia de S (o viceversa).

En Tucumán, y en Argentina, no se encuentra información sobre al efecto de sumar azufre a la aplicación de fósforoy nitrógenoen caña de azúcar a la edad de socas. El objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto de dicha práctica en los rendimientos de socas de edad avanzada, planteando en este caso, una estrategia de fertilización bianual fosfatada (usando una dosis de P suficiente para dos campañas) y con el agregado de azufre a la tradicional fertilización nitrogenada.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se estableció en la campaña 2019-20 en un lote de edad soca 5 de la variedad LCP 85-384 ubicado en la localidad de Taco Palta–DptoBurruyacu-Tucumán (26º47´00" S; 65º02´00" O). El mismo tuvo una duración de dos campañas (socas 5 y 6). La cosecha fue mecanizada en verde con mantenimiento del RAC en superficie. El suelo presenta textura franca, pH 6,2; conductividad eléctrica (CE) de 0,4 dS/m, y sin concentraciones significativas de carbonato de calcio. El contenido de materia orgánica determinado fue de 2% y el contenido de P extractable (Bray-Kurtz II) de 21 ppm. Este valor se encuentra dentro del rango de "respuesta probable" al agregado de P (Pérez Zamora 2002; 2015; Romero et al. 2009).

Se realizó un ensayo en microparcelas (cada una de 5 surcos por 10 m de largo), en un diseño completamente aleatorizado con cinco tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos se detallan en la tabla1.

	Soca 5 - Campaña 2019-2020			Soca 6 -Campaña 2020-2021		
Trat	**Nutriente**	**DosisElemento (kg/ha)**	**Aplicación**	**Nutriente**	**DosisElemento (kg/ha)**	**Aplicación**
T1	**N**	50 N	Superficial	**N**	50 N	Superficial
T2	**NP**	50 N + 40 P2O5	Superficial SFT incorp.	**N+**P residual	50 N	Superficial
T3	**NS**	50 N + 13 S	Superficial	**NS**	50 N + 13 S	Superficial
T4	**NPS**	50 N+ 40 P205 + 13 S	Superficial SFT incorp.	**NS+**P residual	50 N + 13 S	Superficial
T5	**NPS + K+ Mg**	50N+40 P205 +10 S + 7K +2 Mg	Superficial	**NPS + K+ Mg**	50N+40 P205+10 S +7K +2 Mg	Superficial

Tabla 1: Tratamientos fertilizantes aplicados en las campañas 2019-20 y 2020-21. Caña de azúcar, socas 5 y 6 respectivamente. Taco Palta, DptoBurruyacu, Tucumán. Argentina.

Considerando el comportamiento residual del P como una ventaja operativa, y tratándose de un cañaveral de edad avanzada, los tratamientos fueron planteados para dos campañas consecutivas, aplicando una dosis de P suficiente para cubrir la necesidad de dos ciclos en un suelo de estas características (siguiendo la recomendación vigente). Se usaron dos fuentes de P: superfosfato triple (SFT) y un fertilizante compuesto, que contiene principalmente N y P pero además aporta potasio (K), magnesio (Mg) y azufre (S).En T2 y T4 se usó SFT que se incorporó en la costilla del surco en la campaña 2019-20. En T5, al

tratarse de un fertilizante compuesto, el P y los otros nutrientes se aplicaron superficialmente en la línea del surco, según su recomendación comercial y es el único tratamiento que recibió aporte de P en ambas campañas.La fuente de N en todos los tratamientos fue nitrato de amonio calcáreo (CAN) aplicado superficialmente en la línea del surco. El S fue suministrado en forma de sulfato en todos los tratamientos.

En la campaña 2019-20 las precipitaciones sumaron aproximadamente 1050 mm,En la campaña 2020-21, las lluvias sumaron 1073 mm (Fuente: agromet.eeaoc.gob.ar).

En la campaña 2019-20, los tratamientos se aplicaron el día 15 de noviembre de 2019 y la cosecha el 10 de junio de 2020. En la 2020-21, la aplicación fue el 6 de noviembre de 2020 y la cosecha el 1 de junio de 2021.

En febrero de 2021, se realizóun muestreo foliar en todas las parcelas para determinar los contenidos de N y P. Se tomaron treinta hojas +1 por parcela y se analizaron en el Laboratorio de Suelos de la EEAOC.

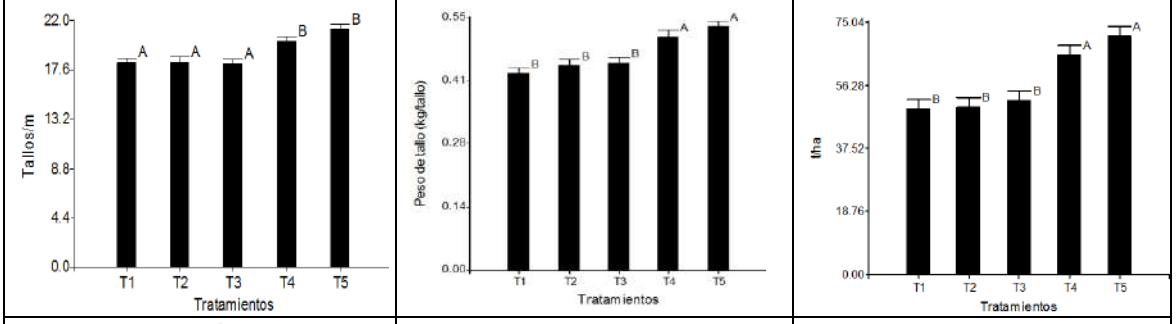
A fines mayo-principios de junio de ambas campañas, se realizaron las mediciones del número de tallos por metro (conteo de 10 m lineales en los tres surcos centrales de cada parcela) y del peso de tallos (tres submuestras de 15 tallos consecutivos por parcela) de los diferentes tratamientos para la estimación del rendimiento cultural. Además, en dichas muestras de tallos se analizaron los parámetros de calidad de jugo.

Los datos obtenidos fueron analizados mediante modelos lineales, con efectos fijos de tratamiento. Las medias de los tratamientos se compararon *a posteriori*mediante el test LSD de Fisher. Cada campaña fue analizada de manera independiente.

RESULTADOS

Los resultados productivos de los diferentes tratamientos en la campaña 2019-2020 se muestran en la Figura1.

Figura 1 : Campaña 2019-2020 - Soca 5



A) Población de tallos (nº tallos/m)	B) Peso Promedio de tallos (kg/tallo)	C) Rendimiento Cultural (t/ha)

Como puede observarse en la figura1, los tratamientos con N+P+S (T4 y T5) superaron significativamente a los otros en las 3 variables evaluadas. Por otro lado, los tratamientos con dos nutrientes, tanto N+P (T2) como N+S (T3), no se diferenciaron significativamente de N (T1), por lo que podríamos decir que no hubo respuesta al agregado de P ni de S a la fertilización nitrogenada, pero sí cuando se agregaron los tres nutrientes juntos. La no respuesta al agregado de P en adición al N, podría explicarse porque los niveles de P en el suelo eran de 21 ppm, encontrándose dentro del rango de “respuesta probable”. Por su parte, la no respuesta al S, que no cuenta con un método indicador de disponibilidad calibrado ni con valores críticos establecidos para el cultivo de caña a nivel

local, podríamos justificarla con una disponibilidad suficiente de dicho elemento para los niveles productivos obtenidos. Sin embargo, la respuesta sinérgica al agregar los tres nutrientes juntos permite suponer que ambos nutrientes se encontraban por debajo de los requerimientos del cultivo y que la falta de uno de ellos limitaba la respuesta al agregado del otro y viceversa.

El 11 de febrero del 2021, en la soca 6, se realizó un muestreo foliar para analizar los valores de P en el Laboratorio de Suelos de la EEAOC (Tabla 2).El valor de P foliar reportado como crítico para caña de azúcar en Tucumán y otras zonas cañeras del mundo es 0,16%-0,17% (Pérez Zamora, 1999, 2002).

Tabla 2: Contenido de P foliar en los diferentes tratamientos de fertilización. Muestreo: 11/02/2021.Edad cañaveral: Soca 6. Taco Palta, DptoBurruyacu, Tucumán, Argentina. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes (p<0,05). *Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05).*

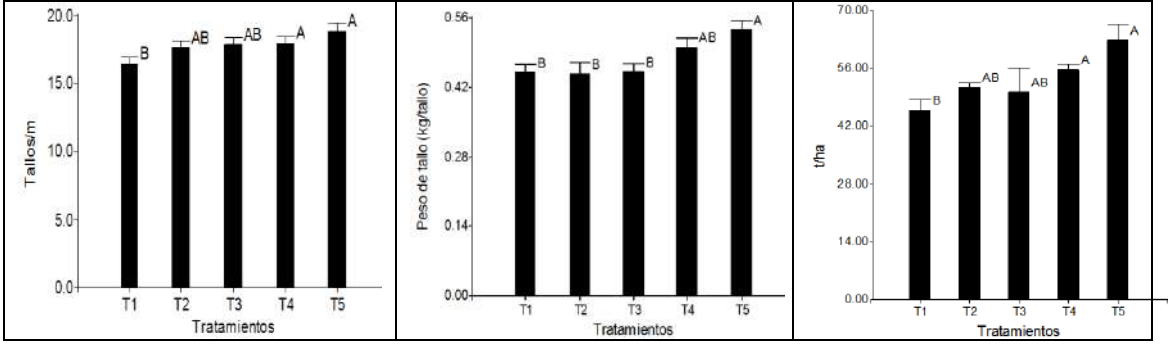
Tratamiento	%P foliar	
T5 - NPS + K+ Mg	0,16	A
T2-N+ P residual	0,15	AB
T4-NS+ P residual	0,14	AB
T1-N	0,13	BC
T3 - NS	0,12	C

En la tabla 2, se observa que los mayores valores se obtuvieron en los tratamientos T5, T2 y T4, que son los que recibieron aporte de P. El tratamiento T5, que recibió aporte de P en ambas campañas, mostró los mayores valores foliares, alcanzando el valor crítico establecido para el cultivo. Los tratamientos T2 y T4, con P aplicado en 2019, si bien estuvieron por debajo del crítico, no se diferenciaron significativamente de T5,y mostraron valores mayores a los de T3 y T1, que no recibieron P, demostrando efecto residual del P aplicado en la campaña previa. A su vez, los tratamientos T3 y T1, mostraron los menores valores sin diferenciarse estadísticamente entre ellas.

Según este análisis foliar, en la campaña 2020-2021 (soca 6), solamente T5 mostró valores foliares de P no considerados deficitarios. Esto haría pensar que la dosis de 40 kg de P_20_5 aplicada en la campaña previa, no fue suficiente para cubrir el requerimiento de las dos campañas.

Los resultados productivos de los diferentes tratamientos en la campaña 2020-2021 se muestran en la figura 2.

Figura 2 : Campaña 2020-2021 - Soca 6



A) Población de tallos (nºtallos/m). (p<0,05).	B) Peso Promedio de tallos (kg/tallo).(p<0,05).	C) Rendimiento Cultural (t/ha).(p<0,05).

A partir de la figura 2, podemos ver que los resultados fueron similares a los vistos en la soca 5, aunque con algunas pequeñas diferencias. Los tratamientos con N+P+S (T4 yT5) nuevamente fueron los de mayor nivel productivo y los únicos que superaron significativamente a T1 (N) con diferencias del 21% y 37% respectivamente.
Por otro lado, aunque no llegó a ser estadísticamente significativo, se puede resaltar un efecto positivo del P residual en T4 (NS+P residual), que superó a T3 (NS) en un 11% y también en T2 (N+ P residual) que en esta segunda campaña mostró una ventaja del 12% respecto a T1 (N). En esta ciclo (soca 6), también el tratamiento T3 (NS) mostró una ventaja del 9% sobre T1(N), sugiriendo una respuesta al S, aunque tampoco haya llegado a ser estadísticamente significativa.

CONCLUSIONES

- El agregado de azufre (S) ala fertilización nitro-fosfatafa (N+P) del cultivo generó un incremento significativo de los rendimientos culturales en un suelo de “respuesta probable” al P (13-25 ppm BrayKurtz II)y con bajo contenido de materia orgánica.
- La falta de respuesta productiva al fósforohabría estado limitada por una baja disponibilidad de azufre y viceversa.
- La respuesta a la aplicación superficial de fósforo y azufre puede resultar en una ventaja técnico-operativa.
- Cañaverales de edad avanzada respondieron significativamente a mejoras en el manejo nutricional, permitiendo prolongar su vida económica o longevidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. Arroyo, E., A. Sanzano, H. Rojas Quinteros y J. P. Navarro Di Marco. 2022. Estado de fertilidad de los suelos cañeros de Tucumán, Argentina: materia orgánica, nitrógeno y pH del suelo.Revista Industrial y Agrícola de Tucumán - RIAT 99 (1).
2. Carciochi, W. D., G. A. Divito, N. I. Reussi Calvo, and H. E. Echeverría. 2015. “Diagnóstico de Azufre En Los Cultivos de La Región Pampeana Argentina.” Informaciones Agronómicas IAH 18:22–28.
3. García, F.O.; M.F. Gonzalez Sanjuan. 2013. La nutrición de suelos y cultivos y el balance de nutrientes: ¿Comoestamos?. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica IAH 9. Ipni Cono Sur.
4. Manschadi, A. M., H. P.Kaul, J.Vollmann, J. Eitzinger, and W. Wenzel. 2014. “Developing Phosphorus-Efficient Crop Varieties-An Interdisciplinary Research Framework.” *Field Crops Research* 162:87–98.
5. Pérez Zamora, F.; J. Scandaliaris, R. Villegas, A. Menéndez y M. Morandini. 1999. Criterios modernos para la fertilización de caña de azúcar en Tucumán. Publicación especial Nº14. EEAOC.
6. Pérez Zamora, F.; J. Scandaliaris, R. Villegas y G. Fadda. 2002. Efecto de la fertilización fosfórica sobre los niveles productivos de caña de azúcar en Tucumán. Informaciones Agronómicas Nº46.IPNI. p 11-13.
7. Sumner, Malcolm E. 2000. “Diagnóstico de Los Requerimientos de Fertilización de Cultivos Extensivos.” Presentado en el VIII Congreso Argentino de Siembra Directa, AAPRESID. Mar del Plata.
8. Vivas, Hugo S. and J. L. Hotián y L. Gastaldi , R. Albrecht. n.d. “Residualidad Del Fósforo y Del Azufre.” 2007. Informaciones Agronómicas del Cono Sur. # 35. International PlantNutritionInstitute (IPNI).

APROXIMACION A LA CARACTERIZACION ESPECTRAL DE VARIEDADES DE CAÑA DE AZUCAR EN LA PROVINCIA DE TUCUMAN

Scandaliaris P;Fandos C; Carreras Baldrés J I ySoria F J
Estación Experimental Agroindustrial "Obispo Colombres"
Avenida William Cross 3150, C.C. Nº 9 (T4101XAC), Las Talitas, provincia de Tucumán, Argentina
pablos@eeaoc.org.ar

Palabras clave: Espectro óptico, firma espectral, Sentinel 2A, teledetección

Introducción

La teledetección espacial facilitael relevamiento de los cultivos debido a que las imágenes satelitales permiten una visión sinóptica de las zonas agrícolas y posibilitan un seguimiento temporal de las fases de desarrollo de los cultivos.

La caracterización espectral de los cultivos, y específicamente de las variedades o cultivares, es el primer paso para la lograr la identificación y cuantificación de los mismos.

Para poder caracterizar espectralmente una determinada cubierta, se debe conocer su comportamiento en diversas longitudes de onda, ya que esto permitirá determinar mejor sus diferencias con respecto a cubiertas espectralmente similares (Chuvieco, 2002). Además, orientará la selección de bandas espectrales adecuadas para su estudio.

El comportamiento diferenciado que las superficies vegetales tienen en cada longitud de onda del espectro electromagnético se conoce como respuesta espectral o firma espectral de la vegetación, *spectral signature* en la literatura anglosajona (Prados Velasco, 1995).

Existen múltiples factores que influyen y modifican la caracterización espectral de las masas vegetales, sin embargo, varios autores coinciden en que la vegetación vigorosa presenta un comportamiento típico en las bandas visibles y reducida reflectividad en general, pero con un máximo relativo en la porción verde del espectro. Por el contrario, en las bandas del infrarrojo cercano presenta una elevada reflectividad, reduciéndose paulatinamente hacia el infrarrojo medio (Chuvieco, 2002).Existen múltiples trabajos donde, teniendo en cuenta el comportamiento espectral de la vegetación, se analizan bandas dentro del espectro óptico.

El conocimiento de la distribución varietal en un sistema productivo agrícola permite identificar el grado de preferencia de diferentes cultivares por parte de los productores, como así también definir su estado de diversificación. De allí la importancia de ajustar metodologías que faciliten la identificación de variedades en vistas a su mapeo.

Según Aybar Guchea *et al*., (2020), la variedad de caña de azúcar predominante en la provincia de Tucumán para la campaña 2019/2020 fue LCP 85-384, con el 67,74%, seguida por TUC 95-10, con el 18,05%. Si bien existe una preponderancia de la variedad LCP 85-384, en las últimas campañas se constata un incremento de nuevas variedades entre las que se destacan TUC 95-10 y TUC 03-12, entre otras.

La Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) realiza anualmente el monitoreo del cañaveral tucumano utilizando herramientas de teledetección y SIG, en sensores pertenecientes a distintas plataformas satelitales, siendo los de uso más frecuente los sensores TM, ETM+ y OLI dela plataforma Landsat.

La misión Sentinel 2 presenta los satélites Sentinel 2A y 2B, los cuales contienen el sensor MSI(ESA, 2022), quepresenta bandas espectrales situadas en el rango óptico del espectro. Las bandas 4 (Red), 8 (NIR 1) y 11 (SWIR 1)tienen rangos espectrales similares

a las bandas 3, 4 y 5 de los sensores TM y ETM+, y bandas 4, 5 y 6 del sensor OLI(NASA, 2014), sobre las cuales existen numerosas publicaciones donde se analizan las características espectrales de la vegetación y son, además, las bandas principalmente utilizadas por la EEAOC en el relevamiento satelital de los cañaverales.

El objetivo del presente trabajo fue realizarla caracterización espectral dediferentesvariedades de caña de azúcar,en meses previos a la cosechatucumana 2022, utilizando las bandas 4, 8 y 11 del satélite Sentinel 2A.

Materiales y métodos

El área de estudio se circunscribió a la región norte del área cultivada con caña de azúcar en la provincia de Tucumán, que comprende los departamentos Burruyacu y Cruz Alta (Figura 1).

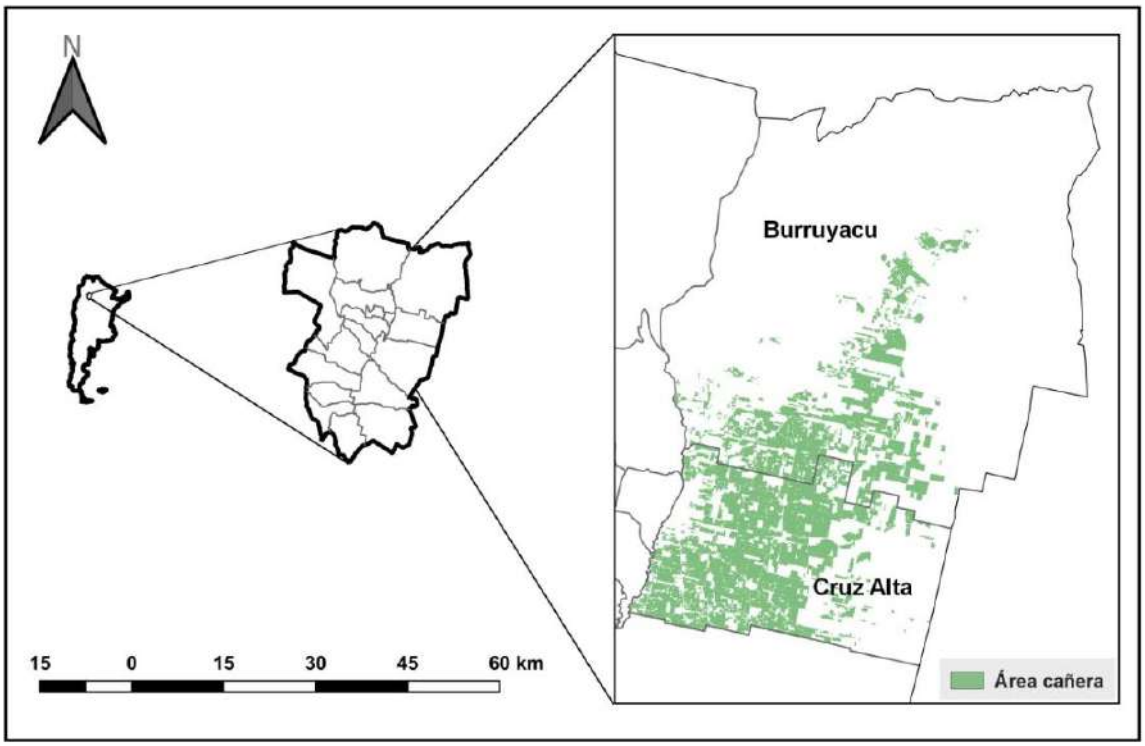


Figura 1. Situación relativa del área de estudio

La caracterización espectral de las variedades se realizó sobre imágenes Sentinel 2A, obtenidas del sitio https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home. Se utilizaron imágenes de nivel 2A, las cuales se encuentran corregidas atmosféricamente, corresponden a la escena T20JLR y fueron adquiridas el 16 de febrero, 28 de marzo, 17 de abril y 22 de mayo de 2022. Las imágenes fueron reproyectadas al sistema de referencia correspondiente a la proyección cartográfica Posgar 94, Datum WGS 84.

La selección delotes de control paraidentificar las curvas de respuesta espectral delas diferentes variedades de cañade azúcar, se realizóconforme a la información de campo brindada por empresas azucareras. Se dispuso de información de lotes comerciales de las variedades LCP 85-384, TUC 95-10, TUC 03-12 y TUC 02-22, en edad de soca 1, distribuidos en los departamentos Burruyacu y Cruz Alta.

Con posterioridad a la toma de muestras de cada variedad en las bandas 4, 8 y 11, se generaron las estadísticas de cada muestra. Seguidamente se promediaron los valores medios de niveles digitales (ND) de todas las muestras para cada variedad y se generaron las curvas espectrales. Cabe destacar que se pueden considerar los niveles digitales de la imagen (ND) como medidas relativas, esto es, si bien no puede conocerse con rigor el valor de reflectividad que corresponde a cada ND, si se puede afirmar que cuanto mayor sea su ND, mayor será la reflectividad de la parcela del terreno a la que corresponde ese pixel (Chuvieco, 2002).

Los softwares utilizados para el trabajo fueron ERDAS Imagine, versión 8.4. Quantum GIS versión 3.16.9.

Resultados

En la Figura 2 se muestran ejemplos de lotes comerciales de las variedades de caña de azúcar en estudio, en las diferentes fechas analizadas. Se exponen enimágenes Sentinel 2A, composición Pseudo Color Compuesto (RGB: 8-11-4).

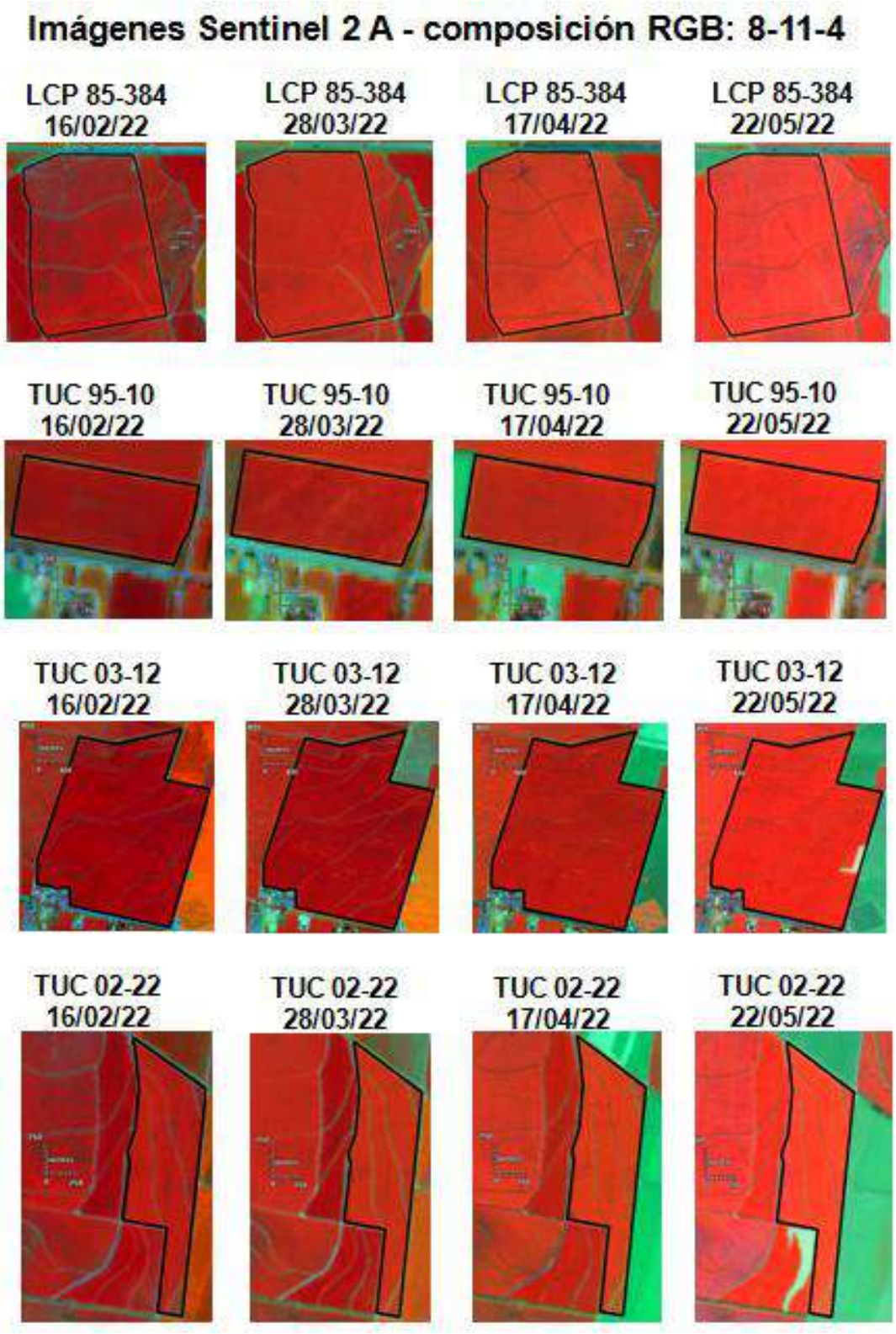


Figura 2: Lotes comerciales de variedades de caña de azúcar en diferentes fechas. Imágenes Sentinel 2A, composición RGB 8-11-4.

Varios autores recomiendan, para la identificación espectral de la caña de azúcar, utilizar imágenes en momentos previos a la cosecha, cuando el dosel del cultivo se ha desarrollado plenamente. Atento a este criterio adquiere importancia el comportamiento espectral entre mediados de marzo y abril. El análisis de la Figura 2 en las fechas correspondientes al 28 de marzo y 17 de abril permite apreciar tonos más oscuros en las variedades TUC 95-10 y TUC 03-12 y más claros en las variedades LCP 85-384 y TUC 02-22.

En la Figura 3 se exponen las curvas de respuestas espectrales de las diferentes variedades de caña de azúcar, entre los meses de febrero a mayo de 2022.

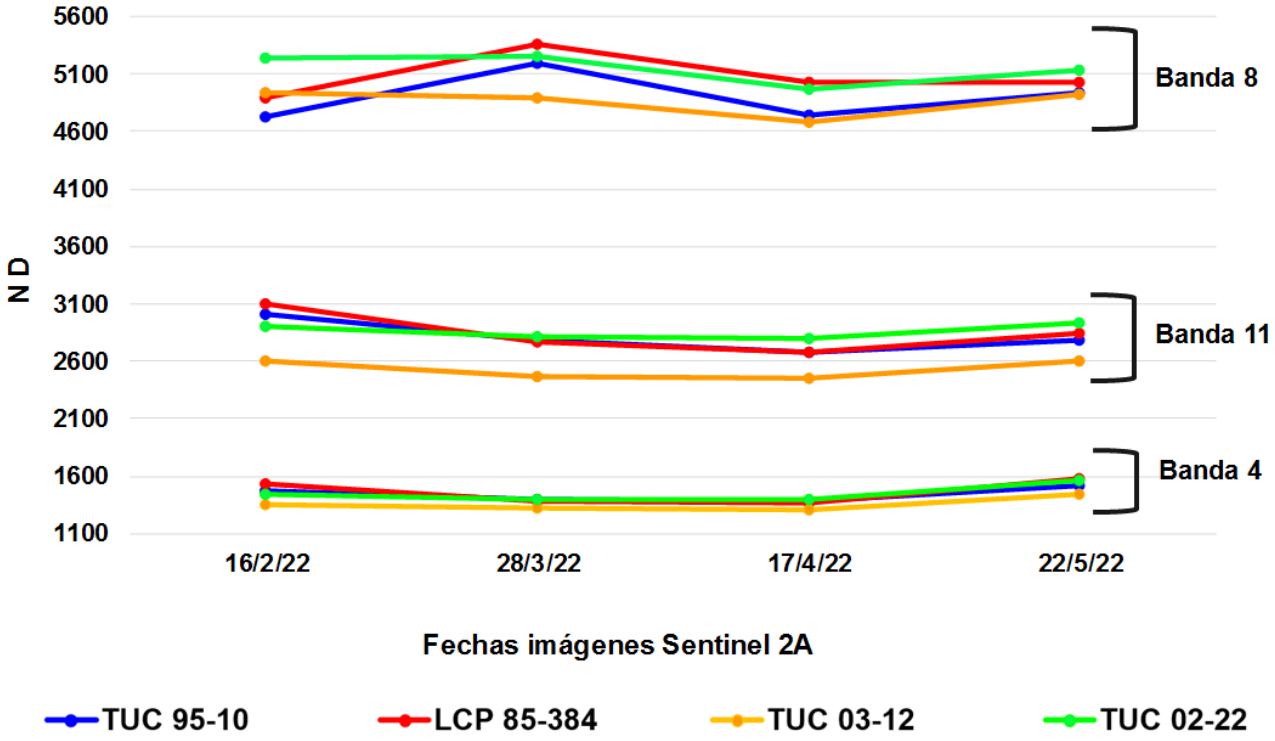


Figura 3: Promedios de ND medios en las bandas 4, 8 y 11 de imágenes Sentinel 2A, para cuatro variedades de caña de azúcar, en diferentes fechas.

A nivel general se aprecia que los valores de ND para las 3 bandas espectrales responden al comportamiento general de la vegetación: reducida reflectividad dentro del visible (banda 4), elevada reflectividaden el infrarrojo cercano (banda 8), reduciéndose paulatinamente hacia el infrarrojo medio (banda 11).

El análisis en detalle de la banda 11 indica, en general, baja separabilidad entre variedades. Sin embargo, la variedad TUC 03-12 se aleja del resto puesto que presenta menores valores de ND a lo largo del periodo analizado. La banda 4 presenta un comportamiento similar, pero con menores valores de ND y rangos con mayor compresión; mientras quela banda 8 presenta la mayor separación entre variedades en la mayoría de las fechas.

Al analizar en profundidad el comportamiento en la banda 8, en las fechas de marzo y abril, momento en el cual el cultivo presenta un desarrollo definitivo del follaje, se observa que para el 28 de marzo la variedad TUC 03-12 presenta valores de ND por debajo de las otras variedades, lo que le permite diferenciarse de las otras variedades analizadas. Mientras que el 17 de abril se pueden distinguir dos grupos, el primero conformado por las variedades LCP 85-384 y TUC 02-22 con los valores más altos de ND, y el otro grupo con menores ND,constituido por los cultivares TUC 03-12 y TUC 95-10.

Conclusiones

La caracterización espectral de los cultivos, y específicamente de las variedades o cultivares, es el primer paso para lograr la identificación y cuantificación de los mismos en imágenes satelitales.

El estudio de las bandas 4, 8 y 11 permitió constatar que en la banda 8 se detectaba la mayor separabilidad entre variedades en la mayoría de las fechas analizadas. La banda 4presentó el mayor solapamiento entre variedades.

En la banda 11se detectó una separación de la variedadTUC 03-12 del resto, las cuales no mostraron una separabilidad detectable.

La variedad TUC 03-12 presentó los menores valores de ND en todas las fechas en las bandas 4 y 11, y prácticamente en todas las fechas en la banda 8, lo que indica menores valores de reflectividad que el resto de las variedades.

De acuerdo a diversas publicaciones sobre la fecha para realizar la identificación espectral de la caña de azúcar, se recomienda utilizar imágenes en momentos previos a la cosecha, cuando el dosel del cultivo se ha desarrollado plenamente. Teniendo en cuenta dicho criterio, se destaca el comportamiento espectral de las variedades en la banda 8, en la fecha correspondiente al 17 de abril. En dicha fecha se pueden distinguir dos grupos, con mayores valores de ND, es decir mayor reflectividad, las variedades LCP 85-384 y TUC 02-22 y con menores ND los cultivares TUC 03-12 y TUC 95-10.

Los lotes seleccionados para el análisis correspondían a la edad de soca 1 y presentaban buen desarrollo en general. Cabe recordar que la edad y el manejo del cañaveral tienen gran influencia en el estado general del cultivo, lo que repercute directamente en el desarrollo y arquitectura de la biomasa.

La selección de las bandas espectrales se debió a su similitud con las bandas mayormente utilizadas por la EEAOC en el relevamiento de los cañaverales. En investigaciones futuras se prevé el análisis para iguales bandas en diferentes edades, incorporar otras bandas presentes en el sensor MSI al estudio, como así también la evaluación numérica de la separabilidad entre las diferentes respuestas espectrales.

Bibliografía citada

Aybar Guchea, M.; S. Ostengo; M. Espinosa; P. Medina; J. V. Dìaz; E. R. Chavanne: D. D. Costilla y M. Cuenya. 2020. Relevamiento de la distribución de variedadesde caña de azúcar en la provincia deTucumán: campaña 2019/2020 (Parte II). Reporte Agroindustrial EEAOC 201.https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=ra-201-relevamiento-de-la-distribucion-de-variedades-de-cana-de-azucar-en-la-provincia-de-tucuman-campana-2019-2020-parte-ii (consultado 27 enero 2022).

Chuvieco Salinero, E. 2002. Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio. Editorial Ariel S.A. Barcelona. España.

ESA, 2022. https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/msi-instrument (consultado 27 enero 2022)

NASA, 2014. Landsat Science. Landsat 8.http://landsat.gsfc.nasa.gov (consultado 23 junio 2014).

Prados Velasco, M. J. 1995. Teledetección y Agricultura. Editorial Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid, España.

AVANCES EN LA EDICIÓN GENÓMICA DE CAÑA DE AZÚCAR USANDO EL GEN *ALS* COMO MODELO

Sosa, M. M.[1]; Giampaoli, G.[1]; Palacio, C.[1]; Serino, G.[1] y Saavedra Pons, A. B.[1]

[1]Chacra Experimental Agrícola Santa Rosa. Camino Vecinal no. 8 km 6. Colonia Santa Rosa. Salta 4531, Argentina; gserino@chacraexperimental.org

Palabras clave: CRISPR/Cas9, acetolactato sintasa, reparación dirigida por homología, unión de extremos no homólogos.

Introducción

La caña de azúcar (*Saccharum* spp.) es un cultivo agroindustrial que contribuye con el 80% del azúcar mundial y el 40% de la producción de bioetanol (Zhang *et al*. 2018). Los cultivares modernos derivan de la hibridación entre *Saccharum officinarum* (2n = 80, x = 10) y *Saccharum spontaneum* (2n = 40–128, x = 8) (Piperidis y D'Hont 2020). Debido a la gran complejidad de su genoma, (Garsmeur *et al*. 2018; Souza *et al.* 2019; Yang *et al.* 2019; Piperidis y D'Hont 2020) el mejoramiento genético convencional es laborioso y demanda mucho tiempo, lo que pone de manifiesto la necesidad de desarrollar tecnologías que permitan superar estas limitaciones. Las nuevas herramientas biotecnológicas se presentan como alternativas promisorias para el mejoramiento del cultivo. Entre estas, la edición de genes con tecnologías que emplean nucleasas específicas (Voytas y Gao 2014; Zhang *et al.* 2018), como es el caso de las nucleasas con dedos de zinc (ZFNs), las nucleasas efectoras tipo activador de la transcripción (TALENs) y las repeticiones palindrómicas cortas agrupadas y regularmente interespaciadas-asociadas a la nucleasa Cas (sistema CRISPR-Cas). En los últimos años, el sistema CRISPR/Cas9 se ha convertido en el método más utilizado en edición genómica de plantas (Jung y Altpeter 2016; Oz *et al*. 2021). Mediante esta tecnología, la endonucleasa Cas9 es dirigida por una molécula de ARN guía (sgRNA) a una región específica del genoma donde la enzima corta las dos cadenas del ADN. Esto puede repararse mediante dos mecanismos: unión de extremos no homólogos (NHEJ) y reparación dirigida por homología (HDR). La reparación mediada por NHEJ es propensa a errores, y puede dar lugar a pequeñas deleciones o inserciones en el sitio blanco que alteran la función del gen (Voytas 2013). Por el contrario, HDR emplea un molde y da como resultado una reparación precisa (Huang y Putcha 2019).

La acetolactato sintasa (ALS), también conocida como acetohidroxiácido sintasa (AHAS), es una enzima clave que cataliza el primer paso en la biosíntesis de aminoácidos de cadena ramificada valina, leucina e isoleucina, y es el blanco de cinco clases de herbicidas: sulfonilureas, imidazolinonas, triazolopirimidinas, pirimidinil-tiobenzoatos y sulfonil-aminocarbonil-triazolinonas. Estos herbicidas son potentes inhibidores de ALS, interfiriendo así con la síntesis de los aminoácidos mencionados y ocasionando la muerte de la planta (Powles y Yu 2010). Algunas de las mutaciones específicas del gen *als* que confieren tolerancia a los herbicidas inhibidores de ALS resultan en alteraciones de los aminoácidos Ala122, Pro197, Ala205, Asp376, Trp574, Ser653 (las posiciones de los aminoácidos corresponden a la secuencia de la proteína ALS de *Arabidopsis thaliana*) (Tan *et al*., 2006).

El objetivo de este trabajo fue editar caña de azúcar mediante la tecnología CRISPR/Cas9 empleando el gen *als* como blanco para introducir la mutación W574L

(triptofano por leucina) la cual confiere tolerancia a todas las familias de herbicidas inhibidores de ALS (Tan *et al.* 2005, 2006).

Materiales y Métodos

Diseño de vectores de edición

El gen *als* de la caña de azúcar se analizó en busca de potenciales sgRNA dirigidas al codón W574 de interés utilizando el software CRISPRdirect (https://crispr.dbcls.jp/) y CRISPOR (http://crispor.tefor.net/). Seleccionamos tres sgRNA (sgRNA1, sgRNA2 y sgRNA4) por tener alta especificidad por el sitio blanco y baja actividad *off-target*. Las secuencias de las sgRNA se clonaron bajo la expresión del promotor U3 de trigo para generar los vectores de edición pEG-G1, pEG-G2 y pEG-G4. Además, estos contienen el gen *Cas9* con codones optimizados para su expresión en maíz controlado por el promotor de ubiquitina (UBI) de maíz. Basándonos en la secuencia del gen *als* de la caña de azúcar, diseñamos tres moldes de reparación de ADN simple cadena (ssDNA) de longitudes de entre 92-127 nt (M1, M2, M3) para la reparación mediada por HDR. Estos moldes incluyen cambios de nucleótidos para introducir la modificación W574L (TGG-CTC) y mutaciones silentes en los sitios PAM para evitar que Cas9 continúe actuando luego de producirse la edición. Adicionalmente, en los moldes se eliminó el sitio de restricción BtsCI para ser empleado como herramienta de diagnóstico.

Preparación del explante y condiciones de cultivo

Para el establecimiento de los explantes *in vitro*, se cosecharon cogollos de caña de azúcar de la variedad NA 05-860 y se eliminaron las hojas externas y vainas hasta obtener un segmento de aproximadamente 10 cm de largo. A continuación, el material vegetal se desinfectó con una solución de hipoclorito de sodio al 10% durante 20 minutos seguido de 3 lavados con agua desionizada estéril. Posteriormente, en condiciones de esterilidad se cortaron secciones transversales de 2 a 3 mm de espesor y se colocaron en medio de cultivo MSE3 (Murashige y Skoog 1962) que contenía 2% de sacarosa, 3 mg/L de ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D), 0,5 g/L de caseína, ajustado a pH 5,7 y solidificado con 8 g/L de agar. Los explantes se incubaron en la oscuridad a 26°C y se transfirieron a medio fresco cada 2 semanas durante 2 meses.

Bombardeo, selección y regeneración

El bombardeo se realizó con un cañón génico del tipo Particle Inflow Gun. Se utilizaron 5 combinaciones de vectores de edición con moldes de reparación, que fueron co-bombardeadas junto con un plásmido (pNPTII) que contiene el gen marcador *nptII* para la selección *in vitro*. El ADN fue precipitado sobre micropartículas de tungsteno de 0,7 µm de diámetro siguiendo el protocolo de Bower y Birch (1992) con modificaciones. Los callos transformados se seleccionaron en medio MSE3·conteniendo 45 mg/L de geneticina (MSE3-Gen45) durante 2 meses. Posteriormente se transfirieron a medio basal MSR y se incubaron en condiciones de fotoperíodo de 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad a 27 °C para promover la formación de brotes. Los plantines regenerados se establecieron en macetas en condiciones de invernadero.

Análisis por PCR

Se tomaron muestras de hojas provenientes de plantines regenerados en geneticina y de plantines control no transformados y se realizó la extracción de ADN genómico de acuerdo al protocolo descrito por Doyle y Doyle (1990)**.** Se diseñaron 2 cebadores, Oli 314F (5` GCGGCACAGTACTACACTTACA 3`) y Oli 12R (5` TTGATTGCTGCATGGACTTC 3`) para amplificar un fragmento de 404 pb del gen *als* en las siguientes condiciones: desnaturalización a 95 ºC durante 3 min, 35 ciclos a 95 ºC durante 30 s, 55ºC por 30 s, 72ºC por 30 s, y una extensión final a 72 ºC por 1 min. El producto de PCR obtenido de cada muestra analizada fue digerido con BtsCI para detectar la mutación en el sitio de reconocimiento de la enzima. La banda resistente a la digestión se purificó y secuenció para confirmar la edición del sitio de interés. La inserción de los genes *Cas9* y *nptII* se evaluó utilizando primers específicos.

Resultados

Transformación, selección y regeneración de plantas de caña de azúcar

Sobre callos embriogénicos de caña de azúcar se co-bombardearon 5 diferentes combinaciones de vectores de edición y moldes de reparación junto con el plásmido pNPTII. De un total de 185 placas bombardeadas se obtuvieron 5 líneas (Tabla 1).

Tabla 1. Resumen de líneas independientes obtenidas

Combinación de vectores	Número de eventos independientes	*Cas9* PCR	*nptII* PCR	PCR/RE
pEG_G1 + M1 + pNPTII	3	3	3	2
pEG_G1 + M2 + pNPTII	1	1	1	1
pEG_G2 + M1 + pNPTII	1	1	1	1
pEG_G2 + M2 + pNPTII	0	0	0	0
pEG_G4 + M3 + pNPTII	0	0	0	0

Evaluación molecular de líneas regeneradas

La edición del sitio blanco del gen de interés se analizó en las 5 líneas obtenidas mediante PCR/RE. Como resultado de la restricción del producto de PCR (404 pb) con BtsCI, cuatro de estas líneas mostraron una banda no digerida evidenciando una modificación en el sitio de reconocimiento de la enzima (Tabla 1). Las cinco líneas también se evaluaron por PCR para la inserción de los vectores empleados. Los genes *Cas9* y *nptII* se detectaron en todas las líneas analizadas lo que indica que tanto los vectores de edición (pEG_G1 y pEG_G2) como el plásmido pNPTII se insertaron en estas (Tabla 1).

Secuenciación

La secuenciación del fragmento de 404 pb del gen *als* resistente a la digestión por BtsCI evidenció la presencia de deleciones de 16 a 19 pb en el sitio de corte de la enzima, lo que indica la formación y actividad del complejo Cas9/sgRNA. No obstante, la mutación deseada no se detectó en ninguna línea (Figura 1).

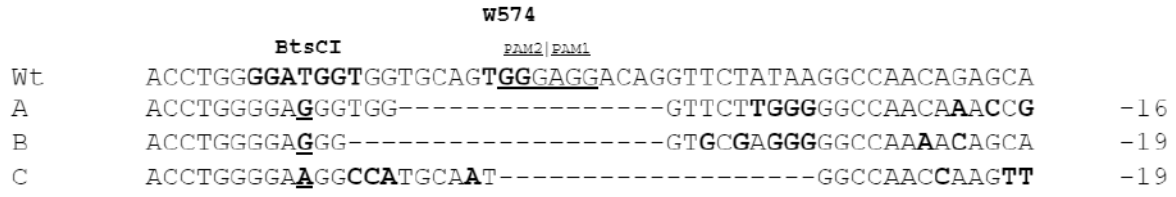


Figura 1. Secuencias de líneas editadas en la región blanco. Wt representa el gen *als* de caña de azúcar. A, B y C corresponden a secuencias de amplicones de PCR de tres líneas. Las secuencias PAM están subrayadas, mientras que la secuencia blanco W574 y el sitio de reconocimiento de BtsCI están resaltados en negrita. Las líneas discontinuas indican eliminaciones y las letras en negrita subrayadas representan sustituciones.

Discusión

La introducción de una característica deseada a través del mejoramiento tradicional en cultivos con genomas complejos como la caña de azúcar es laboriosa, llevando aproximadamente de 12 a 15 años liberar una variedad mejorada (Shanthi *et al.* 2008; Gazaffi *et al*. 2010). Las tecnologías de edición genómica tienen el potencial de superar estas limitaciones (Mohan 2016). Tal es el caso de CRISPR/Cas9, que se ha utilizado con éxito para introducir modificaciones en múltiples especies de plantas, incluyendo cultivos agronómicamente importantes como el maíz, el trigo y la soja (Svitashev *et al*. 2016; Zhang *et al*. 2016; Lu y Tian 2022). Las mutaciones mediadas por NHEJ se han reportado previamente en caña de azúcar (Jung y Altpeter 2016; Kannan *et al*. 2018; Eid *et al*. 2021), así como en otros cultivos (Yin *et al*. 2017; Huang y Puchta 2019; Mao *et al*. 2019). No obstante, solo unos pocos estudios han utilizado con éxito la reparación mediada por HDR (Oz *et al*. 2021).

Seleccionamos el gen *als* como objetivo para edición en caña de azúcar debido a que se encuentra ampliamente estudiado. Además, la tolerancia a herbicidas inhibidores de ALS se logró con éxito mediante mutaciones puntuales generadas por CRISPR/Cas9 (Svitashev *et al*. 2015; Sun *et al*. 2016; Zhang *et al.* 2019; Oz *et al*. 2021). En nuestro estudio obtuvimos cuatro líneas editadas con modificaciones en el sitio de reconocimiento de la enzima BtsCI, cercanas al sitio blanco del gen de interés. La secuenciación mostró que se produjeron deleciones de entre 16-19 pb, pero no la mutación esperada dirigida por los moldes de reparación.

La eficiencia de la reparación mediada por HDR en edición genómica depende de la cantidad, el tamaño y el tipo de molde de reparación que se utiliza (Huang y Puchta 2019). Oz *et al*. (2021) obtuvieron plantas de caña de azúcar editadas en el gen *als* mediante HDR utilizando moldes de doble cadena de DNA (dsDNA). Reportaron que, incrementando 4 veces la relación molar de los moldes de reparación con respecto a los otros componentes del sistema CRISPR/Cas9 obtuvieron una frecuencia alta de HDR. Por otro lado, Sun *et al*. (2016) lograron editar el gen *als* de arroz mediante HDR utilizando moldes de reparación dsDNA, mientras que no obtuvieron plantas editadas en el sitio de interés con moldes ssDNA.

Conclusiones

En este trabajo conseguimos editar el gen *als* de caña de azúcar mediante reparación por NHEJ, obteniendo una deleción de bases en el sitio blanco del gen de interés. Aún no logramos introducir la mutación deseada, indicando que se requiere de

ajustes en el tipo de molde de reparación utilizado y la estequiometria de los componentes del sistema CRISPR/Cas9.

Bibliografía

Bower, R.; Birch, R.G. 1992. Transgenic sugarcane plants via microprojectile bombardment. Plant J. 2: 409-416

Doyle, J.J.; Doyle, J.L. 1990. Isolation of plant DNA from fresh tissue. Focus 12: 13-15.

Eid A.; Mohan C.; Sanchez S.; Wang D.; Altpeter F. 2021. Multiallelic, targeted mutagenesis of magnesium chelatase with CRISPR/Cas9 provides a rapidly scorable phenotype in highly polyploid sugarcane. Front. Genome Ed. 3: 10.

Garsmeur, O.; Droc, G.; Antonise, R.; Grimwood, J.; Potier, B.; Aitken, K;... ; D'hont, A. 2018. A mosaic monoploid reference sequence for the highly complex genome of sugarcane. Nat Commun 9, 2638.

Gazaffi, R.; Oliveira, K.M.; Souza, A.P.; Garcia, A.A.F. 2010. The importance of the germplasm in developing agro-energetic profile sugarcane cultivars. Sugarcane Bioethanol: R&D for Productivity and Sustainability 333-343.

Huang, TK.; Puchta, H. 2019. CRISPR/Cas-mediated gene targeting in plants: finally a turn for the better for homologous recombination. Plant Cell Rep. 38: 443-453.

Jung, J.H.; Altpeter, F. 2016. TALEN mediated targeted mutagenesis of the caffeic acid O-methyltransferase in highly polyploid sugarcane improves cell wall composition for production of bioethanol. Plant Mol. Biol. 92: 131–142.

Kannan, B.; Jung, J.H.; Moxley, G.W.; Lee, S.M.; Altpeter, F. 2018. TALEN-mediated targeted mutagenesis of more than 100 COMT copies/alleles in highly polyploid sugarcane improves saccharification efficiency without compromising biomass yield. Plant Biotechnol. J. 16: 856-866.

Lu, Q.S.M; Tian, L. 2022. An efficient and specific CRISPR-Cas9 genome editing system targeting soybean phytoene desaturase genes. BMC Biotechnol. 22: 1-16.

Mao, Y.; Botella, J.R.; Liu, Y.; Zhu, J.K. 2019. Gene editing in plants: progress and challenges. Natl. Sci. Rev. 6: 421-437.

Mohan, C. 2016. Genome editing in sugarcane: challenges ahead. Front. Plant Sci. 7: 1542.

Murashige, T.; Skoog, F. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. Physiol. Plant. 15: 473-497.

Oz, M.T.; Altpeter, A.; Karan, R.; Merotto, A.; Altpeter, F. 2021. CRISPR/Cas9-mediated multi-allelic gene targeting in sugarcane confers herbicide tolerance. Front. Genome Ed. 15.

Piperidis, N.; D'Hont, A. 2020. Sugarcane genome architecture decrypted with chromosome-specific oligo probes. Plant J. 103: 2039-2051.

Powles, S.B.; Yu, Q. 2010. Evolution in action: plants resistant to herbicides. Annu. Rev. Plant Biol. 61: 317-347.

Shanthi R.M.; Bhagyalakshmi K.V.; Hemaprabha G.; Alarmelu S.; Nagarajan R. 2008. Relative performance of the sugarcane families in early selection stages. Sugar Tech 10: 114-118.

Souza, G.M.; Van, Sluys M.A.; Lembke, C.G.; Lee, H.; Margarido, G.R.A.; Hotta, C.T.; ... ; Heckerman, D. 2019. Assembly of the 373k gene space of the polyploid sugarcane genome reveals reservoirs of functional diversity in the world's leading biomass crop. GigaScience, 8(12), giz129.

Sun, Y.; Zhang, X.; Wu, C.; He, Y.; Ma, Y.; Hou, H.; ... ; Xia, L. 2016. Engineering herbicide-resistant rice plants through CRISPR/Cas9-mediated homologous recombination of acetolactate synthase. Mol Plant, 9(4), 628-631..

Svitashev, S.; Schwartz, C.; Lenderts, B.; Young, J.K.; Cigan, A.M. 2016. Genome editing in maize directed by CRISPR–Cas9 ribonucleoprotein complexes. Nat. Commun. 7: 1-7.

Svitashev, S.; Young, J.K.; Schwartz, C.; Gao, H.; Falco, S.C.; Cigan, A.M. 2015. Targeted mutagenesis, precise gene editing, and site-specific gene insertion in maize using Cas9 and guide RNA. Plant Physiol. 169: 931-945.

Tan, S.; Evans, R.R.; Dahmer, M.L.; Sing, B.K.; Shaner, D.L. 2005. Imidazolinone-tolerant crops: history, current status and future. Pest Manag. Sci. 61: 246-257.

Tan, S.; Evans, R.; Singh, B. 2006. Herbicidal inhibitors of amino acid biosynthesis and herbicide-tolerant crops. Amino Acids 30: 195-204.

Voytas, D.F. 2013. Plant genome engineering with sequence-specific nucleases. Annu. Rev. Plant Biol. 64: 327-350.

Voytas, D.F.; Gao, C. 2014. Precision genome engineering and agriculture: opportunities and regulatory challenges. PLoS Biol. 12: e1001877.

Yang, X.; Song, J.; Todd, J.; Peng, Z.; Paudel, D.; Luo, Z.; ... ; Wang, J. 2019. Target enrichment sequencing of 307 germplasm accessions identified ancestry of ancient and modern hybrids and signatures of adaptation and selection in sugarcane (*Saccharum* spp.), a 'sweet 'crop with 'bitter' genomes. Plant Biotechnol. J., 17(2), 488-498.

Yin, K.; Gao, C.; Qiu, J.L. 2017. Progress and prospects in plant genome editing. Nat. Plants 3: 1-6.

Zhang, J.; Zhang, X.; Tang, H.; Zhang, Q.; Hua, X.; Ma, X.; ... ; Ming, R. 2018. Allele-defined genome of the autopolyploid sugarcane Saccharum spontaneum L. Nat. genet. 50(11), 1565-1573.

Zhang, R.; Liu, J.; Chai, Z.; Chen, S.; Bai, Y.; Zong, Y.; ... ; Gao, C. 2019. Generation of herbicide tolerance traits and a new selectable marker in wheat using base editing. Nat. plants, 5(5), 480-485.

Zhang, Y.; Liang, Z.; Zong, Y.; Wang, Y.; Liu, J.; Chen, K.; ... ; Gao, C. 2016. Efficient and transgene-free genome editing in wheat through transient expression of CRISPR/Cas9 DNA or RNA. Nat. Commun., 7(1), 1-8.

INDICADORES DE ESTABILIDAD, MADUREZ Y CALIDAD AGRÍCOLA DE UN COMPOST SUCROALCOHOLERO

Sotomayor*, C.; Esquivel, C.**; Quaia, E.*; Ruiz, M.*; Rojas Quinteros, H.*; Machado, D.; Navarro Di Marco, J.* csotomayor@eeaoc.org.ar

* Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, Las Talitas, Tucumán, Argentina **CIT Santa Cruz CONICET - Universidad de la Patagonia Austral

Palabras clave: compostaje, cachaza, cenizas, vinaza

INTRODUCCIÓN

Uno de los temas que marca a la agroindustria sucroalcoholera es el aprovechamiento y manejo eficiente de sus residuos: cenizas, cachaza y vinaza. Estos materiales poseen un elevado potencial como fuentes de energía y/o nutrientes para los cultivos, ya que aportan cantidades significativas de materia orgánica, nitrógeno, potasio y fósforo al sistema productivo. Una práctica de manejo sustentable de los mismos debería satisfacer tanto los requerimientos del cultivo como los de la industria y el medio ambiente. La elaboración de compost se considera una excelente alternativa ya que mediante un proceso biológico y controlado es posible obtener un producto estable y de alto valor comercial y nutricional.

Actualmente existe confusión respecto del uso de términos como compostaje, compost, estabilidad, madurez y calidad. Compostaje es el proceso de descomposición biológica y aerobia de la materia orgánica en condiciones controladas de temperatura, humedad y aireación, seguida por una estabilización y maduración del producto final -compost– (Iglesias Jiménez, 2014). Se debe diferenciar entre el compostaje, proceso controlado, de aquellos procesos naturales “no controlados” que suelen desembocar en anaerobiosis y que no llegan a cumplir con las fases correspondientes.

De acuerdo con Iannotti *et al.* (1993), la estabilidad se refiere al grado de descomposición de la materia orgánica que puede expresarse como una función de la actividad microbiológica. Define también el grado de madurez como un sinónimo de la ausencia de fitotoxicidad en el producto final, asociada la misma a compuestos como amonio (NH_4), ácidos orgánicos, y concentración de metales pesados y de sales solubles. La calidad del producto se define una vez cumplimentados los requisitos de estabilidad y madurez, según García Céspedes *et al*. (2014), dentro de los niveles de calidad deben o pueden establecerse distintas exigencias según el mercado al que vaya destinado; pero siempre habrá unos mínimos a cumplir.

Es importante saber identificar y seleccionar aquellos indicadores que sean representativos, y fáciles de medir e interpretar. Los de estabilidad incluyen, el cambio de color, cambios en el olor, descenso de la temperatura, la producción de dióxido de carbono (CO_2), biomasa microbiana, entre otros. Los de madurez incluyen estudios de fitotoxicidad directos (índice de germinación) e indirectos (concentración de sales) (Torti *et al.,* 2019).

Así mismo es necesario el control del proceso bajo el seguimiento y análisis de variables:

Temperatura: parámetro que mejor indica la evolución del proceso. Cada grupo de microorganismos que interviene tiene su rango óptimo para actuar, 15º-40°C los mesófilos y 40º-70 ºC los termófilos, Bueno Marquez *et al.* (2008). Archer *et al*. (2009) consideran que el compostaje se completó cuando las temperaturas han descendido y permanecen así incluso cuando el compost se airea y se mantiene en condiciones óptimas de humedad.

Humedad y aireación: Bueno Marquez *et al.* (2008) y Gordillo y Chavez (2010) concuerdan en que la presencia de agua es imprescindible para el desarrollo de los microorganismos. Para la

(FAO, 2013) el rango óptimo es 45%–60%. Por debajo del 45% disminuye la actividad microbiana. Por arriba del 60% el agua saturará los poros e interferirá en la oxigenación del material. El contenido de humedad disminuye a lo largo del periodo de compostaje. El rango ideal para un compost maduro es 30%–40 %, FAO (2013). Es necesario asegurar la presencia de oxígeno, ya que los microorganismos que en él intervienen son aerobios (Gordillo y Chavez, 2010).

pH: tiene influencia directa debido a su acción sobre la dinámica de los procesos microbianos (Bueno Marquez *et al.,* 2008). La mayor actividad bacteriana se produce a pH 6,0-7,5, mientras que la mayor actividad fúngica ocurre a pH 5,5-8,0. Al final del proceso suele estabilizarse entre 7,5 y 8,0, independientemente del pH inicial (USDA, 2000).

Relación C/N: para Labrador (2001) es un indicador de la velocidad del proceso. Archer *et al.* (2009) afirman que una relación inicial de 30/1 es ideal. Si es menor a 20/1, se evidencia un exceso de nitrógeno que puede ser expulsado como gas amoníaco, produciéndose pérdidas del mismo. Si la relación es mayor a 40/1, el carbono se convierte en limitante y la tasa de compostaje disminuirá. Esta disminuye a lo largo del periodo, siendo para la FAO (2003), una relación ideal para un compost maduro es 10:1–15:1.

Conductividad eléctrica: determinada por la naturaleza y composición del sustrato empleado, (Sánchez-Monedero *et al.,* 2001). Tiende a aumentar durante el proceso y luego desciende, producto de la lixiviación provocada por una humectación excesiva de la misma.

Desde la EEAOC se llevó adelante una experiencia cuyos objetivos fueron: demostrar la factibilidad de llevar adelante el proceso de compostaje como una alternativa de manejo sustentable de los residuos sucroalcoholeros, analizar la evolución de los parámetros que dominan las etapas del proceso, analizar y definir los indicadores de estabilidad, madurez y calidad agrícola del compost.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó con una mezcla compuesta por un 70% de cachaza y 30% de ceniza en la pila testigo T. A su vez se incorporó vinaza concentrada a razón de 20 kg/t de cachaza en la pila denominada V20. Todos los componentes fueron integrados al inicio del proceso. La humedad se mantuvo entre un 50%-60% sin que se viera afectado el mismo. Cada tratamiento se replicó tres veces. Se realizó el control y seguimiento de las variables que afectan el proceso y las referidas a la composición de los sustratos empleados: materia orgánica total (MOT), carbono orgánico total (COT), nitrógeno total (NT), fósforo total (PT), relación C/N y conductividad eléctrica (CE). Se evaluaron los parámetros seleccionados para ser empleados como indicadores de estabilidad: color, olor, temperatura, pH, C/N; y de madurez: C/N y concentración de sales solubles. Se definió la calidad agrícola del compost teniendo en cuenta pH, CE, MOT, CO, NT, PT, PT, en el caso de la pila V20, y la relación C/N.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados del análisis de las muestras de cachaza, cenizas y vinaza empleadas en la mezcla pueden observarse en la Tabla Nº1.

Tabla 1. Caracterización inicial de cada componente de la mezcla.

	pH	**CE (dS/m)**	**MOT (%)**	**CO (%)**	**NT(%)**	**PT (%)**	**KT (%)**	**C/N**	**Humedad (%)**
Cachaza	6,9	1,7	60,5	35,1	1,5	1,2	0,4	23,4	59,7
Cenizas	8,9	5,3	14	7,8	…	0,2	0,3	…	25,5
Vinaza	5,1	46,7	80,4	46,7	1,7		3,3	27,8	*Concentración 28ºBx*

Temperatura: el proceso inició con una temperatura promedio de 65ºC para T y 60ºC V20, debido probablemente a que los componentes de la mezcla emergen de la industria con temperaturas superiores a 50ºC. Así también su aumento pudo deberse a que al contener la mezcla restos de sacarosa fácilmente asequible para la actividad microbiana, sea esta la que lo genere (Bohorquez Marquez *et al*., 2014). Hacia el final del compostaje disminuyó alcanzando en promedio 27ºC T y 29,6ºC V20, lo cual indica, según Archer *et al.* (2009), que el proceso se completó (Figura 1).

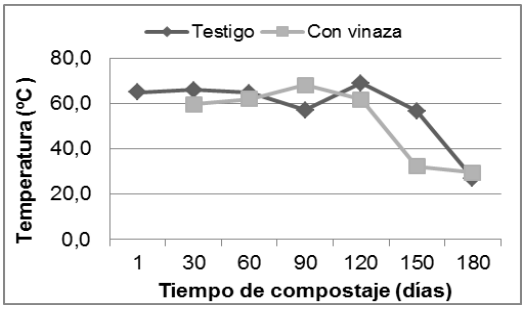


Figura 1**.** Evolución de la temperatura durante el proceso de compostaje.

Humedad: se mantuvo desde el inicio dentro del rango indicado para un óptimo avance del proceso, 45%–60%. Las pilas T y V20 iniciaron con el 58% y 55%, y finalizaron con un promedio del 35,4% y 40%, respectivamente, siendo los recomendados por la FAO (2013) (Figura 2).

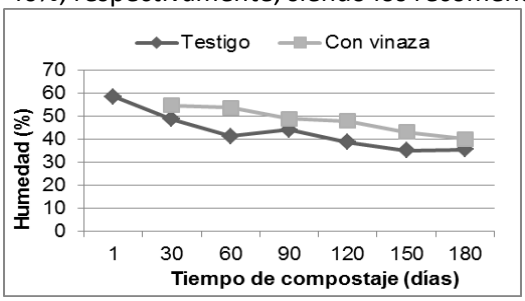


Figura 2. Evolución de la humedad durante el proceso de compostaje.

pH: manifestó variaciones marcadas en los valores, iniciándose con valores desde muy fuertemente ácidos, alcanzando luego el rango de la alcalinidad hasta llegar finalmente a valores cercanos a la neutralidad como lo indican la FAO (2013) y Bueno Marquez *et al*., (2008) (Figura 3). El comportamiento del pH en ambos tratamientos fue similar.

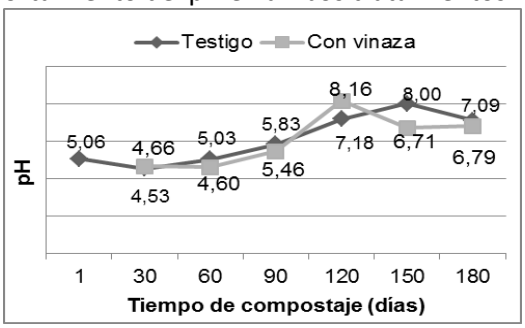


Figura 3. Evolución del pH durante el proceso de compostaje.

Materia orgánica total: durante el proceso se redujo, siendo esto el normal avance del proceso de mineralización y coincidiendo con lo que señalan Bueno Marquez (2008) y la FAO (2013).

Así quedó demostrado en ambos tratamientos, donde la reducción fue de un 70% a un 25% en T y de un 55% a un 32% en V20 (Figura 4).

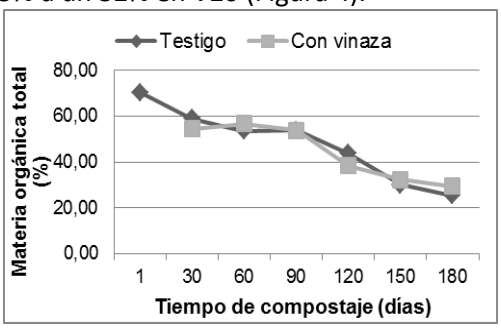


Figura 4. Evolución de la materia orgánica total durante el proceso de compostaje.

Relación C/N: a lo largo del proceso, como consecuencia de la degradación de la materia orgánica se redujo el CO e incrementó la concentración de N en ambos tratamientos. La mezcla inició con una relación C/N cercana a 25 y finalizó con una cercana a 10 en ambas formulaciones (Figura 5), siendo la recomendada por la FAO (2013), como ideal para un compost maduro.

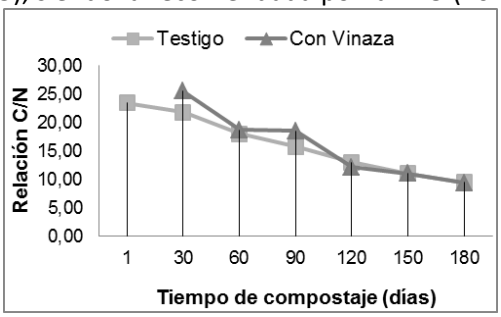


Figura 5. Evolución de la relación C/N durante el proceso de compostaje

Conductividad eléctrica: se observa una marcada reducción de la salinidad, alcanzando valores de 2,43 dS/m y 3,72 dS/m para T y V20 respectivamente, valor por debajo del límite de restricción de empleo establecido por SENASA, Resolución-264- 2011 (4 dS/m), y que en el caso de V20 no se vio afectada por la cantidad de vinaza incorporada en la mezcla (Figura 6).

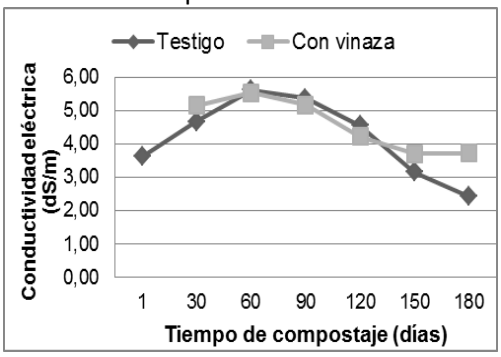


Figura 6. Evolución de la conductividad eléctrica durante el proceso de compostaje

Estabilidad, madurez y calidad del producto final

En T y V20 los indicadores de estabilidad, olor y color demostraron marcados cambios, el olor pasó de desagradable a olor a tierra húmeda y fresca y el color viró hacia una gama más oscura.

También el descenso a temperatura ambiente marcó el cese de la actividad microbiana. El pH neutro indicó que el producto se estabilizó, coincidiendo con lo establecido por la FAO (2013) y la normativa nacional (2019). La salinidad, indicador de madurez seleccionado, alcanzó valores, en ambos tratamientos, que no llegaron a ser críticos para el empleo del producto en el suelo (4 dS/m), según SENASA (2011). La relación C/N fue empleada tanto como parámetro de seguimiento, así como indicador de estabilidad, madurez y calidad agrícola. Los valores iniciales y su comportamiento a lo largo del proceso permitieron marcar el rumbo del mismo, encontrándose dentro del rango óptimo permitido por la FAO. La calidad obtenida se observa en la Tabla 3.

Tabla 3. Caracterización química del compost obtenido

	pH	CE (dS/m)	MOT (%)	CO (%)	NT(%)	PT (%)	KT (%)	C/N	Humedad (%)
Cachaza	6,9	1,7	60,5	35,1	1,5	1,2	0,4	23,4	59,7
Cenizas	8,9	5,3	14	7,8	…	0,2	0,3	…	25,5
Vinaza	5,1	46,7	80,4	46,7	1,7		3,3	27,8	*Concentración 28ºBx*

CONCLUSIONES

En este trabajo ha quedado plasmado que a partir de la mezcla de 70% de cachaza y 30% de cenizas, con o sin vinaza, el proceso de compostaje se completó. Esto se confirma a partir del seguimiento de los parámetros evaluados y por los indicadores de estabilidad, madurez y calidad seleccionados. El compost obtenido, se considera un material estable, maduro y con una calidad agrícola que lo habilita como apto para ser empleado como abono o enmienda orgánica, que cumple con los parámetros establecidos por la FAO y la normativa argentina.

El compostaje es una buena práctica de manejo integrado de los residuos sucroalcoholeros, reduciendo con esta alternativa el impacto ambiental que se produciría si cada uno de estos fuera empleado por separado.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Archer, C. H.; G. K. Evanylo and J. W. Pease. 2009. On – Farm Composting: A Guide to Principles, Planning and Operations [En línea] Disponible en: http://hdl.handle.net/10919/48077

Bohórquez, A., Puentes, Y. J., and Menjivar, J. C. 2014. Quality evaluation of compost produced from agro-industrial byproducts of sugar cane. Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 15(1): 73-81.

Bueno Márquez, P.; M. J. Díaz Blanco y F. Cabrera Capitán. 2008. Factores que afectan al proceso de Compostaje. En: El proceso de Compostaje, pp. 93–109. [En línea] Disponible en http://hdl.handle.net/10261/20837

García Cespedes, D. I.; L. A. Lima Cazorla; L. Ruiz Gutiérrez y P. A. Calderón Peñalver. 2014. Métodos y parámetros para determinar la madurez en el compost a nivel de fincas. Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente 14 (26). ISS- 1683-8904.

Gordillo, F. y E. Chávez. 2010. Evaluación comparativa de la calidad del compost producido a partir de diferentes combinaciones de desechos agroindustriales azucareros. [En línea] Disponible en: http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/31487/D-65999.pdf?isAllowed=y&sequence=-1.

Iannotti, D. A.; B. L. T. Pang; D. L. Toth; H. M. Keener Elwell and H.A.J. Hoitink. 1993. A Quantitative Respirometric Method for Monitoring Compost Stability. Compost Science & Utilization 1 (3): 52 – 65.

Iglesias Jimenez, E. 2014. Métodos y parámetros para evaluar la madurez del compost. En Aspectos físicos – químicos, bioquímicos y microbiológicos del proceso de compostaje. Evaluación de la calidad. Material de estudio del Master universitario en gestión, tratamiento y valorización de residuos orgánicos. Universidad de Salamanca. [En línea] Disponible en: https://digital.csic.es/bitstream/10261/92881/1/3%202%20Unidad%20tematica%204.pdf.

Labrador, J. 2001. La materia orgánica en los sistemas agrícolas. Manejo y utilización. En hojas divulgadoras Nº3/93 del Ministerio de agricultura, pesca y alimentación de Madrid. ISBN: 84-341- 0801-1. [En línea] Disponible en: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_03.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2013. Parámetros de control durante el compostaje. En: Pilar Román, María M. Martinez y Alberto Pantoja (autores). Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina, pp. 25-31

Resolución-264-2011-SENASA - Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. [En línea] Disponible en: http://www.senasa.gob.ar/

Sánchez Monedero, M. A., Roig, A., Paredes, C., andBernal, M. P. 2001. Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. Bioresource technology 78(3): 301-308.

Torti, M. J.; M. Butti y V. Fain Binda. 2019. Evolución de los indicadores de madurez y estabilidad biológica en compost de residuos de incubación. Revista de Tecnología Agropuecuaria – RTA 10 (39): 73-75.

https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-1-2019-318692. [En Línea 17/02/2022].

EVALUACIÓN DE FUNGICIDAS *IN VITRO* PARA EL CONTROL DEL CARBÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Velasco Bulacio, O.A.; Bertani, R.P.; Chaves, S. y González, V.

Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). Av. William Cross 3150, C.P. T4101XAC, Las Talitas, Tucumán, R. Argentina. E-mail: rpbertani@eeaoc.org.ar

Palabras Clave: *Sporisorium scitamineum*, manejo de la enfermedad, germinación de esporas.

Introducción

El carbón de la caña de azúcar, cuyo agente causal es *Sporisorium scitamineum*, es una enfermedad sistémica ampliamente distribuida a nivel mundial. Puede producir pérdidas de rendimiento cuando se emplean variedades susceptibles. En Louisiana, EE.UU., se reportaron pérdidas de 0,6% a 0,7% por cada 1% de incremento de plantas enfermas (Hoy *et al*., 1986). Por su parte, en Australia se estimaron pérdidas de más del 62% en variedades susceptibles (Magarey *et al*., 2010).

Además de los daños directos en la producción, también provoca restricción del uso o eliminación de variedades susceptibles altamente productivas y de un gran número de clones sobresalientes de los programas de mejoramiento genético debido a la susceptibilidad a la enfermedad (Casagrande, 1998).

En Tucumán, la principal área cañera de la Argentina, hubo una epifitia de carbón en la década de 1940 que causó pérdidas severas y afectó a la principal variedad cultivada en esa época, que era POJ 36. Si bien el carbón de la caña de azúcar no se manifiesta en todas las campañas; debido a las condiciones ambientales presentes durante la primavera de 2020 (condiciones de sequía y altas temperaturas), se observaron numerosos lotes afectados por la enfermedad (Gutiérrez *et al.*, 2021). La variedad LCP 85-384, catalogada como resistente al carbón (Cuenya *et al*., 2009), mostró susceptibilidad en la mayoría de las zonas evaluadas, alcanzando 42,7% de incidencia puntual máxima en un lote de La Cruz, departamento Burruyacú durante la campaña 2020/2021 (Bertani *et al.*, 2021).

Una de las estrategias para el control del carbón de la caña de azúcar es el empleo de variedades resistentes; de manera complementaria se utilizan los tratamientos de hidrotermoterapia y la aplicación de fungicidas en la caña semilla y la eliminación manual de las cepas infectadas (del inglés “rouging”) (Wada *et al.*, 1999).

Entre los productos químicos que mostraron eficacia de control de esta enfermedad, se encuentran los triazoles, como el triadimefon y el propiconazol (Bailey, 1983; Comstock *et al.*, 2000). Por otro lado, Bhuiyan *et al*. (2012) mostraron la efectividad de los triazoles propiconazol, triadimefon y ciproconazol y de la estrobirulina azoxystrobina en tratamientos por inmersión. A su vez, también se comprobó el efecto del flutriafol para el control del carbón tanto en baños de inmersión, como en mezclas con fertilizantes y asperjado de la caña semilla en el momento de la plantación (Bhuiyan *et al*., 2015). Además, algunos ensayos realizados *in vitro* para evaluar el efecto de fungicidas en la inhibición de la germinación de esporas de *S. scitamineum*, mostraron la eficacia de azoxystrobina, quintozene y el cloruro de didecil-dimetil amonio (Bhuiyan *et al*., 2012).

En la Argentina son pocos los fungicidas registrados para el cultivo de la caña de azúcar. Hasta el momento, no se han realizado ensayos a nivel local para ver el efecto de los fungicidas en el control del carbón en las variedades comerciales de caña de azúcar en Tucumán. A fin de proporcionar información que pueda ser utilizada posteriormente en ensayos *in vivo,* en este trabajo se propone evaluar el efecto *in vitro* de diversos productos químicos, disponibles en el mercado local, en la inhibición de la germinación de esporas de *S. scitamineum*.

Materiales y métodos

Evaluación de la acción inhibitoria de productos fungicidas frente a *Sporisorium scitamineum*

Para determinar la eficacia de los fungicidas sobre la inhibición de la germinación de las esporas de carbón, se evaluaron cuatro principios activos, azoxistrobina, propiconazol, cloruro de didecil-dimetil-amonio y pyraclostrobin + metil tiofanato.

El ensayo se realizó bajo condiciones *in vitro* en el laboratorio de la Sección Fitopatología de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). Se utilizaron esporas de *S. scitamineum* colectadas de látigos de carbón recolectados en octubre-diciembre del 2020, de lotes comerciales de caña de azúcar de Tucumán, con alta incidencia de la enfermedad. Se evaluó la acción inhibitoria de productos fungicidas en dosis de 0 ppm hasta 1.000 ppm.

Para cada tratamiento se utilizaron tres placas de Petri de 90 mm de diámetro con 20 ml de medio agar agua al 1,5% (AA). Los medios fueron adicionados con azoxistrobina, propiconazol, cloruro de didecil-metil-amonio y pyraclostrobin + metil tiofanato, hasta alcanzar la concentración deseada. Una vez solidificado los medios, se agregaron 200 µl de una suspensión de esporas de carbón (1,5 x 10^7 esporas/ml) y se esparció con espátula de Drigalsky. Se usó como control una placa con el patógeno sin el agregado de fungicida al medio de cultivo. Las placas se incubaron en oscuridad a 29ºC-31°C durante 24 h.

Pasado el tiempo de incubación, se determinó el porcentaje de inhibición de la germinación de esporas; para ello se realizó el conteo de 100 esporas por tratamiento y por repetición utilizando un microscopio óptico 40X. Se realizaron dos lecturas por cada repetición. Se consideró como germinada cuando la espora produjo un tubo germinativo por lo menos la mitad de tamaño de su diámetro.

A partir de las lecturas obtenidas en el microscopio se determinó el porcentaje de inhibición de germinación con la expresión:

Inhibición de germinación (%)= [(A-B)/A] x 100,

A: n° de esporas germinadas en el tratamiento control, B: n° de esporas germinadas en el tratamiento con fungicida.

Los valores del % de inhibición fueron promediados entre las dos lecturas de cada repetición y, posteriormente, entre las tres repeticiones de cada tratamiento.

Evaluación de la concentración efectiva 50 (CE50) de los fungicidas

Se realizó el procesamiento de los datos obtenidos mediante el método Probit (Bliss, 1934), para determinar la sensibilidad *in vitro* de *S. scitamineum* a los diferentes fungicidas. Esto permitió ajustar ecuaciones de regresión lineal con los logaritmos de las concentraciones de fungicidas y los valores de Probit. Se calcularon los valores de la pendiente y CE_{50} (concentración efectiva 50) para cada gráfico. La CE_{50} es la dosis requerida para causar la inhibición de la germinación de esporas de *S. scitamineum* en un 50% en comparación con el tratamiento control.

Resultados

Con los datos obtenidos del porcentaje de inhibición de la germinación de esporas, extrapolando en una tabla Probit, y con el logaritmo de la concentración de los fungicidas empleados, se obtuvieron gráficas de regresión lineal. A partir de esto se determinaron las ecuaciones de regresión lineal para cada principio activo (Tabla 1), la cual permitió calcular la CE_{50} de cada fungicida (Tabla 1).

Tabla 1. Ecuaciones de regresión lineal y concentración efectiva 50 (CE_{50}) obtenidas para fungicidas evaluados *in vitro* para el control de *Sporisorium scitamineum*.

Principios activos*	Ecuación de regresión	R^2	CE50 (ppm)
Pyraclostrobin + metil tiofanato	y = 4,755x + 8,282	0,94	0,20
Azoxistrobina	y = 2,962x + 7,508	0,85	0,14
Propiconazol	y = 8,545x - 18,68	0,97	590,49
Cloruro de didecil-metil-amonio	y = 13,98x + 3,554	0,99	1,27

*Pyraclostrobin + metil tiofanato (Acronis 50 + 450 SC); Azoxistrobina (Amistar 250 SC); Propiconazol (Melanite 250 EC); Cloruro de didecil-metil-amonio (Sportak 120 CS)

Según la respuesta de la germinación de esporas a los principios activos, estos se pueden clasificar como se muestra en la Tabla 2. Los fungicidas con valores de CE_{50} menores a 1 ppm se consideran de alta fungitoxicidad, aquellos con valores entre 1 y 50, moderadamente fungitóxicos y los que presenten valores mayores a 50 ppm, sin fungitoxicidad (Edgington *et al.*, 1971).

Tabla 2. Fungitoxicidad de los distintos principios activos para el control de *in vitro* de *Sporisorium scitamineum*.

Principio activo	Fungitoxicidad
Pyraclostrobin + metil tiofanato	Alta
Azoxistrobina	Alta
Propiconazol	No fungitóxico
Cloruro de didecil-metil-amonio	Moderada

Conclusiones

Estos resultados ponen de manifiesto que tanto la mezcla pyraclostrobin + metil tiofanato como la azoxistrobina son principios activos que controlaron de manera efectiva la germinación de *S. scitamineum*, presentando una alta fungitoxicidad frente al patógeno. Estos principios activos podrían ser potenciales fungicidas para el control del carbón de la caña de azúcar en campo, al momento de la plantación.

Citas bibliográficas

Bailey R. 1983. The effect of soil and seedcane applications of triadimefon on the incidence of sugarcane smut (*Ustilago scitaminea*). Proceeding of South African Sugar Technologists' Association, 99–104.

Bertani R. P.; Funes C.; Joya C. M.; Gutiérrez H.; Chaves S.; Lobo J. A.; Velasco O. A.; Monachesi M. A.; González V. 2021. Estado sanitario del cultivo de la caña de azúcar en Tucumán durante la campaña 2020/2021. Reporte Agroindustrial, 230.

Bhuiyan S. A.; Croft B. J. and Tucker G. R. 2015. New method of controlling sugarcane smut using flutriafol fungicide. Plant Disease, 99:1367-1373.

Bhuiyan S. A.; Croft B. J.; James R. S. and Cox M. C. 2012. Laboratory and field evaluation of fungicides for the management of sugarcane smut caused by *Sporisorium scitamineum* in seedcane. Australas. Plant Pathology, 41, 591–599.

Bliss C. I. 1934. The Method of Probits. Science 79 (2037): 38-39. doi:10.1126/science.79.2037.38.

Casagrande M. V. 1998. Avaliacão da incidencia da doença e estimativa de danos ocasionados pelo carvão (*Ustilago scitaminea* Sydow) em variedades de cana-de-açucar. 86p. Disertación (Maestrado en fitopatología) – Escuela superior de agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Comstock J. C.; Croft B. J. and Saumtally A. S. 2000. A guide to sugarcane diseases. CIRAD, Montpellier.

Cuenya M. I.; Chavanne E. R.; Ahmed M. A.; et al. 2009. Capítulo 3: Variedades para el área cañera de Tucumán. En Manual del cañero Romero E. R.; Digonzelli P. A.; Scandaliaris J. (eds.), Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, Las Talitas, Tucumán, Argentina, pp. 35-48.

Edgington L. V.; Khew K. L.; Barrow G. L. 1971. Fungitoxic spectrum of benzimidazole compounds. Phytopathology, 61: 42-44.

Gutiérrez H.; Funes C.; Bertani R. P.; Chaves S.; Joya C. M.; Lobo J. A.; Monachesi M. A.; González V.; Cuenya, M. I. 2021. Prospección del carbón en las principales áreas cañeras de Tucumán durante el 2020. Reporte Agroindustrial, 206.

Hoy J. W.; Hollier C. A.; Fontenot D. B. and Grelen L. B. 1986. Incidence of sugarcane smut in at ground level, topped above the last Louisiana and its effect on yield. Plant Disease, 70:59–60.

Magarey R. C.; Bull J. I.; Sheahan T. and Denney D. 2010. Yield losses caused by sugarcane smut in several crops in Queensland. Proceeding of Australasian Society of Sugarcane Technology, 32:347–354.

Wada A. C.; Mian M. A. W.; Anaso A. B.; Busari L. D. and Kwon-Ndung E. H. 1999. Control of sugarcane smut (*Ustilago scitaminea* syd) disease in Nigeria and suggestions for an integrated pest management approach. Sugar Tech, 1: 48–53.

EVALUACIÓN DE TÉCNICAS DE INOCULACIÓN DE CARBÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Velasco Bulacio, O.A.; Bertani, R.P.; Funes, C.; Gonzalez, V.

Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). Av. William Cross 3150, C.P. T4101XAC, Las Talitas, Tucumán, R. Argentina. E-mail: rpbertani@eeaoc.org.ar

Palabras Clave: *Sporisorium scitamineum*, método de inoculación, condiciones controladas

Introducción

Entre las patologías causadas por hongos que afectan al cultivo de la caña de azúcar se encuentra el carbón, cuyo agente etiológico es *Sporisorium scitamineum*.

S. scitamineum interfiere con el metabolismo de la caña de azúcar, modificando la arquitectura de la planta, lo que resulta en el desarrollo final de una estructura en forma de látigo en el ápice del tallo, que contiene una mezcla de tejidos vegetales y micelio fúngico. Otros síntomas del carbón pueden ser evidentes incluso antes de la aparición del látigo característico, tal como el excesivo macollaje, con tallos más delgados y hojas pequeñas y estrechas.

Si bien las condiciones óptimas para la germinación de las esporas de carbón son temperaturas de 31°C y humedad relativa (HR) mayor al 80% (Bhuiyan *et al*., 2015), el desarrollo posterior del látigo se ve favorecido por condiciones ambientales cálidas (25°C a 30°C) y HR entre 50% y 60% (Mansoor *et al.*, 2016). El proceso de infección se inicia cuando las esporas entran en contacto con las yemas de estacas de caña plantadas o yemas de cañas en pie, luego germinan y su micelio penetra el tejido meristemático (Bebee, 1988; Bertani *et al.*, 2021).

El método más efectivo y sustentable para el manejo preventivo y control del carbón es el uso variedades resistentes (Teixeira-Silva *et al.*, 2020). La forma más frecuente de evaluar la reacción al carbón es mediante la infección natural. Si bien la misma resulta muy útil, a veces presenta desventajas, entre las que se pueden mencionar condiciones ambientales poco favorables para el desarrollo de la enfermedad y la baja cantidad de inóculo suficiente para asegurar las infecciones. Para sortear alguno de estos inconvenientes, en algunos casos se exponen los clones a elevadas concentraciones del patógeno y posteriormente se realizan las evaluaciones en campo (Bueno, 2010).

En los años en donde las condiciones ambientales no son favorables para el desarrollo del patógeno, resulta de utilidad contar con una metodología para reproducir la enfermedad bajo condiciones controladas. Las técnicas de inoculación varían de acuerdo al objetivo de estudio; las más utilizadas en programas de mejoramiento son las aspersiones de esporas sobre las estacas de caña semilla (Copersucar, 1995), la inmersión de estas estacas en una suspensión de esporas (Whiteneaad, 1967), la inyección de una suspensión de esporas en las yemas (Peros y Baudin, 1983) o el pincelado de yemas con una pasta de esporas realizando o no una herida previa (Matsuoka *et al.*, 1986). Sin embargo, hasta el momento no hay reportes donde se validen técnicas de inoculación de carbón en condiciones controladas o a campo, en variedades de caña de azúcar locales. Por este motivo, en este trabajo se propone optimizar una técnica para reproducir

síntomas de carbón en condiciones controladas y de esa manera poder contar con una herramienta para evaluar los clones del programa de mejoramiento de la EEAOC, en años donde las condiciones no sean favorables para la expresión de la enfermedad en campo.

Materiales y métodos

Material vegetal

Las variedades utilizadas en los ensayos fueron LCP 85-384, previamente catalogada como resistente al carbón, pero que en las últimas dos campañas (2020/2021 y 2021/2022) presentó un comportamiento susceptible y TUC 95-10 (resistente).

Se colectaron tallos de caña de azúcar de lotes semilleros, los mismos fueron troceados con machetas desinfectadas en amonio cuaternario al 3‰ para obtener estacas uninodales. Las mismas fueron tratadas por hidrotermoterapia (inmersión de las estacas en agua caliente a 51°C, durante 2 h) para asegurar su sanidad. Se usaron 9 unidades experimentales por cada variedad y por cada tratamiento. Las unidades experimentales fueron agrupadas de a tres.

Preparación de la suspensión de esporas

Las esporas de *S. scitamineum* fueron obtenidas de látigos de carbón de la variedad LCP 85-384, colectados entre octubre y diciembre de 2020.

Antes de realizar las inoculaciones se determinó la viabilidad de las esporas en medio agar agua al 1,5%. Las cajas se incubaron a 29ºC-31ºC, en oscuridad, durante 12 h. Transcurrido el tiempo, se realizó el conteo de 100 esporas por caja de Petri, con ayuda de un microscopio óptico, y se determinó el % de germinación.

Para realizar las inoculaciones se preparó una suspensión de esporas en agua destilada con Tween 20 al 0,01%, con una concentración de 1,5 x 10^7 esporas viables/ml determinada mediante el empleo de la cámara de Neubauer.

En el caso del tratamiento por pincelado se mezcló 2 g de esporas con 4 ml de agua destilada estéril hasta la formación de una pasta.

Inoculación de estacas uninodales

La inoculación se llevó a cabo empleando tres técnicas:

T1: inmersión de estacas uninodales en la suspensión de esporas durante 10 min (Figura 1A),

T2: pincelado de yema con una pasta de esporas (Figura 1B) y

T3: inyección de la base de la yema con aguja hipodérmica conteniendo la suspensión de esporas (Figura 1C).

Figura 1. Inoculación de estacas uninodales con esporas de *Sporisorium scitamineum*. **(A)** Técnica de inmersión, **(B)** técnica de pincelado y **(C)** técnica de inyección.

Se emplearon controles (inoculados con agua destilada estéril y Tween 20 al 0,01%) para determinar si las técnicas empleadas afectaban la viabilidad de las yemas.
Una vez tratadas las estacas uninodales, se dejaron secar a temperatura ambiente y luego se incubaron en bolsas plásticas por 24 h a 31°C, en oscuridad. Posteriormente, se realizó la plantación en macetas de 3 L con sustrato comercial. Las mismas se ubicaron en el invernáculo perteneciente a la sección de Fitopatología de la EEAOC y se mantuvo la humedad del suelo mediante riego.

Evaluación de síntomas de carbón

Una vez producida la brotación de yemas, se evaluaron las plantas semanalmente para detectar la aparición de síntomas de carbón. Las plantas que mostraron látigos fueron retiradas del invernáculo para evitar la dispersión de las esporas y reinfecciones que alteren los resultados finales.
Los datos obtenidos fueron analizados estadísticamente con el programa InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2018) mediante el modelo lineal generalizado y mixto.

Resultados

Las tres técnicas de inoculación empleadas permitieron reproducir los síntomas de carbón en la variedad susceptible LCP 85-384 (Figura 2).

Figura 2. Síntomas típicos del carbón de la caña de azúcar (látigo apical), observados en la variedad LCP 85-384 luego de la inoculación con esporas de *Sporisorium scitamineum.*

En la Figura 3 se muestra el nº de plantas con y sin látigos de carbón, en función de las variedades evaluadas, para cada tratamiento.

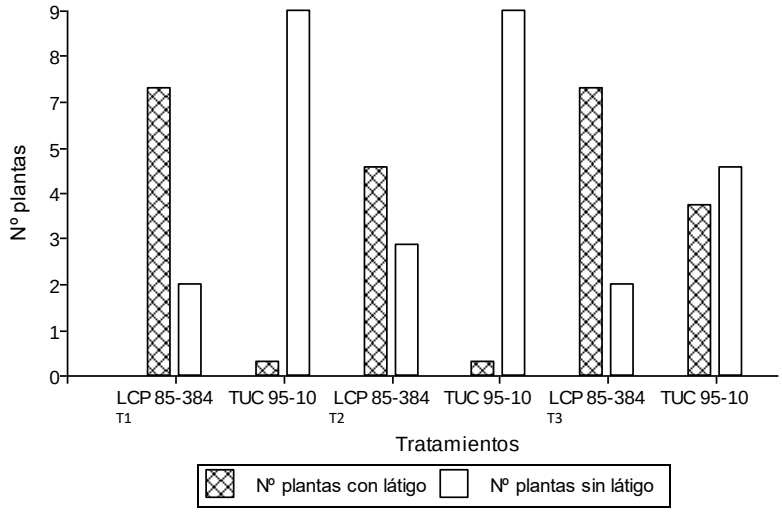


Figura 3. Número de plantas con y sin síntomas de carbón según la variedad de caña de azúcar y la técnica de inoculación. T1: inmersión de estacas uninodales, T2: pincelado de yemas con pasta de esporas y T3: inyección de la base de la yema con aguja hipodérmica.

La variedad LCP 85-384 presentó siete, cinco y siete plantas enfermas para los tratamientos T1, T2 y T3, respectivamente (Figura 3). Por otra parte, la variedad resistente TUC 95-10 presentó plantas con síntomas de carbón sólo cuando fue inoculada mediante inyección de la base de la yema con aguja hipodérmica (T3) (Figura 3). En cuanto a los controles empleados para cada tratamiento, las plantas brotaron sin presentar látigos de carbón.
Respecto al análisis estadístico de los datos, la Tabla 1 muestra que no existe interacción Tratamiento x Variedad ($p>0,05$) y que no hay diferencias significativas entre los tratamientos utilizados ($p>0,05$). También se observa que existe diferencia significativa entre las variedades empleadas ($p=0,0027$), lo que confirma el comportamiento diferencial entre LCP 85-384 (susceptible) y TUC 95-10 (resistente), independientemente de la técnica de inoculación utilizada.

Tabla 1. Efectos de la técnica de inoculación, de la variedad de caña de azúcar y su interacción para el experimento de inoculación de carbón en condiciones controladas, mediante Modelo lineal generalizado y mixto.

Efectos	F	p-valor
Técnica de inoculación	1,87	0,1959
Variedad	14,23	0,0027
Variedad x Técnica de inoculación	0,16	0,8551

Se puede apreciar que, si bien el T3 presentó un mayor número de plantas con látigo (Figura 1), no hubo diferencias significativas entre los tres tratamientos (Tabla 1).

Conclusiones

Las tres técnicas empleadas para reproducir los síntomas de carbón en condiciones controladas fueron eficaces. Sin embargo, el único tratamiento de inoculación empleado que no interfiere con las barreras físicas naturales de las plantas y no las expone a altas concentraciones de esporas, es el tratamiento de inmersión, por lo tanto, resultaría ser el más adecuado para evaluar el comportamiento de un clon o variedad frente a esta enfermedad.

Bibliografía

Bebee, C. N.1988. Smut, pp. 230–234. En: Chattes N. Bebee (ed). The Protection of Sugarcane and Sugar Beets. Pub. Longman Inc., New York.
Bertani, R.P.; Funes, C.; Joya, C.M.; Gutierrez, H.; Chaves, S.; Lobo, J.A.; Velasco, O.A.; Monachesi, M.A. y González, V. 2021. Ficha técnica: Carbón de la caña de azúcar. Revista Avance

Agroindustrial, 42 (2), pp. 22-23, https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=carbon-de-la-cana-de-azucar.

Bhuiyan, S. A.; B. J. Croft; J. K. Stringer and E. C. Deomano. 2015. Pathogenic variation in spore populations of *Sporisorium scitamineum*, causal agent of sugarcane smut in Australia. Plant Disease, 99:93-99.

Bueno, C. R. N. C. 2010. Infecção por *Sporisorium scitamineum* em cana-de-açúcar: influência de variáveis ambientais e desenvolvimento de método para diagnose precoce (Disertación doctoral, Universidade de São Paulo).

Cooperativa central dos produtores de cana, açucar e álcool do estado de São Paulo (COPERSUCAR). 1995. Avaliação de diferentes métodos de inoculação do carvão da cana-de-açúcar (*Ustilago scitaminea* Sydow). Piracicaba: Centro de tecnología Copersucar. 19p. (Relatório Anual 1994/95).

Di Rienzo, J., Balzarini, M., Casanoves, L., González, L., Tablada, E. y Robledo, C. 2018. InfoStat Software Estadístico versión 9. Grupo InfoStat, FCA.

Mansoor, S.; M.A. Khan and N.A. Khan. 2016. Screening of sugarcane varieties/lines against whip smut disease in relation to epidemiological factors. Journal Plant Pathology & Microbiology, 7: 366. doi: 10.4172/2157-7471.1000366.

Matsuoka, S; Sordi, R. A.; Masuda, Y; Arizono, H. 1986. Realiability and feasibility of the needle-bud puncture method for rapid identification of smut susceptible sugarcane clones. Proceedings International Society Sugar Cane Technology, Guatemala, v.19, p.375-385.

Peros, J. P.; Baudin, P. 1983. Etude de la variabilité d' *Ustilago scitaminea* Syd., agent du carbón de la canne à sucre. L'Agronomie Tropicale, Montpellier, v.38, p.234-240.

Teixeira-Silva, N. S.; Schaker, P. D. C.; Rody, H. V. S.; Maia, T.; Garner, C. M.; Gassmann, W.; Monteiro-Vitorello, C. B. 2020. Leaping into the Unknown World of *Sporisorium scitamineum* Candidate Effectors. J Fungi (Basel).

Whiteneaad, C. 1967. Variety studies. Reports Experimental Station African Sugar Association. P.24-30.

PRESENTACIONES ORALES

ÁREA INDUSTRIAL

EVOLUCIÓN DE LA EFICIENCIA EN EVAPORACIÓN EN UN INGENIO DE TUCUMÁN, ARGENTINA.

Cruz, M. C.; Díaz G.; Franck Colombres F. y Paz D.

Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). C.P. 4101- Las Talitas- Tucumán.
www.eeaoc.org.ar - Tel. 0381-4521000 e-mail: ccruz@eeaoc.org.ar

Palabras clave: mediciones en fábrica, uso racional de la energía, eficiencia energética.

Introducción

La evaporación de jugo de caña es una operación esencial en todas las fábricas de azúcar, y su configuración es un factor que determina ampliamente la eficiencia energética de la planta industrial. Esta operación incrementa la concentración de jugo clarificado hasta un contenido de sólidos disueltos alrededor de 65-68%, lo cual la convierte en el principal consumidor de vapor. La configuración de la estación de evaporación determina la cantidad de vapor que requiere la fábrica, y por lo tanto el arreglo de evaporadores es de gran importancia (Peter Rain, 2012). Este arreglo tiene que ver con la cantidad de efectos que conformen el sistema, por lo general, los ingenios tucumanos cuentan con trenes de evaporación que tienen entre 4 y 5 efectos. El evaporador más usado es de tipo Robert, el cual está constituido esencialmente por una calandria tubular que tiene la función de intercambiar calor entre el vapor de calefacción que baña los tubos por el exterior y el jugo a evaporar que circula por el interior (Almirón *et al*., 2006).

La eficiencia de evaporación se define como la relación entre el caudal másico total de agua evaporada y el vapor escape suministrado al primer efecto. Para incrementar la eficiencia de evaporación, se analizan estrategias de uso racional de la energía, las cuales dependen, entre otros, de tres factores: número de efectos, extracciones de vapor vegetal y temperatura del jugo a la entrada al primer efecto.

En trabajos anteriores (Ruiz *et al*., 1991; Ruiz *et a*l., 1992; Diez *et al*., 1998), ya se analizó el uso de esta metodología de análisis para ingenios de distinta concepción tecnológica, con el objetivo de evaluar este tipo de sistemas de calentamiento y evaporación (C-E), con resultados satisfactorios.

Existen también publicaciones previas (Paz *et al*., 2003; Diez *et al*., 2011) con el uso del software de simulación SIMCE que resuelve los balances de materia y energía del sistema de C-E.

Objetivo

Estudiar la evolución de la eficiencia del sistema de calentamiento y evaporación de un ingenio de Tucumán, en el cual se realizaron numerosos ensayos de medición durante siete zafras azucareras.

Materiales y Métodos

En el transcurso de 7 zafras: 2012, 2014, 2015, 2016, 2017, 2020 y 2021, se realizaron ensayos de medición para evaluar la eficiencia energética y realizar propuestas de mejoras en el sector de Calentamiento y Evaporación en un ingenio de Tucumán. A partir de estos ensayos, que permiten determinar el estado actual del sistema al momento de la medición, se propusieron modificaciones en el proceso operativo, con el objetivo de aumentar su eficiencia, y en un periodo posterior se evaluar su desempeño.

Descripción del sistema de Calentamiento - Evaporación (C-E).

El ingenio en estudio tenía en 2012 una molienda que rondaba, en promedio, 5800 TCD. El sistema de evaporación de cuádruple efecto tenia a disposición un total de 11 cajas de evaporación denominadas: Pre 1, Pre 2, Pre 3, Cajas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8.

Generalmente como primer efecto funcionaban pares de Pre 1, Pre 2 y Pre 3, como segundo efecto las Cajas 1, 2, y 3, como tercer efecto la Caja 5 o la 6 y como cuarto efecto un par conformado por las Cajas 7 y 8.

El primer efecto se alimentaba con vapor escape (VE) en paralelo, y en serie con el jugo. Lo mismo ocurría con los demás efectos conformados por más de una caja, que se alimentaban con vapor vegetal del efecto anterior en paralelo, y en serie con respecto al jugo.

Los calentamientos de jugo encalado se efectuaban en intercambiadores de calor de tubos-carcaza. Dicho calentamiento se realizaba con vapor vegetal del primer efecto (VG1) y vapor vegetal del segundo efecto (VG2), utilizando para ello los calentadores en serie (Calentadores JE) denominados 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8. En ese momento no se realizaba recalentamiento de jugo claro antes de su ingreso al primer efecto de evaporación.

Con respecto a los consumos adicionales de vapores vegetales, se extraía vapor del primer efecto para abastecer a la refinería y vapor del segundo efecto para calentar los tachos de cocimiento de la fábrica de crudo.

Modificaciones en el sistema de C-E.

Durante los años que el ingenio fue evaluado, se realizaron cambios en el sistema a partir del concepto de uso racional de la energía. En tal sentido, se recomendó aumentar el uso de vapores vegetales, incorporando las extracciones de vapor vegetal de los últimos efectos para el calentamiento de jugo encalado, y emplear VG1 para calentamiento de jugo clarificado. Además, se aconsejó que el consumo vapor escape de refinería se realice con VG2 y que tachos más pequeños y sin agitación se alimenten con VG1. El ingenio fue adoptando estos cambios de manera progresiva en la medida de sus posibilidades.

Balances de masa y energía en el sistema C-E.

Para resolver los balances de masa y energía y conocer el caudal de vapor escape consumido durante los ensayos, se utilizó la simulación de procesos por computadora, empleando el programa de simulación SIMCE 3.0 (López *et al*., 2000; Paz *et al*., 2000).

Resultados

En la Figura 1 se presenta gráficamente la producción de agua evaporada. Aquí se observa claramente que la cantidad de agua evaporada fue en ascenso, reflejando un buen desempeño del cuádruple efecto. Este valor se incrementó en un 62,2 % en TCD desde 2012 a 2021.

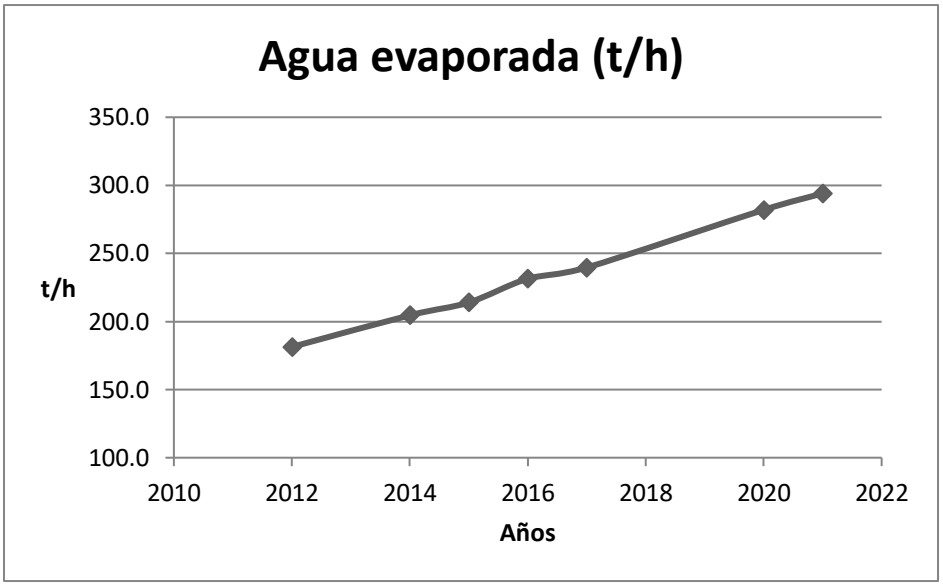


Figura 1. Cantidad de agua evaporada por el sistema durante los años en estudio.

En la Figura 2 se observa la evolución del consumo de vapor escape. En este sentido se demostró gráficamente que este consumo fue disminuyendo a través de las modificaciones que se realizaron en el sistema de C-E. Si comparamos el consumo de vapor escape en el año 2021 con el del año 2012, este valor disminuyó un 21,4 %.

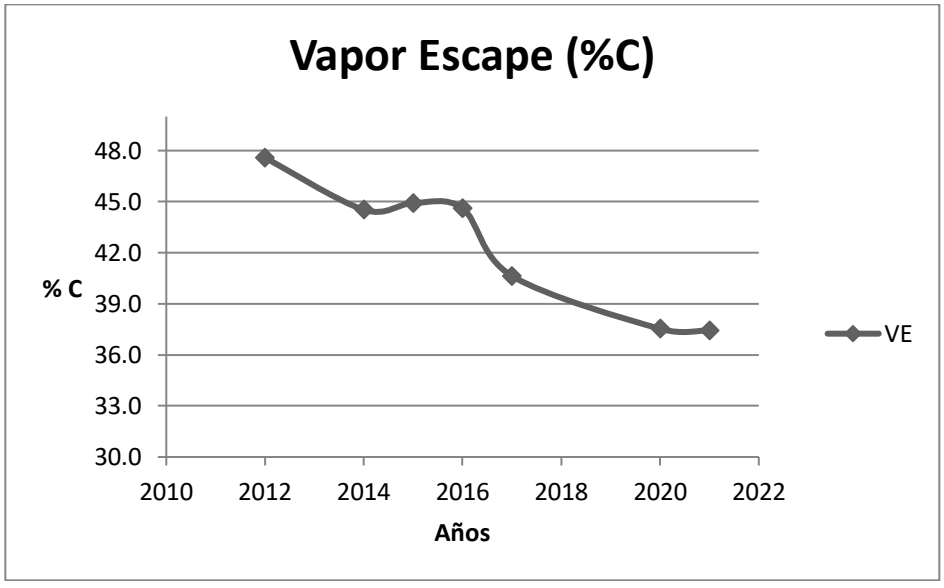


Figura 2. Consumo de vapor escape durante las zafras en estudio.

En la Figura 3, se muestra la eficiencia que tuvo el sistema de evaporación durante el tiempo analizado. Para los dos últimos años, obtuvo un valor de 2,12. Asimismo para 2021 el sistema fue 33,94 % más eficiente comparado con el año 2012.

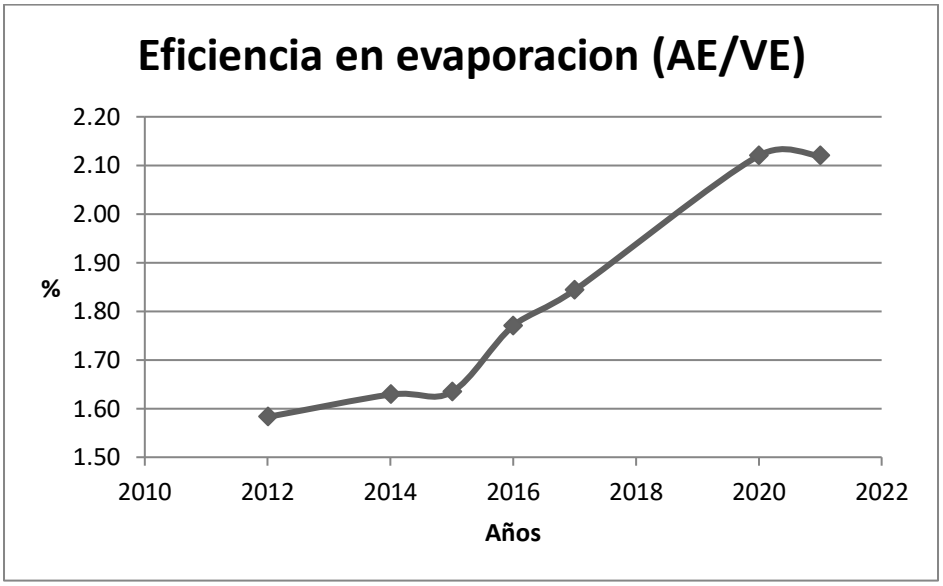


Figura 3. Eficiencia en el sistema C-E durante los años en estudio.

Los valores de mejora para cada año con respecto al año anterior fueron siempre positivos, lo que indica que las estrategias implementadas basadas en el uso racional de la energía fueron beneficiosas para el sistema. El porcentaje de mejora para los últimos años fue de 14,99 %.

Conclusiones

Los resultados de este trabajo indican que se mejoró el sistema de calentamiento y evaporación desde el año 2012 hasta el año 2021, siendo el sistema más eficiente en un 33,94 % para este último año, si se analiza la eficiencia de evaporación. Esto fue consecuencia de la implementación de estrategias de uso racional de la energía, a partir de las cuales se incorporaron convenientemente nuevas extracciones de vapor vegetal para calentamiento de jugo encalado y nuevos equipos calentadores de jugo clarificado. Asimismo, la mejora de cada año con respecto al año anterior fue siempre positiva, habiendo logrado el mayor valor entre el año 2020 y el 2021, con un 14,99%.

Para este ingenio se está evaluando como próximas mejoras, aumentar el número de efectos, es decir pasar de un cuádruple efecto a un quíntuple efecto. Para ello se tiene prevista la incorporación de equipos evaporadores para aumentar la superficie de transferencia, habida cuenta de que el sistema actual, como tal, ya es eficiente y se encontraría muy exigido si no se realizan cambios para operar en quíntuple efecto.

Este trabajo refleja la importancia y el potencial de los estudios realizados sobre los sistemas de calentamiento y evaporación, que permiten analizarlos para proponer posibles mejoras y luego comprobarlas. En este caso se logró una importante disminución del consumo de vapor escape, del 21,30 %, que está directamente relacionada con una

mejora en la eficiencia de la planta fabril, lo que podría traducirse en una disminución del consumo de combustible fósil o un aumento de excedentes de energía eléctrica para la red. Además del beneficio económico que ello conlleva, implica también propender a la sustentabilidad, es decir, hacer un uso consciente y responsable de los recursos, sin agotarlos o exceder su capacidad de renovación, y sin comprometer el acceso a éstos por parte de generaciones futuras.

Bibliografía

Peter Rein. 2012. Ingeniería de la caña de azúcar. Berlín 2012.

Diez, O.A.; C. Cruz y G.J. Cárdenas. 2011. Optimización energética para la producción simultánea de azúcar y alcohol en Tucumán, R. Argentina. Rev. Ind. y agríc. de Tucumán 88 (2):27-40.

Almirón M. y D.Paz. 2006. Evaporadores empleados en la industria azucarera de caña. 2006. Avance Agroind.(38): 33-38.

Paz D.; R.M. Ruiz; G. Aso y G.J. Cárdenas. 2003. Optimización del balance de vapor de la fábrica cuando se reemplazan los tradicionales molinos por un difusor de caña. Rev.Ind. y agríc. de Tucumán 80 (1-2):11-24.

López, A.O.; D. Paz; O.A. Diez y G.J. Cárdenas. 2000. SIMCE 2.0: nuevo software para el análisis de sistemas de calentamiento, evaporación y cocimientos de la industria azucarera. Rev.Ind. y agríc. de Tucumán 77 (1):89-98.

Paz D., G.J. Cárdenas, O.A. Diez y A.O. López. 2000. Inscripción en Dirección Nacional del Derecho del autor como obra publicada (Nº 105662) del software SIMCE 2.0, especialmente preparado para el análisis, diseño y simulación de sistemas de calentamiento evaporación y cocimiento en la industria azucarera.

Diez. O. A., G. Aso., D. Paz y G. Cárdenas. 1998. Mejoramiento energético de un ingenio mediante reordenamiento de equipos existentes. Rev.Ind. y agríc. de Tucumán 75 (1-2):11-24.

Ruiz. R.M.,D. Paz de Vázquez, G. Cárdenas y G. Aso. 1992. Análisis de las diferentes alternativas de evaporación de la industria azucarera mediante simulación digital. Rev.Ind. y agríc. de Tucumán 69 (1-2):119-129.

Ruiz. R.M.,D. Paz de Vázquez, G. Cárdenas y G. Aso. 1991. Evaluación térmica experimental de evaporadores. Comparación con resultados obtenidos por simulación digital. Rev.Ind. y agríc. de Tucumán 68 (1-2):149-163.

ANÁLISIS DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN EVAPORADORES DE INGENIOS DE TUCUMÁN – ARGENTINA

Diaz G.; Cruz, M. C.; Franck Colombres F. y Paz D.
Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). C.P. 4101- Las Talitas- Tucumán.
www.eeaoc.org.ar - Tel. 0381-4521000 Int. 278 e-mail: gdiaz@eeaoc.org.ar

Palabras claves: caña de azúcar, Robert, modelado.

Introducción

En líneas generales, el jugo de la caña es extraído mediante molinos y luego de los procesos de encalamiento y clarificación se procede a concentrar el jugo obtenido, denominado jugo claro, de una concentración de aproximadamente 15°Bx a un valor cercano a 65°Bx. Para este fin, se emplea un tren de evaporadores de cuatro o cinco efectos que utiliza vapor escape para el calentamiento de las cajas evaporadoras que conforman el primer efecto, y vapor vegetal producido en la evaporación del efecto inmediato anterior para las cajas restantes. El vapor vegetal generado en el último efecto se envía a un condensador con lo cual se genera el vacío necesario para la operación del sistema. Debido a que el sector de evaporación es el mayor consumidor de vapor de baja presión, su eficiencia influye fuertemente en la eficiencia energética global de la fábrica (Peter Rain, 2012). Existen en el mercado diferentes tipos de evaporadores, Robert, Kestner (más antiguos), evaporadores de circulación forzada, evaporadores tubulares de película descendente y evaporadores de placas (más modernos), etc. La industria azucarera tucumana cuenta en su mayoría con evaporadores tipo Robert (Almirón, *et al.* 2006). En estos evaporadores la transferencia de calor tiene lugar de manera indirecta en una calandria tubular vertical (Hugot, 1986). Por el interior de los tubos que conforman la calandria circula el jugo de manera ascendente, recibiendo calor del vapor que baña la parte exterior de los mismos. El calor recibido vaporiza parte del agua contenida en el jugo, el vapor asciende y egresa por la parte superior del evaporador, mientras que el jugo ya concentrado se colecta por un tubo central. En el tren de evaporación el jugo circula en serie a través de las cajas y el vapor alimenta en paralelo a las cajas que conforman un mismo efecto.

El flujo de calor en la calandria de un evaporador (Q) es proporcional a la fuerza impulsora dada por la diferencia de temperatura entre el vapor y el jugo (T_v-T_j), y a la superficie de contacto (A), (Ecuación 1).

$$Q = U * A * (T_v - T_j) \qquad \textbf{Ecuación 1}$$

Por lo tanto, el coeficiente global de transferencia de calor (U) representa el flujo de calor por unidad de área y por unidad de diferencia de temperatura. El coeficiente global es la inversa de la resistencia total a la transferencia de calor. Esta resistencia entre el vapor de agua y un líquido en ebullición viene dada por la suma de cinco resistencias: la resistencia de la película de vapor; las dos resistencias de las costras (incrustaciones), interior y exterior de los tubos; la resistencia de la pared del tubo; y la resistencia del líquido en ebullición. En la mayoría de los evaporadores el factor de ensuciamiento del vapor de agua condensante y la resistencia de la pared del tubo pueden despreciarse. (Mac Cabe, 1998). En el caso de los evaporadores de jugo de caña el grado de incrustación del lado interior, donde circula el jugo, es la resistencia dominante. A medida que el jugo pasa por los efectos del tren, su concentración aumenta, la temperatura disminuye y esto lleva a un aumento en la viscosidad, lo que resulta finalmente en una menor transferencia de calor.

El coeficiente global de transferencia de calor varía según el diseño del evaporador y también del número de efectos del tren de evaporación, obteniéndose valores mayores en un sistema de cuádruple efecto que en un quíntuple efecto. Esto último se debe a que las fuerzas

MEJORAS EN LA EFICIENCIA DE OPERACIÓN DE UN TREN DE MOLIENDA POR MEDIO DE LA ELECTRIFICACION DE LOS MOLINOS DE CAÑA DE AZUCAR DE TUCUMAN, ARGENTINA

Cruz, Roberto y Cisneros, Julio

Ingenio La Corona

robertocruz@imgeniolacorona.com; juliocisneros@ingeniolacorona.com

INTRODUCCIÓN

El trapiche utilizado en el Ingenio La Corona es marca GHH, de procedencia alemana y fabricado en el año 1963. El mismo contaba con seis molinos accionados por turbinas en el primer molino (de 600HP) con reductor de alta marca RENK de 750 HP y reducción 1:175, y piñón y catalina bihelicoidales con reducción 1:4.

En los restantes molinos, del segundo al quinto, trabajan turbinas de 500 HP y 4400 rpm, reductor de alta WGW de 750 HP con reducción de 1:175 y catalina y piñón rectas de reducción de 1:4,7. El trapiche mencionado fue diseñado para procesar una molienda 4500 t/día, con masas de 37 x 75 pulgadas.

En los últimos años la molienda se fue hasta llegar a procesar 7500 t/día pero obteniéndose en contrapartida valores muy elevados de humedad y contenidos de azúcar en jugo (pol) muy pobres, con el consiguiente consumo ineficiente de gas en caldera. Otro problema que se presentó ante el incremento de la molienda fue el consumo de vapor elevado de las turbinas debido a la alta demanda de vapor para producir la energía. Lo descripto se detalla en la tabla 1.

Tabla 1: Humedad en bagazo, gas natural consumido, paradas por año y consumo de vapor en molinos antes de la electrificación de los molinos.

	año		
	2014	2015	2016
humedad bagazo [%]	53	52,70	52,50
gas [m^3/día]	60.000	55.000	55.000
Paradas accion. [horas/año]	80	85	120
Consumo de vapor [t/h]	170	157	160

Debido a los elevados valores de humedad obtenidos se decidió llevar a cabo la electrificación y automatización del sexto molino y un proyectar un plan de electrificación total del tándem.

En 2018 se iniciaron las tareas para electrificar el tándem de molinos. Este consistía en seis turbinas marca GHH de 500 hp y 4400 rpm, con un consumo de vapor de 24 kg/kW.

ELECTRIFICACION DE MOLINOS

La electrificación del sexto molino se realizó cambiando todo el accionamiento (turbina, reductor, piñón y catalina) por el motor WEG y un reductor planetario TGM comandado por el variador de velocidad WEG (ver figura 1).

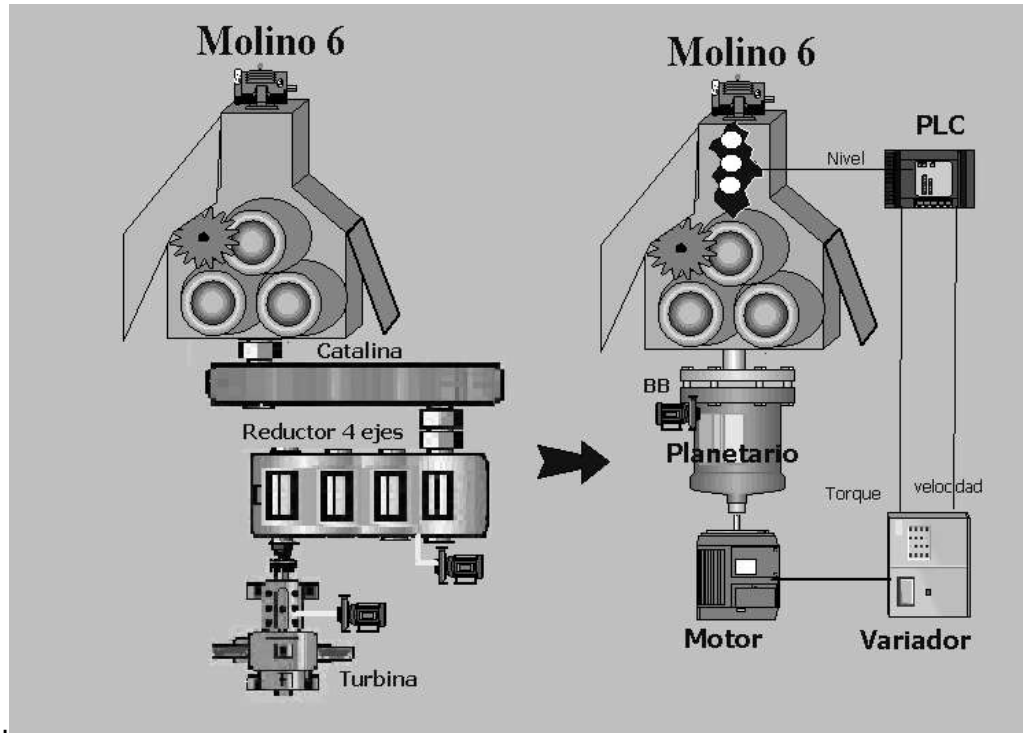


Figura 1: electrificación del sexto molino.

EQUIPOS UTILIZADOS EN EL SEXTO MOLINO

Para la electrificación del sexto molino se utilizo un reductor planetario TGM para 1200 hp con factor de servicio 2.7 y motor de 1200hp y 1000rpm, un variador de velocidad WEG de 1200 hp, un controlador o PLC marca Fatek, un manchón de acople Tecnon 104 y un Motor WEG de 1200hp y 1000rpm – 380V.

El plan de electrificación presentó el problema de altísimo costo insumido para cada uno de los molinos (aproximadamente 900.000 U$D).

Dado que se requería la compra de un motor-variador de 950 hp -1000 rpm como respaldo del ventilador de tiro inducido de la caldera (que produce 120 t/h de vapor y es la principal generadora del mismo para la fábrica), surgió la propuesta de utilizar el mismo en el cuarto molino y a la vez como remplazo del ventilador de tiro inducido de la caldera.

Para poder remplazar la turbina de 4400 rpm por un motor de 1000 rpm y manteniendo el mismo reductor WGW, se eliminó el primer par de reducción de alta velocidad y se construyo el segundo eje piñón más largo para acoplar a motor. De esta manera el reductor quedó con 2 pares de reducción y entrada de 600 a 1000 rpm (de acuerdo a la molienda). En la figura 2 se puede apreciar lo descripto anteriormente.

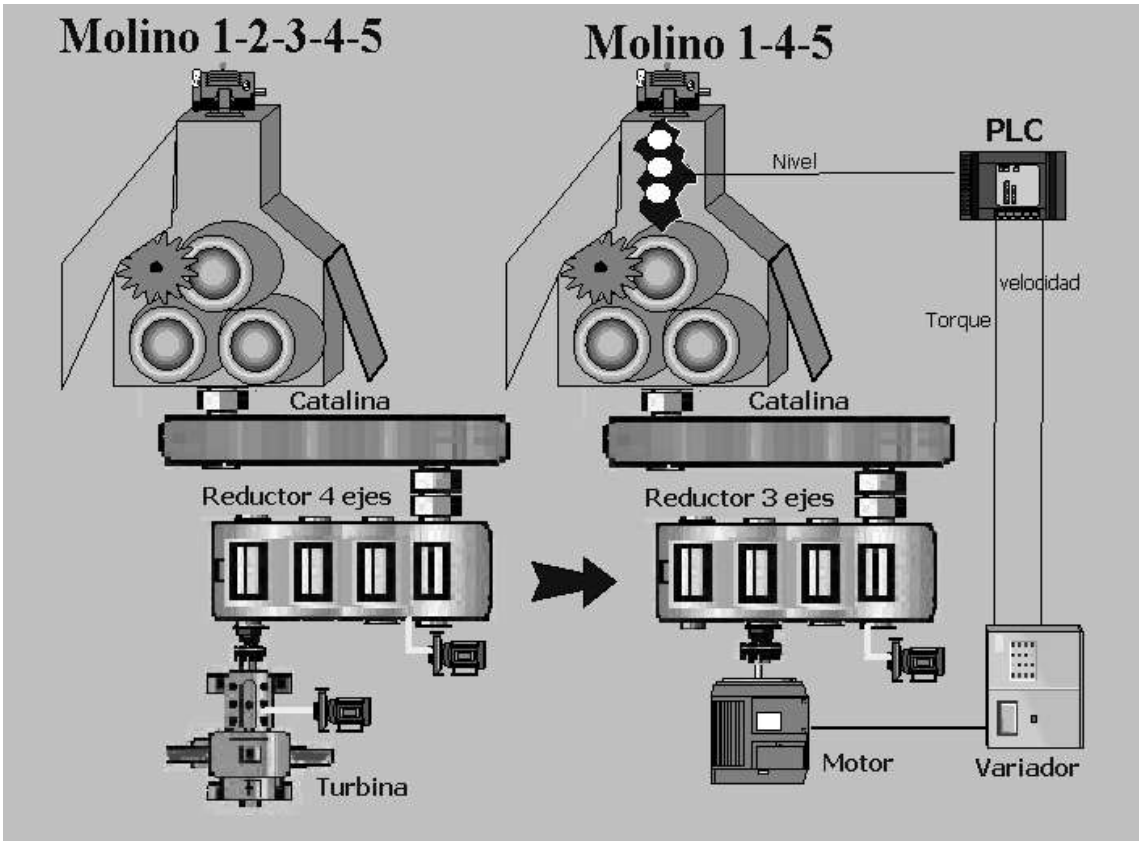


Figura 2: electrificación del primero al sexto molino.

EQUIPOS UTILIZADOS EN LOS MOLINOS 1-4-5

Para la electrificación de los molinos 1, 4 y 5 se realizó la modificación de reductores WGW, mediante la construcción del eje piñón del segundo par. Se emplearon en estas tareas además un variador de velocidad marca Vacon de 900 hp, un controlador o PLC marca Fatek, un manchón de acople marca Tecnon 104 y un motor eléctrico ABB de 750 KW y 1000 rpm – 380V.

AUTOMATIZACIÓN

Aprovechando la posibilidad que nos da el variador con el motor para la regulación de la velocidad, se decidió controlar cada molino en forma automática.

Luego de varios experimentos con lazo simples, se llegó a la conclusión de que el mejor lazo de control es uno doble, torque-nivel.

Este aplica un selector de máxima salida, donde se coloca el sp del torque deseado (el variador lo entrega) y el sp de nivel (sensores de conductividad en tolva). Ambos actúan al mismo tiempo, pero manda el de mayor velocidad- salida.

Con esto se logra mantener una carga constante y deseada en el molino.

Si se controla solo por nivel este tiene el problema que en algún momento este sobrepase la máxima corriente del motor y se termine frenando.

Si controla solo por torque lo más probable es que la tolva en algunos momentos se llene y retorne bagazo.

VENTAJAS DE LA ELECTRIFICACIÓN

Entre las ventajas obtenidas al electrificar los molinos de una fábrica se pueden listar las siguientes:

- Reducción de la humedad de 53% a 49%.
- Incremento de los valores de pol.
- Las paradas de molienda por accionamiento de molinos, se redujeron notablemente.
- El control automático logro que el trapiche solo se acomode ante mermas de producción, sin la necesidad del operador.
- El mantenimiento de turbinas por motor, redujo el personal para mantenimiento de 4 a 2 personas y disminuyo el trabajo en talleres externos.
- Ante el cambio de reductor planetario por uno de marca Renk, el mantenimiento se redujo a cero en seis años.
- En los reductores (molino 1-4-5) al eliminar el primer par con cojinetes, el mantenimiento y seguridad del servicio mejoraron.
- El consumo de vapor directo bajo de 10 a 3,5 toneladas por máquina.
- Se eliminaron válvulas, cañerías, purgas de vapor, etc. Todo esto ocasionaba demasiadas perdidas.
-Se mejoro la información de potencia y extracción de cada molino, gracias a las bondades que ofrecen los variadores de velocidad (par, corriente, potencia, etc.), lo cual al utilizar turbinas no es posible.

En la tabla 2, y comparando con la tabla 1, se pueden observar las mejoras obtenidas con la electrificación de los molinos.

Tabla 2: Pol en bagazo, Humedad en bagazo, gas natural consumido, paradas por año y consumo de vapor en molinos después de la electrificación de los molinos.

	año				
	2017	2018	2019	2020	2021
Pol [%] en bagazo	3,3	3,2	3,3	3,08	3,1
humedad bagazo [%]	49	49,50	49,60	49,5	49,65
gas [m^3/día]	4000	2500	1500	1000	1000
paradas accion horas/año	70	56	36	40	42
vapor [t/h]	152	147	145	140	142

CONCLUSIONES

Tras las múltiples ventajas obtenidas a consecuencia de implementar la electrificación de los molinos, la idea como empresa es culminar dicha tarea con los molinos restantes, para continuar luego con el desfibrador y las cuchillas.

Esto nos permitirá tener una gran cantidad de vapor directo disponible como auxilio, el cual sería utilizado en usina de modo de generar un excedente de energía

eléctrica que se podría vender a la red. De esta manera, en vez de ser utilizado de manera auxiliar, se podría aprovechar el excedente de vapor en una turbina eficiente para generar energía.

Cabe destacar que sin la electrificación del trapiche es imposible lograr una buena venta de energía.

impulsoras son mayores en un sistema de cuatro efectos ya que las diferencias entre las temperaturas de vapor en calandria y las temperaturas del jugo son mayores.

Para poder diseñar un tren de evaporación o simular cambios en un sistema existente es necesario el conocimiento de los coeficientes de transferencia de calor. Cuanto más precisos sean estos mejores serán los resultados obtenidos.

Algunos autores de otros países han documentado los valores obtenidos de transferencia de calor para evaporadores de ingenios. Claassen brinda valores para fábricas de azúcar de remolacha con incrustación moderada, Hugot y Coutanceau presentan datos de ingenios azucareros de caña con incrustaciones más fuertes, mientras que Honig presenta valores observados en evaporadores modernos de jugo de caña, en los que se debe incrementar el valor del coeficiente presentado un 20% para los dos primeros efectos limpio y un 30% para el último efecto (Honig, 1962).

Otros autores han propuesto ecuaciones (Ecuaciones 2, 3 y 4) para modelar el coeficiente global de transferencia de calor en función de la concentración de entrada (°Bx_e), de salida (°Bx_s), o la concentración promedio del jugo (°Bx_m), de la temperatura del jugo en calandria (T_j) y la temperatura del vapor de calefacción (T_v) (Baloh-Wittwer, 1995).

Ecuación Baloh-Wittwer

$$U\left[\frac{Kcal}{m^2 h ℃}\right] = \frac{7{,}5\times10^4}{°Bx_e^2[\%]+°Bx_s^2[\%]+800} \times 60 \qquad \textbf{Ecuación 2}$$

Ecuación de suecos

$$U\left[\frac{Kcal}{m^2 h ℃}\right] = \frac{502\times T_j[℃]}{°Bx_e[\%]} \times 0{,}86 \qquad \textbf{Ecuación 3}$$

Ecuación de Dessin

$$U\left[\frac{Kcal}{m^2 h ℃}\right] = 0{,}613 \times (100 - °Bx_m[\%])(T_{v\,cal}[℃] - 54) \times 0{,}86 \qquad \textbf{Ecuación 4}$$

En Argentina no se cuenta con datos publicados sobre el coeficiente global de transferencia de calor de evaporadores en ingenios. Se cuenta con trabajos de evaluación de sistemas de calentamiento y concentración de jugo en el que se analiza el uso de una metodología con resultados satisfactorios (Ruiz *et al*., 1991; Ruiz *et a*l., 1992; Diez *et al*., 1998). Paz *et al*. y Diez *et al.* estudiaron el uso del software de simulación SIMCE de creación propia, que resuelve los balances de materia y energía del sistema de calentamiento y evaporación de jugo de caña, empleando la ecuación empírica propuesta por Baloh – Wittwer para el cálculo del U.

Objetivo

El objetivo de este trabajo es brindar información acerca de los coeficientes calculados mediante ensayos en un ingenio de Tucumán durante 6 zafras, compararlos con otros autores y proponer una ecuación que modele el comportamiento de este factor en función de los parámetros del sistema en la provincia.

Materiales y Métodos

En el transcurso de 6 zafras se realizaron ensayos de medición en el sector de calentamiento y evaporación en un ingenio de Tucumán. Este ingenio cuenta con un tren de cuatro efectos, con un sistema de limpieza escalonado. En los ensayos se midieron caudal y temperatura de jugo encalado, caudal y temperatura de jugo claro, temperatura de vapor de calandria y vapor vegetal, concentración de entrada y salida de cada efecto. Además, se

tomaron registros de las variables medidas por el ingenio, de la molienda horaria, las presiones de los cuerpos y las superficies de transferencia de calor. Con estos datos y el uso del programa SIMCE (López *et al*., 2000; Paz *et al*., 2000) para la resolución de balances de materia y energía, se determinó el coeficiente de transferencia de calor teniendo en cuenta que el producto de U*A obtenido por el software es igual al producto U*A real del evaporador.

Los valores obtenidos para cada efecto fueron analizados, determinándose el rango con el valor mínimo y máximo, valor promedio y desviación estándar. La desviación estándar brinda información sobre la dispersión de los datos. Una regla empírica para una distribución normal es que el 68% de los valores se ubican dentro de una desviación estándar de la media, 95% de los valores se ubican dentro de dos desviaciones estándar y 99,7% de los valores se ubican dentro de tres desviaciones estándar.

Luego se aplicaron las ecuaciones propuestas por los autores mencionados anteriormente (Ecuaciones 2, 3 y 4) y se analizó el ajuste calculándose el factor de correlación R^2.

Se analizan diferentes modelos, se propone una nueva ecuación y se determinan los coeficientes de manera de obtener el mínimo valor para la suma de los errores al cuadrado. Se calcula el factor de correlación para la ecuación propuesta.

Resultados

En las Tablas 1, 2 y 3 se muestran los valores mínimo, máximo y promedio junto con la desviación estándar de los valores obtenidos mediante los ensayos.

Tabla 1. Valores de concentración de jugo medidos en los ensayos. EEAOC.

Concentración de jugo [°Bx]								
Parámetros	**Primer efecto**		**Segundo efecto**		**Tercer efecto**		**Cuarto efecto**	
	$°Bx_e$	**$°Bx_s$**	**$°Bx_e$**	**$°Bx_s$**	**$°Bx_e$**	**$°Bx_s$**	**$°Bx_e$**	**$°Bx_s$**
Mínimo	14,4	22,4	22,4	32,2	32,2	39,0	39,0	51,3
Máximo	19,7	32,8	32,8	52,7	52,7	64,5	64,5	77,6
Promedio	16,2	26,6	26,6	42,2	42,2	53,1	53,1	64,4
Desviación estándar	1,2	2,7	2,7	5,3	5,3	6,4	6,4	6,0

Tabla 2. Valores de temperatura de jugo y de vapor en calandria medidos en los ensayos. EEAOC.

Temperatura de vapor y de jugo en calandria [°C]								
Parámetros	**Primer efecto**		**Segundo efecto**		**Tercer efecto**		**Cuarto efecto**	
	T_v	**T_j**	**T_v**	**T_j**	**T_v**	**T_j**	**T_v**	**T_j**
Mínimo	117,4	107,7	108,3	95,3	94,9	75,7	73,9	52,4
Máximo	125,0	117,6	117,1	110,2	108,7	97,5	95,3	72,1
Promedio	121,1	113,8	113,3	103,9	102,8	87,6	85,1	64,1
Desviación estándar	1,7	2,8	2,7	3,7	3,5	5,2	5,6	5,4

Tabla 3. Valores de coeficientes globales de transferencia de calor calculados en los ensayos. EEAOC.

Coeficiente global de transferencia de calor [kcal/(h.m²°C)]				
Parámetros	**Primer efecto**	**Segundo efecto**	**Tercer efecto**	**Cuarto efecto**
Mínimo	970	606	458	164
Máximo	3014	2607	2195	1211
Promedio	1789	1225	1114	530
Desviación estándar	628	491	427	255

En la Tabla 4 se estudia la desviación estándar de los valores de U por efecto.

Tabla 4. Valores de coeficientes globales de transferencia de calor calculados. EEAOC.

Parámetros	Primer efecto	Segundo efecto	Tercer efecto	Cuarto efecto
Promedio + D	57%	71%	71%	68%
Promedio + 2*D	100%	100%	96%	96%
Promedio + 3*D	100%	100%	100%	100%

El conjunto de valores de U del primer efecto es el único que presenta un porcentaje menor al 68% de los valores ubicados dentro de una desviación estándar de la media. Más del 96% de los valores se ubican dentro de dos desviaciones estándar y la totalidad de los valores se ubican dentro de tres desviaciones estándar para todos los efectos. Esto quiere decir que el conjunto de U conforma una distribución normal.

En la Tabla 5 se muestran algunas referencias documentadas por otros autores junto con los valores de este trabajo, tomando como rango el valor promedio más/menos la desviación estándar.

Tabla 5. Comparación con valores de coeficientes globales de transferencia de calor documentados por otros autores. EEAOC.

Coeficiente global de transferencia de calor [kcal/(h.m^2.°C)]				
Referencia	Primer efecto	Segundo efecto	Tercer efecto	Cuarto efecto
Claassen	2400-3000	1800-2400	1200-1800	600-900
Tromp	2250	1750	1250	750
Hugot	2000	1400	900-1000	400-500
Coutanceau	2400	1800	1200	600
Honig	2400	1800	1400	800
Este trabajo	1161-2417	734-1716	686-1541	275-784

Se observa que los valores obtenidos de U se encuentran por lo general por debajo del rango de los coeficientes presentados por otros autores.

La Tabla 6 muestra los valores obtenidos con las ecuaciones de otros autores.

Tabla 6. Valores de coeficientes globales de transferencia de calor calculados. EEAOC.

Parámetros	Baloh - Wittwer	Suecos	Dessin
R^2	0,456	0,494	0,450

La ecuación propuesta, que resulta de la combinación de las ecuaciones 2 y 3, presenta la siguiente forma con un factor de correlación de 0,531:

$$U\left[\frac{kcal}{m^2 h°C}\right] = \frac{9{,}2 * T_j[°C]}{10{,}3 * °Bx_e^{0{,}01269} + 20{,}0 * °Bx_s^{0{,}01026} - 30{,}7} \qquad \textbf{Ecuación 5}$$

En la Figura 1 se presenta una gráfica con los valores calculados de U y los valores resultantes de la ecuación propuesta.

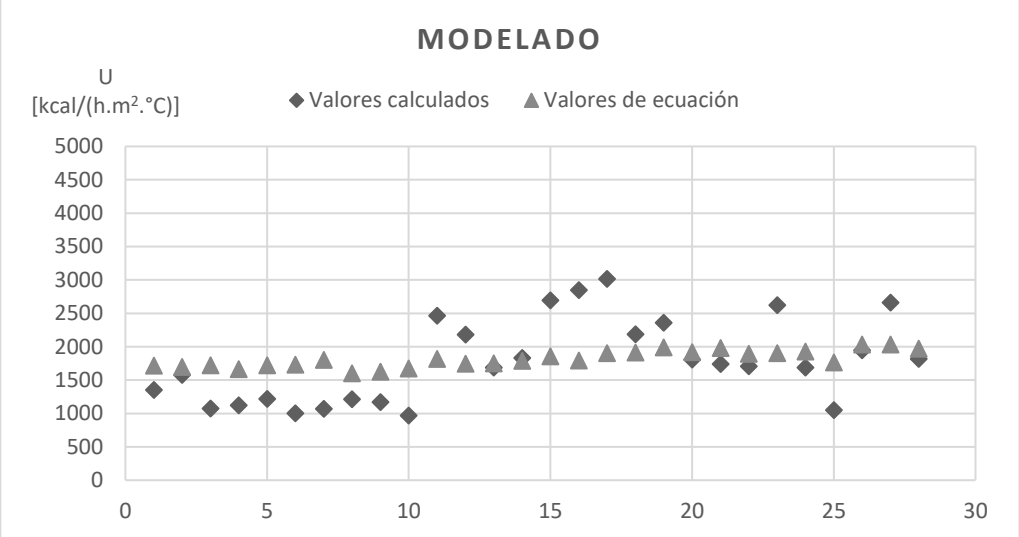


Figura 1: Comparación de los datos de U con los valores obtenidos por la ecuación propuesta. EEAOC.

Conclusiones

Los valores obtenidos de U se encuentran por lo general por debajo del rango de los coeficientes presentados por otros autores. El conjunto de los valores tiene una distribución normal. La ecuación propuesta en función de la concentración de entrada y salida del jugo y la temperatura de este en la calandria, modela los valores obtenidos de U con un coeficiente de correlación mayor al correspondiente a las ecuaciones de otros autores.

Este trabajo refleja la importancia y el potencial de los estudios realizados sobre los sistemas de calentamiento y evaporación, que permiten brindar información útil y particularizada para nuestra provincia y servir de base para nuevos estudios con el objetivo de mejorar el sistema.

Bibliografía

Almirón M. y D.Paz. 2006. Evaporadores empleados en la industria azucarera de caña. 2006. Avance Agroind.(38): 33-38.

Baloh T. y Wittwer E. 1995. Manual de Energía para Fábricas de Azúcar. 2° ed. Bartens. Berlin.

Diez, O.A.; C. Cruz y G.J. Cárdenas. 2011. Optimización energética para la producción simultánea de azúcar y alcohol en Tucumán, R. Argentina. Rev.Ind. y agríc. de Tucumán 88 (2):27-40.

Diez. O. A.; G. Aso.; D. Paz y G. Cárdenas. 1998. Mejoramiento energético de un ingenio mediante reordenamiento de equipos existentes. Rev.Ind. y agríc. de Tucumán 75 (1-2):11-24.

Honig P. 1962. Principios de Tecnología Azucarera. C.E.S.C.A. Nueva York.

Hugot, E. 1986. Manual para ingenieros azucareros. 3° ed., Elsevier Amsterdam.

Lopez, A.O.; D. Paz; O.A. Diez y G.J. Cárdenas. 2000. SIMCE 2.0: nuevo software para el análisis de sistemas de calentamiento, evaporación y cocimientos de la industria azucarera. Rev.Ind. y agríc. de Tucumán 77 (1):89-98.

Mc Cabe, W. 1998. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. 4° ed., Mc Graw Hill, Madrid.

Paz D.; G.J. Cárdenas; O.A. Diez y A.O. Lopez. 2000. Inscripción en Dirección Nacional del Derecho del autor como obra publicada (Nº 105662) del software SIMCE 2.0, especialmente preparado para el análisis, diseño y simulación de sistemas de calentamiento evaporación y cocimiento en la industria azucarera.

Paz D.; R.M. Ruiz; G. Aso y G.J. Cárdenas. 2003. Optimización del balance de vapor de la fábrica cuando se reemplazan los tradicionales molinos por un difusor de caña. Rev.Ind. y agríc. de Tucumán 80 (1-2):11-24.

Peter Rain. 2012. Ingeniería de la caña de azúcar. Berlin, Alemania.

Ruiz. R.M.; D. Paz de Vazquez, G. Cárdenas y G. Aso. 1991. Evaluación térmica experimental de evaporadores. Comparación con resultados obtenidos por simulación digital. Rev.Ind. y agríc. de Tucumán 68 (1-2):149-163.

Ruiz. R.M.; D. Paz de Vazquez, G. Cárdenas y G. Aso. 1992. Análisis de las diferentes alternativas de evaporación de la industia azucarera medinate simulación digital. Rev.Ind. y agríc. de Tucumán 69 (1-2):119-129.

RECUPERACIÓN DE ALCOHOL EN DESTILERIA SEABOARD ZAFRA 2022

Farfán, Marcos. N; Tejerina, Hernan.
Seaboard Energías Renovables y Alimentos. E mail: marcos.farfan@seaboard.com.ar

Introducción

Con la finalidad de lograr un uso más eficiente de las materias primas que se reciben en destilería, y en concordancia con los KPI establecidos por la compañía, se analizaron, llevaron a cabo inversiones y se implementaron controles y procedimientos tanto desde operaciones como en laboratorio, además de esto se fijaron objetivos en determinados parámetros, correspondientes al proceso. Estos objetivos se plantearon tomando como referencia los valores promedio de la zafra 2021.

Objetivo

Realizar un control y seguimiento de los parámetros establecidos comparando los resultados con los obtenidos en la zafra anterior.

Materiales y Métodos

Los parámetros a los cuales se fijaron valores objetivos fueron los siguientes:

1. Recuperación de alcohol en gases producidos en fermentación.
2. Disminución perdida de alcohol por vinaza de equipo 4.
3. Disminución perdida de alcohol por flemaza de deshidratación.
4. Disminución perdida de azucares residuales directos.

1 Recuperación de alcohol en gases producidos en fermentación.

Para realizar la recuperación de alcoholes en los gases de fermentación fue necesaria una inversión para la adquisición de equipamiento correspondiente, el cual consiste en una columna depuradora de gases (scrubber) una bomba y un intercambiador de placas (ver Imagen 1), esta columna está vinculada al colector de gases de los fermentadores y su función es recuperar el alcohol que se pierde por arrastre de gases.

Para la zafra 2022 se propuso un objetivo de recuperación mínimo de 0,8 %.

Imagen 1. Columna depuradora, bomba e intercambiador de placas.

2 Disminución perdida de alcohol por vinaza en equipo 4

Para la zafra 2022 se propuso como objetivo la disminución de las pérdidas de alcohol por vinaza generada en equipo 4, fijando un valor máximo de 0.15 % de alcohol.

Para ello se establece y controla cumplimiento de procedimiento operativo consistente en el monitoreo de temperaturas en columna de mosto y tanque flash de destilación (Imagen 1) este control es realizado por cada operador de turno y controlado por la supervisión, en laboratorio se realiza el muestreo y la determinación de contenido de alcohol en vinaza cada 2 horas.

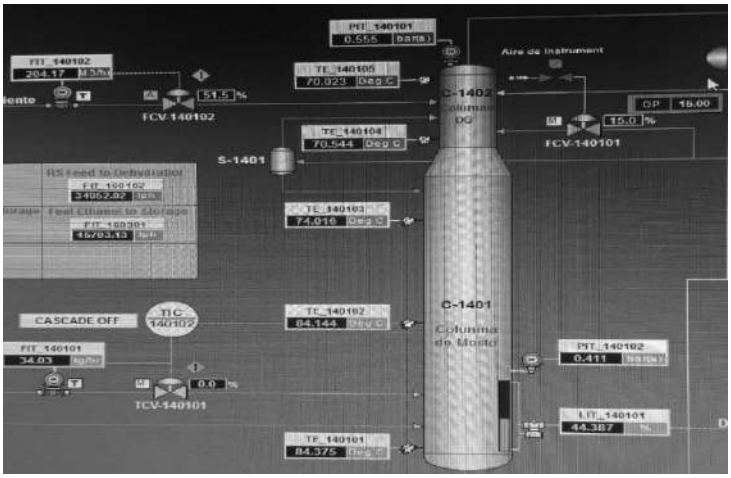


Imagen 1. Parámetros normales de operación en columna de mosto

3 Disminución perdida de alcohol por flemaza de deshidratación.

Para la zafra 2022 se propuso como objetivo la disminución de las pérdidas de alcohol por flemaza de deshidratación generada en equipo 4, fijando un valor máximo de 1.5 % de alcohol.

Para ello se establece y controla cumplimiento de procedimiento operativo consistente en monitoreo de temperatura en columna de regeneración, control de caudal de alimentación y de reflujo, ver en imagen 2. este control es realizado por el operador de turno y controlado por la supervisión, en laboratorio se realiza el muestreo y determinación de contenido alcohólico en forma periódica.

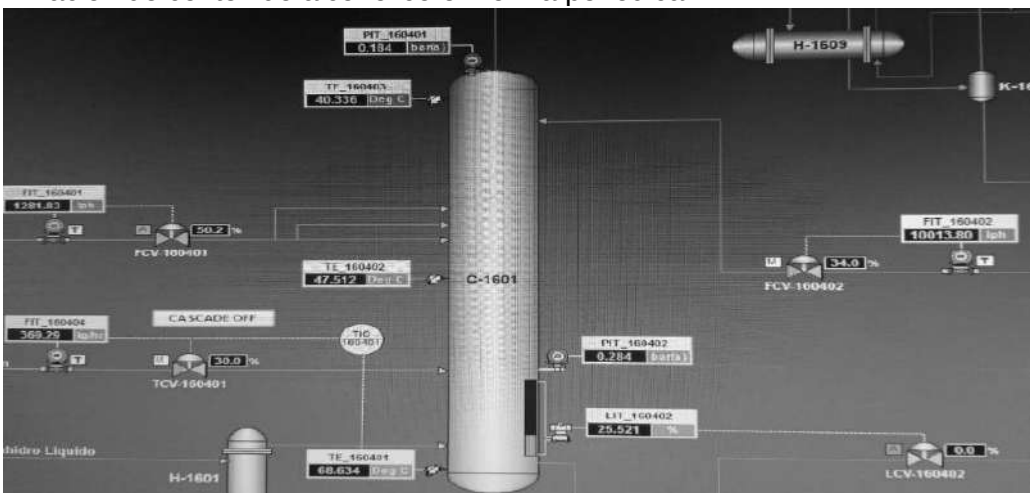


Imagen 2. Parámetros normales de operación en columna de regeneración.

4 Disminución perdida de azucares residuales directos.

Para la zafra 2022 se propuso como objetivo la disminución de las pérdidas por azucares residuales directos determinados en el fermentador final, planteando como valor máximo 0.4%. ver valores en grafico 4.

Para ello se establece y controla cumplimiento de procedimiento operativo consistente en la regulación del brix de alimentación y el tiempo de residencia de acuerdo a los valores de azucares residuales en la última etapa informado por laboratorio cada 2 horas. Este seguimiento fue realizado por los operadores de fermentación y la supervisión.

Ante un incremento de los valores de azucares residuales en etapa final se considera la posibilidad de aumentar tiempo de residencia en la fermentación o disminuir la concentración de azucares en la alimentación de la primera etapa, todo esto de acuerdo a factores como tipo y composición de la materia prima o la actividad celular.

Conclusión y Resultados

Con respecto al Scrubber de fermentación, tenemos los siguientes datos:

Valor recuperación 2021: 0 % (Sin recuperación)

Valor Objetivo Zafra 2022: 0.8 % (de producción diaria)

Promedio hasta día 30/09/2022: 0.86 %

Este equipo comenzó a funcionar el día 14/06 y hasta el día 30/09/2022 con 108 días de funcionamiento lleva recuperando 558 m3 de alcohol (5.12 m3/día) con un promedio de recuperación de 0.86 %. Ver valores la Figura 1.

Si proyectamos hasta final de zafra con este promedio de alcohol recuperado tendremos 860 m3 de alcohol anhidro (contemplando 168 días de operación)

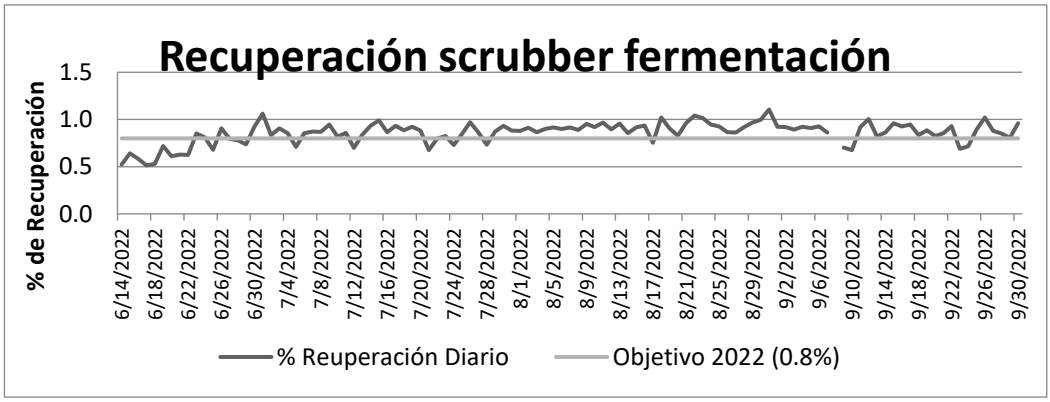


Figura 1. Valores de recuperación de scrubber de fermentación hasta 30/09

Con respecto a la vinaza producida en equipo 4, tenemos un promedio diario de 4675 m3/día. Durante el año 2021 la pérdida promedio de alcohol por vinaza fue de 0.23%. con 177 días de producción y una cantidad total de 101050 m3 de producción de alcohol con equipo 4 se estima una cantidad de vinaza producida de 858925 m3 (alcohol promedio en vino de 11 %) por tanto la perdida de alcohol se estima en 1975 m3.

Hasta el día 30/09 (118 días de producción) llevamos una perdida promedio de 0.044 % de alcohol, con una producción de 60632 m3 de alcohol desde equipo 4, con promedio de 11 % de alcohol se estima una vinaza de 515372 m3, esto representa una cantidad de alcohol perdido de 227 m3. Ver valores en figura 2.

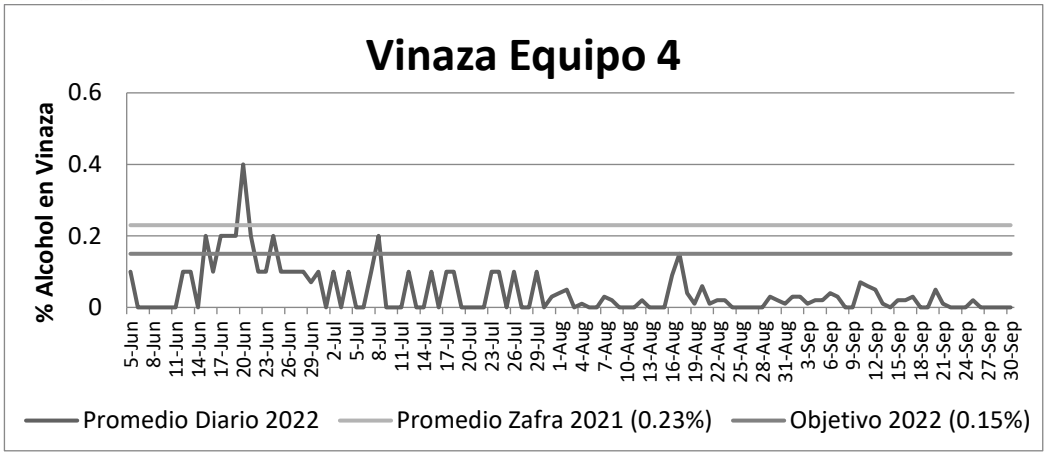


Figura 2. Valores de perdida de alcohol en vinaza de equipo 4 hasta 30/09

Si proyectamos este valor (0.044%) en 177 días para comparar con año 2021, considerando la misma producción de alcohol y similares valores de tenor alcohólico, se perderán 378 m3 de alcohol, una diferencia de 1597 m3 con respecto al año anterior, mientras que con valor objetivo de 0.15 % la diferencia con respecto al 2021 sería de 687 m3

Con respecto a la flemaza de deshidratación, durante el año 2021 la pérdida promedio de alcohol fue de 2.1 %. con 153 días de deshidratación y una cantidad total de 104400 m3 de producción de alcohol para deshidratar, se estima una cantidad de flemaza de deshidratación producida de 4176 m3 por tanto la perdida de alcohol se estima en 88 m3

Hasta el día 30/09 (72 días de deshidratación) llevamos una perdida promedio de 0.19 % de alcohol, con una cantidad de 62262 m3 de alcohol para deshidratar, se estima una flemaza de 2490 m3, esto representa una cantidad de alcohol perdido de 4.7 m3. Ver valores en grafico 3.

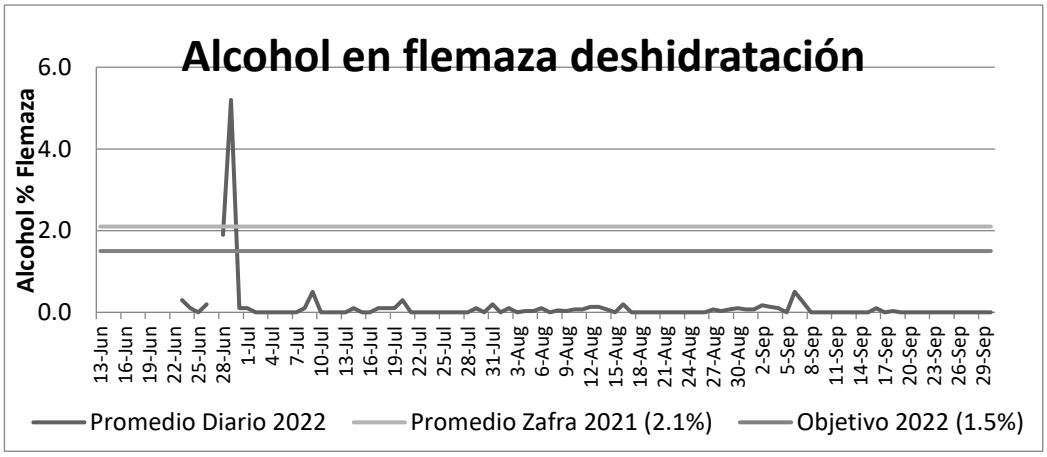


Grafico 3. Valores de perdida de alcohol en flemaza de deshidratación hasta 30/09.

Si proyectamos este valor (0.19%) en 153 días para comparar con año 2021, considerando la misma producción de alcohol se perderán 8 m3 de alcohol, una diferencia de 80 m3 con respecto al año anterior mientras que con valor objetivo de 1.5 % la diferencia con respecto al 2021 sería de 25 m3

Con respecto a los azucares residuales directos en etapa final de fermentación, el promedio diario correspondiente a la zafra 2021 fue de 0.5 %, la cantidad de vino procesado fue de 877500 Tn, esto genera 4387 Tn de AR, lo que equivale a 2843 m3 de alcohol.

Hasta el día 30/09 llevamos una perdida promedio de 0.44 %, ver valores en grafico 4.

Si proyectamos este valor (0.44%) en 177 días para comparar con año 2021, considerando la misma cantidad de vino procesado, se perderán 2502 m3 de alcohol, una diferencia de 341 m3 con respecto al año anterior, mientras que con valor objetivo de 0.40 % la diferencia con respecto al 2021 sería de 569 m3

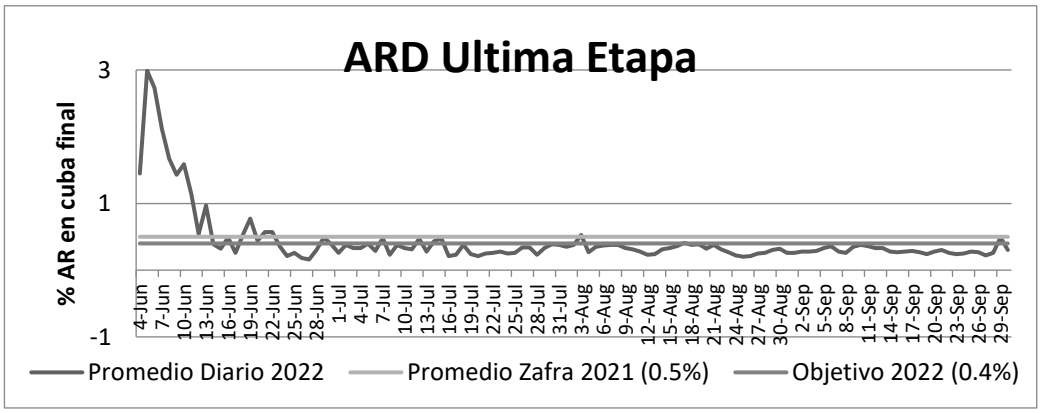


Grafico 4. Valores de azucares residuales directos en fermentador final hasta 30/09.

Hasta el día 30/09 la mayoría de los valores obtenidos de los parámetros en seguimiento están superando los valores objetivos. Esta recuperación de alcohol ha impactado en la eficiencia general de destilería, que al 30/9/22 tiene un valor de promedio de 88.14 % la cual es mayor a la del año 2021 tomando los mismos días de producción (119) la cual era de 87.39 %

En caso de mantenerse los valores promedios de los indicadores en seguimiento, suponiendo la misma cantidad de días de producción (177), de deshidratación (168) podemos proyectar las cantidades de alcohol recuperadas con respecto al 2021, esto se expone en tabla 1.

Tabla 1. Proyección recuperación de alcohol en zafra 2022 respecto a zafra 2021.

Parámetro	Alcohol recuperado (m3)
Recuperación por scrubber de fermentación	860
Recuperación por reducción perdida alcohol en vinaza de equipo 4	1597
Recuperación por reducción perdida alcohol en flemaza de deshidratación.	80
Recuperación por reducción de azucares residuales directos en fermentación.	341

Sumando estos 4 parámetros se obtiene un total recuperado de 2878 m3 de alcohol absoluto con respecto al año 2021, en base a este valor y a la diferencia de eficiencia entre año 2021 y 2022, se puede afirmar que los resultados de los seguimientos de estos parámetros fueron positivos.

DETERMINACIÓNDE LA TASA DE RETORNO ENERGÉTICA DEL RAC ENFARDADO CON FINES ENERGÉTICOS EN TUCUMÁN

Feijóo, E. A.; Salazar, R. A.; Garolera De Nucci, L. P.; Tonatto, M. J. y Ruiz, R. M.

Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres. Av. William Cross 3150 (T4101XAC), Las Talitas, Tucumán, R. Argentina. enriquefeijoo@eeaoc.org.ar

INTRODUCCIÓN

El incremento mundial de la demanda energética, el constante aumento en los precios del petróleo y sus derivados, la falta de descubrimiento de yacimientos convencionales importantes y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) provocadas por el uso de éstos, ha llevado a los países industrializados a promover el desarrollo de tecnologías que permitan el uso de nuevas fuentes de energía renovable (REN21, 2021).

En este marco de demandas energéticas altamente exigentes y con gran dependencia de los combustibles de origen fósil, disponer de recursos renovables es una ventaja estratégica muy importante.

La industria azucarera de Tucumán no es energéticamente autónoma, por lo que poder contar con un combustible derivado del aprovechamiento del cultivo de caña en forma renovable y complementaria al bagazo es de suma importancia. El mismo, podría ser empleado durante la zafra y fuera de ella si fuese necesario continuar con la producción de bioetanol o generación de energía. Su aprovechamiento energético permitiría ahorrar consumos de combustibles de origen fósil que provienen de otras regiones del país y del exterior. De allí la importancia de trabajar en el empleo del residuo agrícola de cosecha (RAC), como biocombustible en calderas para generar energía.

Actualmente la barrera más importante para el uso de este tipo de recursos son los costos energéticos de producción y aprovisionamiento. En ocasiones se debe considerar la dificultad de obtener una garantía de suministro durante un periodo razonable de tiempo. A esto se suma el hecho de que la biomasa recolectada, tiene a menudo características negativas para su uso directo como combustible (como la heterogeneidad en formas y tamaños, la elevada humedad, la baja densidad, etc.) que la hacen poco atractiva. Por este motivo, la transformación de la biomasa en biocombustibles a un precio competitivo es uno de los grandes retos para conseguir los objetivos planteados en cuanto a la utilización de esta fuente de energía renovable.

Palabras claves: RAC, Tasa de Retorno Energético (TRE), Bioenergía.

OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es determinar la tasa de retorno energético del sistema logístico de obtención, recolección, enfardado, transporte y acondicionamiento del RAC para ser utilizado como biocombustible en calderas bagaceras de ingenios de Tucumán, en reemplazo del combustible fósil tradicional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Existe un indicador de gran utilidad conocido como Tasa de Retorno Energético (TRE), cuyo concepto comenzó a definirse décadas atrás por Cleveland *et al*. y Hall *et al*. (Murphy, 2010). La TRE plantea que dada una determinada fuente de energía, su TRE es la relación

entre la energía obtenida de una fuente de energía y la energía invertida en su producción. Esto queda expresado en la ecuación 1:

$$TRE = \frac{E_{obtenida}}{E_{invertida}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Un cociente menor o igual que 1 en la TRE indica que la energía obtenida de la fuente es menor o igual a la energía invertida. Por el contrario, un cociente mayor que 1 indica que la energía obtenida es mayor que la energía invertida y queda, en consecuencia, un saldo neto positivo para ser aprovechado. Este valor debe ser lo más grande posible, dado que su magnitud determinará la viabilidad energética del combustible evaluado.

Un problema fundamental de la TRE es calcular el denominador del cociente expresado en la ecuación 1, algo difícil y que tras décadas de estudios no se ha conseguido uniformizar. La prueba es la enorme dispersión de los valores de TRE reportados por la bibliografía científica.

Evaluar la TRE del RAC de caña de azúcar enfardado en las condiciones de la provincia de Tucumán requiere la determinación de la energía aprovechable de este combustible (al numerador de la ecuación 1, Eobtenida) y los consumos energéticos implicados en su producción (denominador de la ecuación 1, Einvertida).

La publicación de Feijóo (2015) y el trabajo final de la carrera de Especialización en Ingeniería Bioenergética del mismo autor (Feijóo, 2018) dan cuenta de la caracterización físico-química del RAC de Tucumán, donde fue estimado el Poder Calorífico Inferior (PCI) para un contenido de cenizas de 11,39% y 15% de humedad. Dicho valor de PCI es el que fue considerado como la cantidad de energía que sale del sistema, que corresponde al numerador de la TRE, Eobtenida, lo cual queda expresado por la ecuación 2:

$$\mathbf{E_{obtenida}\ [kJ/kg] = PCI\ RAC\ [kJ/kg]} \quad \text{Ecuación 2}$$

Para el cálculo del denominador de la TRE del RAC de Tucumán se tuvieron en cuenta los consumos directos de energía debido al transporte y al tratamiento de la biomasa (estimados en MJ/t RAC), los consumos de energía inherentes a la maquinaria agrícola, incluyendo la energía consumida en la fabricación de materias primas (acero y neumáticos), el mantenimiento y las reparaciones a lo largo de la vida útil de las máquinas, al que denominaremos Ω (Pimentel, 1980), y el uso de energía cuantificado para la obtención del RAC (que llamaremos S). Este último fue tomado de un trabajo previo (Tonatto, 2021).

Para determinar el consumo de energía en las diferentes etapas consideradas en la alternativa logística de enfardado, se estimó el consumo de gasoil por tonelada de RAC seco para cada operación anteriormente descripta, desde que el RAC queda dispuesto en el campo hasta la entrada al ingenio. Una vez hecho esto se multiplicó el consumo total por el poder calorífico inferior del gasoil de modo de poder finalmente obtener el uso energético de las etapas de manipulación y disposición en fábrica del RAC, correspondiente a una parte del denominador de la TRE que se calculó en este trabajo.

La demanda de energía para la fabricación de maquinaria y vehículos agrícolas, Ω, tiene en cuenta la energía incorporada (EE) o asociada a las materias primas (acero y neumáticos), la energía necesaria para la fabricación (ME), y la energía proveniente de los repuestos y el

mantenimiento de la maquinaria durante su vida útil ER&M (Pimentel, 1980). En primer lugar, para calcular la energía incorporada, es necesario conocer el peso de la maquinaria y el porcentaje del mismo equivalente a los neumáticos. El peso de la maquinaria es multiplicado por los coeficientes 62,80 o 85,83 MJ/kg, dependiendo del porcentaje de su peso en acero o en llantas. El cálculo de EE se puede resumir con la ecuación 3:

$$\mathbf{EE = (85{,}83 * W_{neumaticos} + 62{,}80 * W_{acero}) \ [MJ/kg]} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde: $W_{neumaticos}$ = peso de los neumáticos [kg]
W_{acero} = peso del acero [kg]

La cantidad de energía necesaria para la fabricación de equipos (ME), se calculó utilizando la ecuación 4, a partir del peso de la maquinaria y del coeficiente apropiado para su clase (ver Tabla 1):

$$\mathbf{ME = e_W * (W_{acero} + W_{neumaticos}) \ [MJ/kg]} \quad \text{Ecuación 4}$$

Tabla 1. Fabricación de coeficientes energéticos e_W (Pimentel, 1980).

Tipo de recurso	e_W (MJ/kg)
Tractores	14,63
Podadoras, esparcidoras de fertilizante y equipos de manipulación	7,38
Enfardadoras y todo el equipamiento que necesita un tractor para su funcionamiento	6,28

La energía necesaria para las piezas y mantenimiento (ER&M) se calculó con la ecuación 5, utilizando la energía incorporada en los repuestos (EE), la energía necesaria para la fabricación de equipos (ME), y el Factor de Reparación Total Acumulada (TAR) (ver tabla 2). Como el factor TAR representa el costo total de reparación y mantenimiento, una tercera parte de esta cantidad se asumió como indicador para la mano de obra y de otros costos de mantenimiento (Pimentel, 1980).

$$\mathbf{E_{R\&M} = [(EE + ME) * TAR] / 3 \ [MJ/kg]} \quad \text{Ecuación 5}$$

Tabla 2. Factores de reparación total acumulada (TAR) (Pimentel, 1980).

Clasificación	TAR (%)
Tractor	74,25
Enfardadora	45,88
Hileradora	75,98
Camiones agrícolas	60,69
Cargadoras frontales	45,88

El consumo total de energía Ω (MJ/t) para la disposición de la caña a la entrada de la planta es, entonces, la suma de todos los componentes antes mencionados (ecuación 6). El consumo de energía para el suministro de RAC considera la energía para la recolección, el

procesamiento, el transporte y la fabricación de maquinarias/vehículos. Se asumió una vida útil de la maquinaria del 82% de su vida total (Pimentel, 1980). La vida útil de las maquinarias/vehículos se adoptó en un valor promedio de 12 años.

$$\Omega = ([0,82 * (EE + ME)] + E_{R\&M}) / y \quad [MJ/t\ RAC] \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde: y = vida útil maquinaria/vehículo [años]

Una vez obtenido el valor de Ω para cada equipo empleado en el enfardado del RAC de Tucumán, se sumaron todos estos valores, obteniéndose lo que llamamos Ω Total. De esta manera se pudo calcular entonces la $E_{invertida}$ empleando la ecuación 7:

$$E_{invertida}\ [MJ/t\ RAC] = S\ [MJ/t\ RAC] + Total\ Gasoil\ consumido\ [l/t\ RAC] * PCI\ Gasoil\ [MJ/l] + \Omega\ Total\ [MJ/t\ RAC] \quad \text{Ecuación 7}$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La $E_{obtenida}$ que utilizamos en este trabajo de tesis, y que corresponde al numerador de la TRE del RAC enfardado, fue la correspondiente al PCI del RAC para un contenido de cenizas de 11,39% y humedad de 15% (Feijóo, 2018), de acuerdo a lo expresado por la ecuación 3:

$$E_{obtenida} = 10.495,07\ [kJ/kg\ RAC]$$

Los resultados de los consumos energéticos involucrados en el cálculo del denominador de la TRE del RAC enfardado en la provincia de Tucumán ($E_{invertida}$, calculada mediante la ecuación 7) son expresados en la tabla 3 a continuación. Cabe destacar aquí que el valor del parámetro S (uso de energía cuantificado para la obtención del RAC) fue valorado de acuerdo a Tonatto *et al.* (2021) en 46,91 MJ/t RAC, utilizando como base el coeficiente de biomasa residual promedio entre variedades de 151 kg RAC/t caña determinado por Romero (2008).

Tabla 3. Consumos energéticos involucrados en el cálculo del denominador de la TRE del RAC.

Entradas	Unidades	Consumo
Energía para obtención del RAC (S)	MJ/t RAC	46,91
Gasoil para hilerado	MJ/t RAC	52,19
Gasoil para enfardado	MJ/t RAC	111,62
Gasoil para carga de fardos	MJ/t RAC	36,24
Gasoil para transporte	MJ/t RAC	28,63
Gasoil para descarga y picado	MJ/t RAC	287,03
Energía por fabricación de maquinaria y mantenimiento (Ω Total)	MJ/t RAC	388,39

Una vez obtenido el valor de Ω Total, y considerando al PCI del gasoil con un valor de 36.240,60 kJ/l, fue posible calcular la $E_{invertida}$ empleando la ecuación 7:

$$E_{invertida} = 951,00[MJ/t\ RAC]$$

Con los valores de E obtenida y E invertida ya definidos fue posible calcular el valor de la TRE del RAC enfardado en Tucumán:

TRE RAC Enfardado = 11,04 [MJ/MJ]

CONCLUSIONES

Este estudio se ha realizado aplicando el concepto de tasa de retorno energético (TRE), pudiendo confirmar que la misma es un importante indicador de sustentabilidad.

La TRE del RAC enfardado de Tucumán ha resultado en un valor superior a 8, el cual es considerado como valor umbral, y a partir del cual las fuentes de energía son consideradas atractivas para su aprovechamiento desde el punto de vista energético.

El valor de TRE obtenido permite afirmar que el aprovechamiento del RAC con fines bioenergéticos contribuye a mejorar la sustentabilidad global del sistema productivo del sector sucroalcoholero, pudiendo generar además nuevos esquemas productivos y puestos de trabajo con destacables beneficios sociales.

Finalmente, es importante exponer que este análisis proporciona una base de datos para continuar con estudios sobre distintas estrategias de explotación energética de este tipo de residuos agrícolas así como diferentes tipo de análisis que permitan optimizar los procesos llevados a cabo y, en consecuencia, mejorar los valores de TRE obtenidos en el presente trabajo, mejorando la eficiencia y la sustentabilidad del sistema planteado.

BIBLIOGRAFÍA

Feijóo, E. A.; Golato, M.A.; Franck Colombres F. J., Paz D. y Cárdenas G. J..(2015). Características energéticas de los residuos agrícolas de la cosecha en verde de caña de azúcar de Tucumán. Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán. Tomo 92 (2): 23-32.

Feijóo, E. A. (2018). Análisis de diferentes opciones logísticas para el uso de los residuos agrícolas de la caña de azúcar con fines energéticos en la provincia de Tucumán. Trabajo Final de la Especialización en Ingeniería Bioenergética.

Pimentel, D. (1980). Handbook of Energy Utilization in Agriculture.New York State College of Agriculture and Life Sciences.Cornell University. Ithaca, New York.

Murphy, D. J. y Charles A. S. Hall. 2010. Year in review—EROI or energy return on (energy) invested. Ann. N.Y. Acad. Sci., 1185, 102–118.

Tonatto M. J., Garolera De Nucci, L. P., Feijóo E. A., Romero E. R. y Ruiz M. 2021. APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO Y SUSTENTABILIDAD DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA PROVINCIA DE TUCUMÁN (ARGENTINA). Proceedings of the IX Int. Conference of Life Cycle Assessment (CILCA 2021). (Eds. R. Piastrellini et al.), Virtual Meeting, Buenos Aires, Argentina, May 31 to June 4, 2021. Exp. Oral.

ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE LAS TEMPERATURAS DE FUSIÓN DE CENIZAS DE BAGAZO Y DE RESIDUOS DE COSECHA DE LA CAÑA DE AZÚCAR (RAC) DE TUCUMÁN, ARGENTINA EN FUNCIÓN DE SUS COMPONENTES ÁCIDOS Y BÁSICOS

Golato, M.A.; Gutierrez, C. E.; Zamora Rueda, G. del H.; Kamiya, N. y Paz, D.
mgolato@eeaoc.org.ar

RESUMEN

El presente trabajo brinda información sobre las características de la fusibilidad de las cenizas de bagazo y de los residuos de cosecha de caña de azúcar (RAC), en función de sus componentes elementales para un uso eficiente de las mismas en calderas de vapor. Se procesaron 30 muestras de bagazo provenientes de ingenios azucareros y 30 muestras de RAC recolectadas de campos cañeros de la provincia de Tucumán – Argentina, durante las zafras azucareras 2016, 2017, 2018 y 2019. Todas las muestras analizadas correspondían la variedad de caña LCP85-384. Se realizó un estudio la fusibilidad de las cenizas de bagazo y de RAC en función de sus componentes elementales mayoritarios (Fe_2O_3, CaO, MgO, Na_2O, K_2O, SiO_2, Al_2O_3, TiO_2 y SO_3), según ASTM D1865. Se obtuvieron correlaciones para la temperatura de fusión inicial (DT) para diferentes concentraciones de componentes ácidos (CA) y básicos (CB) en cenizas elaboradas a partir de óxidos comerciales puros en proporciones similares a las encontradas en las cenizas de las biomasas originales. En las cenizas de bagazo analizadas se obtuvo en promedio 87,67% de CA y 12,33% de CB, alcanzando una DT mínima de 979 [ºC]. Para el caso del RAC la DT mínima fue de 962 [ºC] para una proporción promedio de 67,62% de CA y 32,38% de CB.

PALABRAS CLAVE: biomasa residual, bioenergía, combustibles para calderas.

INTRODUCCIÓN

Desde un principio, las impurezas que acompañaban a los combustibles fueron responsables del mantenimiento adicional, reducción de la tasa de transferencia de calor y corrosión en los generadores de vapor (Brayers, 1996). La naturaleza y gravedad de la formación de depósitos por ensuciamiento y escoriación de cenizas, fue modificándose a medida que cambiaban los combustibles y sus impurezas. Además, el proceso de generación de vapor fue evolucionando y con ello las calderas de vapor fueron aumentando de tamaño y eficiencia, por lo que se necesitó mejores materiales y mayores controles en los servicios de suministro de agua y combustible, con el objetivo de guardar integridad y aumentar la vida útil de los equipos.

La norma ASTM D-1857 es un método de evaluación predictivo tradicional y son la base de las técnicas tradicionales de predicción del comportamiento de las cenizas (ASTM, 2010). No obstante, es necesario realizar experiencias prácticas adicionales para establecer la relación exacta de estas pruebas de fusibilidad con la composición química real del combustible que se quema en el hogar de una caldera.

El proceso de formación de los residuos inorgánicos depende principalmente del tipo de combustible, temperatura de la partícula, composición, tamaño, forma, tipo de atmósfera, etc. (Chong *et al.* 2019). Las propiedades físicas resultantes de las cenizas, generalmente establecen si se adherirán a las superficies de transferencia de calor. Además, la aerodinámica del horno puede desempeñar un papel en el proceso de deposición de estos residuos, independientemente del tipo de calentamiento que se esté produciendo (Niu *et al.* 2016).

OBJETIVO

Realizar un estudio de la variación de la fusibilidad de las cenizas de biomasas combustibles utilizadas en calderas de vapor de la industria azucarera de Tucumán en función de su composición química para obtener correlaciones entre la temperatura de fusión inicial (DT) y diferentes concentraciones de sus elementos mayoritarios ácidos (CA) y básicos (CB).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se procesaron 30 muestras de bagazo provenientes de ingenios azucareros y 30 muestras de RAC recolectadas de campos cañeros de la provincia de Tucumán – Argentina, durante las zafras azucareras 2016, 2017, 2018 y 2019. Todas las muestras analizadas correspondían a la variedad de caña LCP85-384.

En el Laboratorio de Metales de la Sección Química de los Productos Agroindustriales de la Estación Experimental Agroindustrial (EEAOC), se determinaron los metales mayoritarios (Al, Ca, Fe, Mg, K, Si, Na y Ti) en las muestras de bagazo y RAC, mediante la técnica de espectrometría de absorción atómica (EAA) y de emisión atómica (EEA). Para ello, se efectuaron digestiones de las cenizas por vía seca (cenizas carbonatadas) y por vía húmeda (en medio ácido). Los cálculos de los contenidos de óxidos conformes a los metales mencionados, se realizaron según la estequiometria de las reacciones de oxidación de los metales, siguiendo lo indicado por Golato, 2021.

En el presente estudio se consideró que cada muestra de ceniza (CZ), se encuentra constituida por componentes básicos (CB) y componentes ácidos (CA), según la Ec. 1.

$$100\%\ CZ = (\%CB|cz + \%CA|cz + \%Otros|cz) \quad \text{Ec. 1}$$

Dónde:
%CB|cz: porcentaje de CB en la muestra de ceniza original, definido como:
$\%CB|cz = \sum (\%Fe_2O_3 + \%CaO + \%MgO + \%Na_2O + \%K_2O + \%P_2O_5)$
%CA|cz: porcentaje de CA en la muestra de ceniza original, definido como:
$\%CA|cz = \sum (\%Al_2O_3 + \%SiO_2 + \%TiO_2)$
%Otros|cz: porcentaje de indeterminados en la muestra original.

Asimismo, con el objetivo de eliminar la influencia numérica del porcentaje de elementos indeterminados de la muestra de ceniza original (%Otros|cz), se corrigieron las proporciones de los óxidos correspondientes en relación a la masa total de los mismos por medio de la Ec.2.

$$\%Óxido|_{corr.} = \frac{\%Óxido}{(100 - \%Otros|cz)} \quad \text{Ec.2}$$

De esta manera la Ec.1 quedó definida como indica la Ec.3:

$$CZ|_{corr.} = (\%CB|cz_{corr.} + \%CA|cz_{corr.}) = 100\% \quad \text{Ec. 3}$$

Por otro lado, para evaluar la dependencia de las concentraciones de los óxidos mayoritarios sobre la fusibilidad de las cenizas, se realizó una formulación de muestras ficticias (sintéticas), compuestas por óxidos comerciales puros, conservando iguales proporciones de los elementos de CB y de CA, en relación a las proporciones reales encontradas en las cenizas de bagazo y RAC.

Es importante indicar que para la muestra 100% $M1|_{Sint}$ se consideró las cantidades (en masa) corregidas de CA reales existentes en las cenizas de las biomasas analizadas ($\%CA|cz_{corr.}$), según Ec.4. De igual modo, para la muestra 100% $M11|_{Sint}$, se consideró las cantidades de CB reales existentes en las cenizas ($\%CB|cz_{corr.}$), según Ec.5.

$$gCA|cz_{corr.} = (gSiO_2 + gAl_2O_3 + gTiO_2) \quad \text{Ec.4}$$

$$gCB|cz_{corr.} = (gFe_2O_3 + gCaO + gMgO + gNa_2O + gK_2O + gP_2O_5) \quad \text{Ec.5}$$

La Tabla 1 muestra el detalle de las mezclas sintéticas para obtener una variación representativa que considere todas las posibilidades de concentración de óxidos. Para ello, se formularon 11 muestras de cenizas sintéticas las cuales luego se les realizó un análisis de fusibilidad en atmósfera oxidante (AO) y en atmósfera reductora (AR), según ASTM D1857.

Tabla 1. Variación de la composición de CA y CB en mezclas sintéticas de cenizas de biomasas. Elaboración propia.

Mezcla	Composición de la mezcla
100% M1$\|_{Sint}$	100% CA$\|_{Sint}$
100% M2$\|_{Sint}$	90% CA$\|_{Sint}$ + 10% CB$\|_{Sint}$
100% M3$\|_{Sint}$	80% CA$\|_{Sint}$ + 20% CB$\|_{Sint}$
100% M4$\|_{Sint}$	70% CA$\|_{Sint}$ + 30% CB$\|_{Sint}$
100% M5$\|_{Sint}$	60% CA$\|_{Sint}$ + 40% CB$\|_{Sint}$
100% M6$\|_{Sint}$	50% CA$\|_{Sint}$ + 50% CB$\|_{Sint}$
100% M7$\|_{Sint}$	40% CA$\|_{Sint}$ + 60% CB$\|_{Sint}$
100% M8$\|_{Sint}$	30% CA$\|_{Sint}$ + 70% CB$\|_{Sint}$
100% M9$\|_{Sint}$	20% CA$\|_{Sint}$ + 80% CB$\|_{Sint}$
100% M10$\|_{Sint}$	10% CA$\|_{Sint}$ + 90% CB$\|_{Sint}$
100% M11$\|_{Sint}$	100% CB$\|_{Sint}$

Posteriormente se realizó una correlación entre las temperaturas de fusión y las diferentes concentraciones de %CA y %CB de las cenizas sintéticas formuladas. Para ello, se consideró como temperatura crítica la correspondiente a la de inicio de la fusión (DT) y se graficó la variación de la misma en función de las concentraciones de %CB para las mezclas consideradas. Para encontrar la correlación entre la composición química de las cenizas sintéticas y las correspondientes temperaturas DT, se utilizó un análisis de dispersión de los datos y se graficaron las curvas de tendencia que mejor se correspondían con el mayor coeficiente de correlación (R^2), para ello se utilizó una planilla de cálculo Excel v.2010.

Las determinaciones de la fusibilidad de las cenizas se realizaron en el Laboratorio de Ensayos y Mediciones Industriales (LEMI), de la EEAOC. Para ello, se utilizó un analizador marca LECO, modelo 701.

RESULTADOS

En las Figuras 1 y 2 pueden verse los resultados de la concentración de los óxidos mayoritarios encontrados en cenizas de bagazo y RAC de caña de azúcar de Tucumán, Argentina. Estos resultados se encuentran en igual orden de magnitud a los observados en bibliografía (Chambon *et al.* 2018; Miles *et al.* 1995 y Da Silva Reis y Fungaro, 2010).

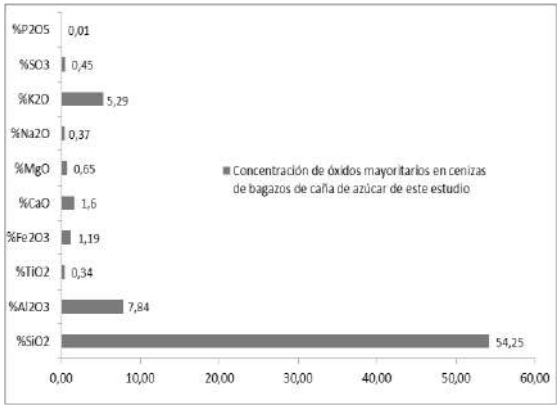


Figura 1. Concentración de óxidos mayoritarios en cenizas de bagazo de caña de azúcar de Tucumán, Argentina.

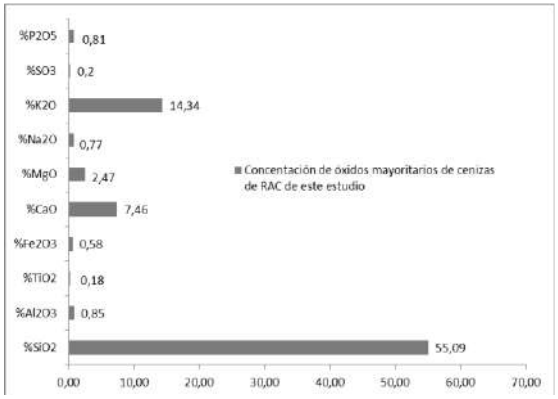


Figura 2. Concentración de óxidos mayoritarios en cenizas de RAC de caña de azúcar de Tucumán, Argentina.

La Figura 3 muestra las correlaciones encontradas entre las temperaturas DT y la cantidad de %CB en cenizas sintéticas de bagazo de caña de azúcar, trabajando en AO y AR. Si consideramos la concentración total promedio de %CB encontrado en las cenizas de bagazo de este estudio (12,33%), interceptando la curva correspondiente a la AR encontraríamos de manera aproximada la temperatura de inicio de fusión DT que para el bagazo en estudio sería de 979 [ºC] como se indica en la figura. Asimismo, la temperatura

DT trabajando en AO sería de 1069 [ºC]. En este caso la amplitud máxima de fusibilidad por cambio en la atmósfera ($DT_{Bzo-AO} - DT_{Bzo-AR}$), resultaría de 90 [ºC].

La Figura 4 muestra las curvas de correlación para el RAC de caña de azúcar trabajando en AO y AR. Si consideramos al igual que en el caso anterior, el %CB promedio en cenizas del RAC de este estudio (32,38%), se encontraría con ayuda del gráfico de manera aproximada las temperaturas DT en AO y en AR, las cuales serían: 1.088 [ºC] y 962 [ºC], respectivamente. La amplitud máxima de fusibilidad por cambio en la atmósfera ($DT_{RAC-AO} - DT_{RAC-AR}$), resultaría de 126 [ºC] para la composición química determinada en las cenizas.

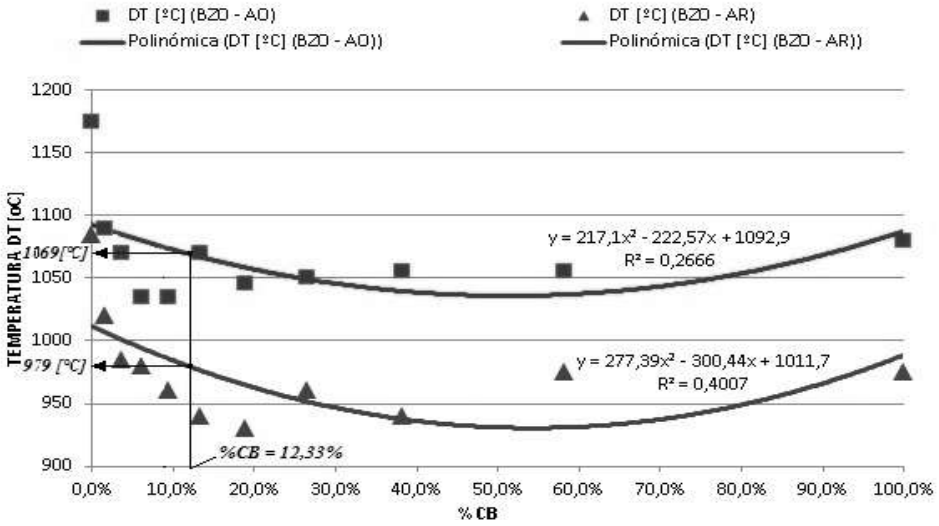


Figura 3. *Variación de DT para cenizas sintéticas de bagazo de Tucumán-Argentina en función de %CB para AO y AR. Elaboración propia.*

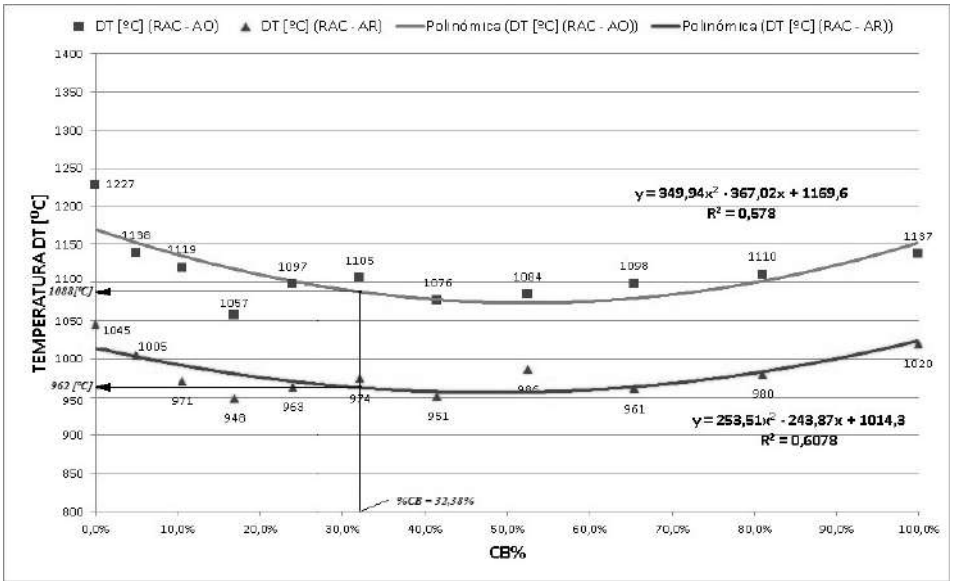


Figura 4. Variación de DT para cenizas sintéticas de RAC de Tucumán-Argentina en función de %CB para AO y AR. Elaboración propia.

Estos resultados muestran en promedio una mayor amplitud de fusibilidad para las cenizas de RAC de nuestra región en relación al bagazo (126 [ºC] vs. 90 [ºC]). Esto indicaría en principio que ante un cambio de atmósfera en el interior del hogar de una caldera, el RAC en estudio tendría un mejor comportamiento frente al bagazo. No obstante, para la

composición química encontrada en el RAC, la DT promedio resultó menor en comparación con la DT del bagazo (962 [ºC] vs. 979 [ºC], respectivamente), lo que implicaría para el RAC un riesgo de inicio de fusión en esas condiciones.

CONCLUSIONES

El RAC de caña de azúcar posee un mayor rango de amplitud de fusibilidad de sus cenizas en relación al bagazo (126 [ºC] vs 90 [ºC], respectivamente), cuando el combustible trabaja entre atmósferas oxidantes (con exceso de aire) y reductoras (con deficiencia de oxígeno). Si se considera a la temperatura de DT como temperatura crítica, el RAC de caña de azúcar resultaría más flexible a los cambios de atmósfera en el interior del hogar de una caldera de vapor. No obstante, debido al mayor contenido de %CB en sus cenizas (32,38%) en relación al bagazo (12,33%), alcanzaría primero el estado inicial de fusión de las mismas. Asimismo, el bagazo de la caña de azúcar tendría una mayor probabilidad de alcanzar temperaturas críticas respecto al RAC para iguales concentraciones de %CB. Por consiguiente, resultaría conveniente desde este punto de vista, utilizar mezclas de bagazo y RAC para atenuar el bajo nivel de fusibilidad del bagazo en similares condiciones de concentración de óxidos.

Se han encontrado correlaciones cuadráticas entre las temperaturas DT para cenizas de bagazo y de RAC de caña de azúcar, en función de las concentraciones de %CB que las constituyen. Con estas correlaciones se determinaron las proporciones críticas de CA y CB con las cuales se alcanzaron las mínimas temperaturas de inicio de fusión ($DT_{mín.}$) en AR. Para bagazo se obtuvo una $DT_{mín.}$ de 979 [ºC], con un porcentaje de CA de 87,67% y de CB de 12,33%. Para el caso del RAC la $DT_{mín.}$ fue de 962 [ºC] para un porcentaje de CA de 67,62% y CB de 32,38%.

BIBLIOGRAFÍA

ASTM D1857-04. 2010. Standard Test Method for Fusibility of Coal and Coke Ash. American Society for Testing and Materials (ASTM). 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959. USA.

Bryers, R. W., 1996. Fireside slagging, fouling, and high-temperature corrosion of heat-transfer surface due to impurities in steam-raising fuels. Progress in Energy and Combustion Science, Volume 22, Issue 1, 1996: pp 29-120. Disponible en: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0360128595000127.

Chambon, C. L., T. Y. Mkhize, P. Reddy, A. Brandt-Talbot, N. Deenadayalu, P. S. Fennell y J. P. Hallett. 2018. Pretreatment of South African sugarcane bagasse using a low-cost protic ionic liquid: a comparison of whole, depithed, fibrous and pith bagasse fractions. Biotechnol Biofuels 11:247. Disponible en: https://biotechnologyforbiofuels.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/s13068-018-1247-0.pdf

Chong H., J. Bai, A. Ilyushechkin, H. Zhao, L. Kong, H. Li, Z. Bai, Z. y Guo, W. Li, 2019. Effect of chemical composition on the fusion behaviour of synthetic high-iron coal ash. Fuel (253): pp. 1465-1472. ISSN 0016-2361, Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.05.135.

Da Silva Reis, T. V. y D. A. Fungaro. 2010. Termoquímica de palha de cana-de-açúcar. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN). Disponible en: https://www.ipen.br/biblioteca/2010/resumos/16173.pdf

Golato, M. A.; G. Zamora Rueda; C. Gutierrez; M. G. Mistretta; D. Paz; M. Ruíz. 2021. Características de la fusibilidad de cenizas de bagazo y de residuos de cosecha de caña de azúcar (RAC) de Tucumán - Argentina. Revista industrial y agrícola de Tucumán. Tomo 98 (2): 21-27.

Miles, T. R.; T. R. Miles Jr; L. L. Baxter; R. W. Bryers; B. M. Jenkins y L.L. Oden. 1995. Alkali deposits found in biomass power plants. National Renewable Energy Laboratory, US Department of Energy. Disponible en: https://www.nrel.gov/docs/legosti/fy96/8142v1.pdf

Niu, Y.; H. Tan y S. Hui. 2016. Ash-related issues during biomass combustion: Alkali-induced slagging, silicate melt-induced slagging (ash fusion), agglomeration, corrosion, ash utilization, and related countermeasures. Progress in Energy and Combustion Science 52 (2016) 1–61. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.pecs.2015.09.003

BITRENES: NUEVA OPCIÓN PARA EL TRANSPORTE DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL

Gómez, C. A.; Cárdenas, G. J., Garolera De Nucci, L. P. y Tonatto, J.

Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres. Av. William Cross 3150 (T4101XAC), Las Talitas, Tucumán, R. Argentina. cagomez@eeaoc.org.ar

Palabras claves: Bitren, industria sucroalcoholera.

INTRODUCCIÓN

En un país de gran extensión como la Argentina, la logística en el comercio de bienes y servicios juega un papel importante para lograr un transporte de mercaderías más eficiente, no sólo en términos de costos monetarios sino también de tiempos de traslado. Actualmente, el medio de transporte de mercaderías preponderante es el terrestre a través de camiones, concentrando el 95% de las cargas generales. En esto se diferencia de otros países extensos, como es el caso de Canadá, donde el camión representa el 31% del transporte de cargas (Ministerio de Transporte, 2019).

La última innovación en materia de transporte terrestre de cargas pesadas es el bitren, una alternativa eficiente con gran potencialidad para la reducción de costos, contaminación y menor erosión de las rutas transitadas. Fueron diseñados con la premisa de transportar mayor cantidad de carga en el mismo viaje sin perder velocidad y seguridad. El bitren es un vehículo modular consistente en un tractor primario y dos semirremolques enganchados entre sí por un acople tipo “B” conocido como la quinta rueda. El tipo de articulación “B” influye fuertemente en la estabilidad y control del vehículo. Los ejes tándem dobles o triples pueden variar su posición según el tipo de carga que tengan que transportar, pues además del peso bruto total hay que cuidar el peso por eje. El largo de los bitrenes puede variar, según el país, entre 19 y 30 metros de largo, con pesos entre 53 y 75 toneladas brutas, y hasta 8,5 toneladas por eje.

El bitren es un vehículo altamente utilizado desde hace más de dos décadas en países como Australia, Nueva Zelanda, Estados Unidos, Canadá y Sudáfrica; y diversos países europeos como Suecia y Holanda. En Australia su uso ha sido tan beneficioso en términos de seguridad y productividad que se ha aprobado el tránsito de Bitrenes triples. Brasil, Uruguay y Paraguay también han autorizado su uso (Efrón, 2012).

En Argentina ya se han realizado pruebas de circulación de bitrenes, particularmente en la provincia de San Luis, donde actualmente están autorizados a circular. Por su parte, el Ministerio de Transporte, a través de Vialidad Nacional, habilitó 1073 nuevos kilómetros de red vial nacional para la circulación de bitrenes largos (de hasta 25,5 metros), que se suman a los 15.000 que ya habían sido habilitados a mediados del año pasado. Los nuevos corredores habilitados incluyen tramos estratégicos, entre los que se destacan las rutas nacionales (RN) 36, la RN 7 entre Mendoza y San Luis, la circunvalación a la ciudad de Rosario, la RN 3 entre Rada Tilly y Caleta Olivia, RN14 entre Paso de los Libres y la frontera brasileña, entre otras.

Con esta nueva configuración de transporte “bitrenes”, tanto los fabricantes de camiones como los fabricantes de remolques, consideran que con su implementación, se logrará un avance tecnológico y una alternativa para la reducción de los costos de logística. Todos los sistemas serán compatibles entre sí, es decir, el sistema de electrónica del camión se conectaría perfectamente con el del remolque. Además, dentro de la legislación argentina está previsto un certificado de homologación para circular. Se

espera un paulatino crecimiento de este tipo de vehículos en las rutas argentinas porque aumenta la seguridad, ahorra combustible, emplea sensores de control de frenos electrónico (EBS), suspensión neumática para un menor daño del asfalto, compatibilidad de la quinta rueda (altura, ángulo, radio de giro) y anclaje en función del peso a transportar, control de estabilidad electrónico (ESP) que no permite que el semirremolque vuelque, control de peso por cada eje y sensores de inclinación. Dichos factores tecnológicos posibilitan que los bitrenes se conviertan en una opción de transporte del futuro en general y de caña de azúcar en particular.

Diversos estudios evalúan diferentes aspectos relacionados a los impactos económicos generados por cambios en los pesos y dimensiones máximas permitidas para la circulación de estos vehículos de carga. En este sentido, los cambios en los patrones de tránsito en las carreteras relacionados con la sustitución modal y el tránsito inducido, provocaría la reducción de costos de transporte por el aumento de los pesos y dimensiones permitidas. También se destaca el impacto sobre los puentes y sus costos de construcción, mantenimiento y conservación de las carreteras provocado por el sobrepeso de vehículos. Otro aspecto importante es el impacto ambiental considerando la polución del aire, efecto invernadero, contaminación acústica y otros, el impacto en la seguridad vial, el impacto sobre los costos de transporte de cargas y el impacto sobre el producto bruto de una región utilizando métodos insumo - producto.

La iniciativa de llevar adelante este trabajo fue motivada por un trabajo basado en el estudio de uso de energía (Tonatto et al., 2022) y análisis del ciclo de vida de la cadena productiva de caña de azúcar y su industrialización (Garolera De Nucci, 2016) realizado en la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). En los mismos, se estimó el perfil ambiental de la producción de bioetanol de caña de azúcar y se cuantificó la energía en la producción de caña, respectivamente. Los resultados mostraron que el mayor impacto ambiental está presente en las operaciones agrícolas tanto en las plantaciones manuales (PM) como mecanizadas (Mec) debido al elevado consumo de combustible fósil (diesel), el cual representa un 62% del total del consumo de combustible de las distintas operaciones de campo.

OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es analizar una nueva opción para el transporte de caña de azúcar denominada Bitren, describiendo sus ventajas y oportunidades para mejorar el consumo de combustible diesel del actual sistema de transporte de caña de azúcar en Tucumán.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para estudiar las opciones de transporte de caña de azúcar para este trabajo, se procedió a realizar un relevamiento en un ingenio representativo de la provincia. En el mismo se observaron las siguientes configuraciones:

Opción N1: Camión (220 – 350 HP) + Semirremolque (8m) + Acoplado (9m).
Opción N2: Tractor Agrícola + 2 Acoplados (9m x Acoplad.).
Opción N3: Tractor Agrícola + 4 Acoplados (4,6 m x Acoplad.).

El relevamiento efectuado permitió detectar que la Opción N1, representó la configuración más empleada. Al no existir datos del volumen de carga [m3] de esta opción, se procedió a cubicar el semirremolque y su acoplado, y así calcular el volumen total para dicha alternativa. El Volumen Total fue 101,66 m3 (Tabla 1).

Tabla 1. Volumen de carga, Opción N1.

Modelo		Semiacoplado	Acoplado
Ford Cargo 1722	Largo [m]	8,00	9,00
	Ancho [m]	2,60	2,60
	Alto [m]	2,30	2,30
	Volumen [m3]	47,84	53,82
	Volumen Total [m3]		101,66

Con el número de identificación de los camiones ingresados a la balanza coincidentes con la Opción N1 se obtuvo información del sector balanza y pesaje, con respecto a las variables Peso Bruto y Peso neto. Dando como resultado un Peso bruto de 59.640 [Kg] (descontando el peso de tara 19.940 [Kg]) y peso neto de 39.700 [Kgs] neto de caña con trash (material no molible vegetal o mineral, que acompaña a los tallos maduros aptos para la molienda.).

En función de las mediciones experimentales indicadas, se estableció una densidad promedio para la caña de azúcar de 390 [Kg/m3] correspondiente a la variedad LCP - 384 cosechada en verde. Con este valor determinó la potencialidad de incorporar esta nueva opción de transporte.

A partir de la revisión bibliográfica (Ministerio de Transporte, 2019), se identificaron las configuraciones autorizadas de escalabilidad (incremento del Peso Bruto Total (PBT) para el transporte de carga) de las actuales unidades de transporte y de las configuraciones disponibles para los bitrenes. Se observaron 4 configuraciones posibles de bitrenes, cuyas diferencias más significativas están determinadas por el número de ejes, largo 22,40 < L < 30,25 y peso máximo de 60 – 75 t. Cabe destacar que a partir del Decreto Nacional 32/2018, es posible aumentar la altura máxima de dichos vehículos de 4,10 a 4,30 metros. A continuación se define el nuevo sistema de transporte de caña propuesto, denominado “Bitren Cañero” (BC).

Opción BC: Camión 450 HP + Semirremolque 13 m + Semirremolque 13 m

El cálculo de volumen fue determinado a partir de los datos de fichas técnicas enviadas por la empresa RMB SATECI S.A.C, pudiendo calcular un volumen de carga total de 169,0 [m3], como se indica en la Tabla 2.

Tabla 2: Cálculo del volumen total de la Opción Bitren Cañero

Tipo		Semirremolque 1	Semirremolque 2
Camiones Pesados	Largo [m]	13,00	13,00
	Ancho [m]	2,60	2,60
	Alto [m]	2,50	2,50
	Volumen [m3]	84,50	84,50
	Volumen Total x 2 Semirremolque [m3]		169,00

Teniendo en cuenta la densidad de carga de la caña de azúcar (390 Kg/m3), se determinó el Peso Neto de carga en 66 toneladas. También se cuantificó el consumo total de diesel, consumo específico, consumo energético, incremento de capacidad de carga y % de ahorro de combustible.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 3 muestra las variables que se compararon en opciones de transporte: Opción N1 y Opción BC en análisis.

Tabla 3: Comparación de los sistemas de transporte (Opción Nº1 - Opción Bitren Cañero).

	Opción Nº1	Opción Bitren Cañero
	Camión + Semirremolque (8m) + Acoplado (9m)	Bitren Cañero (13 m x Semirremolque)
Peso Bruto Maximo (t)	**57,9**	**75**
Longitud Total (m)	**20,50 - 25,00**	**25,25 - 30,25**
Peso por eje (t/ejes)	**10,5**	**8,5**
Volumen (m3)	**101,66**	**169,00**
Densidad de carga (kg/m3)	**0,3905**	**0,3905**
Peso Neto (t)	**39,7**	**66,00**
Incremento de capacidad de carga / Respecto a la Opción Nº1 (t)	**-**	**26,30**
Incremento de capacidad de carga / Respecto a la Opción Nº1 (%)	**-**	**66**
Velocidad media (km/h)	**30**	**80**
Distancia recorrida (km)	**40**	**40**
distancia x litros (km/l)	**2,8**	**3,5**
Consumo especifico (l/km)	**0,36**	**0,29**
Consumo total de Gasoil (l)	**14,29**	**11,43**
Consumo especifico (l/T caña*km)	**0,0090**	**0,0044**
Consumo Energético (Kcal / Tcaña*Km)	**79,79**	**39,03**
% Ahorro de Combustible / Respecto a la Opción Nº1	**-**	**51**

Del análisis comparativo surge que el “incremento de capacidad de carga [t]” es 26,30 t, es decir, 66 % respecto del Peso Neto transportado de la Opción Nº1.

El “Consumo Específico [L/T caña*Km]” de la Opción BC, es 0.0044 [L/t caña*Km], valor menor que el consumo especifico de la Opción Nº1.

Por otra parte, los resultados que se obtuvieron de los consumos energético, fueron muy favorable para la Opción BC, siendo la que demostró obtener el menor valor de consumo energético (39,03 Kcal/t caña*km) en relación a la opción de comparación (Opción Nº1).

En relación al “Ahorro de Combustible”, la Opción BC, representaría el 51 % del ahorro de combustible diesel para el sector de transporte de caña. Dicho porcentaje es una notable ventaja económica debido a los elevados costos que debe afrontar esta operación de logística y transporte de caña de azúcar.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos indican que la Opción BC con respeto a la Opción N1 presenta un incremento en la cantidad de carga del 66%, un consumo específico [L/T caña*Km]” menor, disminuye en forma importante el consumo de energía del transporte de caña, (lo que redundará en menos costos para la industria sucro-alcoholera), y

aportaría un 51% al ahorro de combustible diesel para la operaciónn de transporte de caña, disminuyendo además un porcentaje semejante de la huella de carbono para esa etapa del proceso global de producciónn sucro-alcoholera.

Con respecto a la situación actual de esta nueva opción o configuración de transporte “bitrenes”, tanto los fabricantes de camiones como los fabricantes de remolques, consideran que con su implementación, en el sector de transporte se logrará un avance tecnológico y una alternativa para la reducción de los costos de logística.

Bibliografía

1. Tonatto, M. Javier; Garolera De Nucci, L.Patricia; Casen, Sergio; Ruiz, Marcelo; Romero, Eduardo R. 2022. Uso de energía para la producción de caña de azúcar en la provincia de Tucumán (Argentina). Rev. Ind. Agríc. de Tucumán 99 (2).

2. Garolera De Nucci, L. P. (2016). Análisis de ciclo de vida de la producción de bioetanol en Tucumán. Trabajo final integrador de la Especialización en Ingeniería Bioenergética. Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.

3. Ministerio de Transporte (Argentina). 2019. Más de 1000 kilómetros nuevos de rutas se suman a la red nacional de bitrenes. [En línea] Disponible en https://www.argentina.gob.ar/noticias/mas-de-1000-kilometros-nuevos-de-rutas-se-suman-la-red-nacional-de-bitrenes. (consultado Octubre 24 2022)

4. Efrón, A. 2012. Los Vehículos Combinados de Carga de Alto Rendimiento. Revista Concepto Logístico (revista oficial de la Asociación Argentina de Logística Empresaria - ARLOG) [En línea] 3, 7-21. Disponible en https://conceptologistico.com/03/CL03.pdf (consultado Noviembre 3 2022).

CARACTERIZACIÓN DE AGUA DE LAVADO Y CENIZAS DE GASES DE CHIMENEAS DE INGENIOS DE TUCUMÁN, ARGENTINA

Gutierrez, C. E.; Zalazar, H. C.; Morales, W. D.; Golato, M. A. y Ruiz, M.
Laboratorio de Ensayos y Mediciones Industriales (LEMI). Sección Ingeniería y Proyectos Agroindustriales. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). C.P. 4101- Las Talitas- Tucumán. www.eeaoc.org.ar - Tel. 0381-4521000 e-mail: cgutierrez@eeaoc.org.ar

RESUMEN

Se evaluaron cuatro parámetros de la calidad del aguade una corriente corrosiva y potencialmente contaminante, como es el agua de los filtros lavadores de gases de combustión (“Scrubbers”) de calderas bagaceras de la industria azucarera de Tucumán, con el fin de caracterizar el efluente y realizar un seguimiento de la corrosión y de la eficiencia de funcionamiento de estos equipos, por medio de mediciones simples y económicas, como son la cantidad de sólidos sedimentables (SS), sólidos totales (ST), la conductividad eléctrica (CE) y el pH, en el agua de entrada y de salida de los equipos de filtrado. Además, se caracterizó las cenizas contenidas en las aguas de salida mediante caracterización física, análisis inmediato, caracterización energética y fusibilidad de cenizas. Se muestrearon 26lavadores de gases durante la zafra 2022, obteniéndose en el agua de entrada un promedio en los SS de 8,74 [mL/L], en los ST de 0,04 [g/L]; y en la salida un promedio en los SS de 98,58 [mL/L] y en los ST de 0,19 [g/L]. La CE promedio en la entrada de 2,24 [mS/cm] y a la salida de 2,71 [mS/cm]; el pH promedio en la entrada fue de 7,44 y en la salida del efluente de 8,09. Los resultados promedio de la caracterización física fueron: Densidad aparente (DA) 324,0 [Kg/m^3]; del análisis inmediato: sólidos volátiles (SV) 15,23%; carbono fijo (CF) 11,92% y cenizas (CZ) 72,81%; poder calorífico superior (PCS) 4.881 [kJ/kg] y la temperatura inicial de fusibilidad de cenizas (TD), tanto en atmósfera oxidante como en reductora, fueron 1.045°C y 1.021°C, respectivamente.

Palabras clave: scrubber, análisis inmediato, bagazo.

INTRODUCCION

Las cenizas de bagazo de caña de azúcar son uno de los residuos sólidos que se producen en la industria azucarera. Estas provienen de la combustión del bagazo después de la extracción del jugo de caña. El bagazo se utiliza como combustible en calderas de cogeneración para la producción de vapor utilizado en la fabricación de azúcar y electricidad. Las cenizas de bagazo poseen dos fracciones identificables, la que se deposita en el fondo de las calderas, recolectada directamente desde la parrilla del hogar y la ceniza volante, que es arrastrada por los gases que salen a la atmósfera por la chimenea, previo filtrado de las partículas por medio de un lavador de gases (Jijo and Kasinatha Pandian, 2017; Golato *et.al*, 2012).

En el mercado existe una gran diversidad de sistemas de limpieza de gases de chimenea destinados a reducir las emisiones de contaminantes a la atmósfera. El equipo de limpieza de gases por vía húmeda conocido como “Scrubber”, ha sido la alternativa preferentemente seleccionada por las fábricas azucareras del noroeste argentino. Esta inclinación guarda sintonía con el hecho de tratarse de equipamiento de concepción técnica simple, con bajo costo relativo de inversión y un grado de eficiencia de remoción de las partículas sólidas adecuado, para atender a la reglamentación vigente. A estas ventajas, se deben sumar sus reducidos costos de operación y mantenimiento (Aso *et al.,* 2009).

El efluente resultante del lavado de los gases de chimenea de una caldera bagacera puede contener materiales contaminantes provenientes de la captación de partículas sólidas arrastradas por los gases de escape (cenizas, combustible sin quemar, etc.), y materiales de la disolución del sistema lavador en sí mismo, posibles productos de reacción y/o aditivos químicos, lo que inviabiliza su liberación directa al ambiente (ANA, 2009).

El agua utilizada en los lavadores de gases, para la retención de partículas, puede provenir de cursos de agua cercanos, agua de recirculación o mezcla de ambas.

Normalmente, el agua de lavado se mantiene en circuito cerrado, requiriendo decantación o flotación del material suspendido. La identificación de una elevada concentración de SS, en el agua de alimentación de un "scrubber", podría prevenir la obstrucción parcial o total de las boquillas aspersoras, condición que dificulta el ingreso del agua en el interior de los lavadores, lo que provocaría un aumento de las emisiones de partículas por chimenea (Aso *et al.*, 2009).

OBJETIVOS

El presente trabajo tiene como objetivo conocer los parámetros de calidad del agua de lavado de gases de los "Scrubbers" instalados en ingenios de Tucumán.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las determinaciones fueron llevadas a cabo en el Laboratorio de Ensayos y Mediciones Industriales (LEMI), perteneciente a Sección Ingeniería y Proyectos Agroindustriales, de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC).

Durante la zafra 2022 se tomaron 52 muestras de agua de lavado de gases, provenientes de 26 "Scrubbers" instalados en chimeneas de calderas bagaceras de ingenios azucareros de Tucumán. Estas muestras fueron tomadas en la entrada y en la salida de cada "Scrubber". Las muestras líquidas fueron analizadas determinándose los SS, ST, CE y pH. Luego de una posterior evaporación total de la fase liquida a 105°C, en estufa marca ORL con circulación forzada de aire, se obtuvieron cenizas a las que se les realizó una caracterización física mediante análisis de granulometría y DA; análisis inmediato mediante análisis termogravimétrico; caracterización energética mediante determinación de PCS y análisis de fusibilidad de CZ.

Para evaluar las características de las aguas provenientes de los filtros lavadores se utilizaron los métodos 2540-B y 2540-F del Standar Methods For The Examination Of Water And Wastewater 23 RD EDITION (APHA, 2017), para aguas superficiales, de lluvias, subterráneas, residuales domésticas e industriales. Para la determinación de ST se utilizó el método 2540-B, "Método de prueba para la determinación de sólidos totales", donde una muestra bien mezclada se evapora en un plato pesado y se seca hasta peso constante en un estufa a 105 °C. El aumento de peso sobre el del plato vacío representa los sólidos totales. Para la determinación de SS se utilizó el método 2540-F, "Método de prueba para la determinación de sólidos sedimentables". Éste método evalúa la cantidad de SS en un litro de muestra a los 120 minutos de iniciada la sedimentación, utilizando conos de "Imhoff". Ésta determinación, durante los primeros 60 minutos se realizó a intervalos de 5 minutos; el periodo posterior hasta alcanzar los 120 minutos se realizó en intervalos de 10 minutos.

La determinación de pH se realizó con un medidor de pH marca Jenco, modelo 6251, con un rango de determinación de 1 – 14 pH a 25ºC. El procedimiento para realizar la determinación de pH en las cenizas está basado en la norma ISO 10523:2008, "Método de ensayo para calidad del agua y determinación del pH", método aplicable para agua potable, natural, tratada, residual, salina y residual tratada. Para medir la CE de las aguas recolectadas se utilizó un medidor portátil Sper Scientific, modelo 850038, con un rango de determinación de 0 - 19,99 mS/cm. La determinación de CE está basada en la norma Norma ISO 7888-1985, "Método de prueba para Calidad del agua, determinación de la conductividad eléctrica". La determinación del pH y CE en el laboratorio se realizó a 26ºC, pero el efluente del "scrubber" se encontraba a una mayor temperatura al momento de la toma de muestra.El análisis del tamaño de partícula de las cenizas, "Dp", está basado en la Norma ASTM C136-01, "Método estándar de ensayo para análisis por tamizado de agregados fino y grueso". Para efectuar la determinación se colocó una muestra seca y pesada en un equipo vibrador Zonytest, donde se agitó el conjunto de tamices de manera mecánica durante 15 minutos tras lo cual se procedió al pesado del material retenido en cada uno de los tamices, registrando sus masas. Se utilizaron 8 tamices con luz de malla: Nº 10 (2,00 mm); 16 (1,18 mm), 18 (1,00mm), 20 (0,850 mm), 30 (0,600 mm); 50 (0,300 mm); 100 (0,150 mm) y 200 (0,075 mm) conforme a la norma ASTM E11-95. La determinación de

DA en las muestras de cenizas se realizó de acuerdo a la norma ASTM D 2854-09 modificada, “Método de prueba para densidad aparente del carbón activado”, donde la masa de las cenizas se divide por el volumen total que ocupan.

Para el análisis termogravimétrico, se determinó SV, CF y CZ. Se utilizó un equipo analizador termogravimétrico marca LECO, modelo TGA701, el cual emplea la metodología ASTM D 5142-02 modificada. Para la determinación del PCS, se utilizó la metodología indicada en la norma ASTM D 2015-96.Se usó un calorímetro de Oxígeno modelo 1224, marca PARR, llevando a cabo una combustión en atmósfera de oxígeno seco, usando1,0 g de masa de muestra sólida en base seca.

El análisis de fusibilidad de cenizas se realizó con un equipo analizador con sistema de reconocimiento de imágenes, marca LECO, modelo AF700, siguiendo la metodolоgía ASTM D 1857-03, que identifica cuatro temperaturas: la inicial de deformación (TD), de ablandamiento (TS), de semiesfera (TH) y de fluidización (TF), para dos atmósferas diferentes: oxidante (CO_2 y O_2) y reductora (CO_2 y CO).

RESULTADOS

La Tabla 1 muestra los resultados de las determinaciones realizadas en las muestras de agua provenientes de los “Scrubbers”. Además, se observa el análisis estadístico realizado para el lote de muestras ensayadas, con sus respectivos coeficientes de variación % CV.

Tabla1: Parámetros promedio de la calidad del agua de “Scrubber” de ingenios azucareros de Tucumán.

Ensayo	pH [u.pH]		CE [mS/cm]		SS [mL/L] (120 min)		ST [g/L]	
Muestra	**Entrada**	**Salida**	**Entrada**	**Salida**	**Entrada**	**Salida**	**Entrada**	**Salida**
Promedio	7,44	8,09	2,24	2,71	8,74	98,58	0,04	0,19
Min	4,86	5,20	0,20	0,89	0,10	16,00	0,00	0,02
Max	8,53	9,28	4,98	5,71	78,00	257,50	0,44	0,71
% CV	1,97	0,73	0,11	0,11	0,73	0,57	2,14	1,07

En la Figura 1 se muestra el contenido de SS del agua de entrada a los *“Scrubbers”* para el lote de muestras ensayadas, indicándose el valor promedio SS Entrada alcanzado.

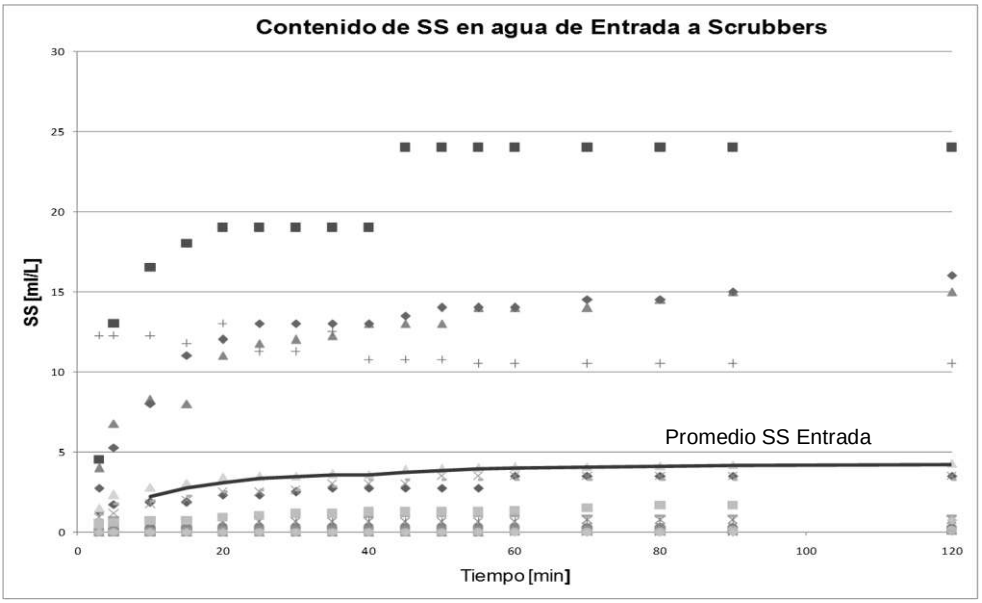


Figura 1: Contenido de SS en agua de Entrada al “Scrubber” de ingenios azucareros de Tucumán.

En la Figura 2 se presenta el contenido de SS del agua de salida a los *"Scrubbers"* para el lote de muestras ensayadas, indicándose el valor promedio SS Salida alcanzado.

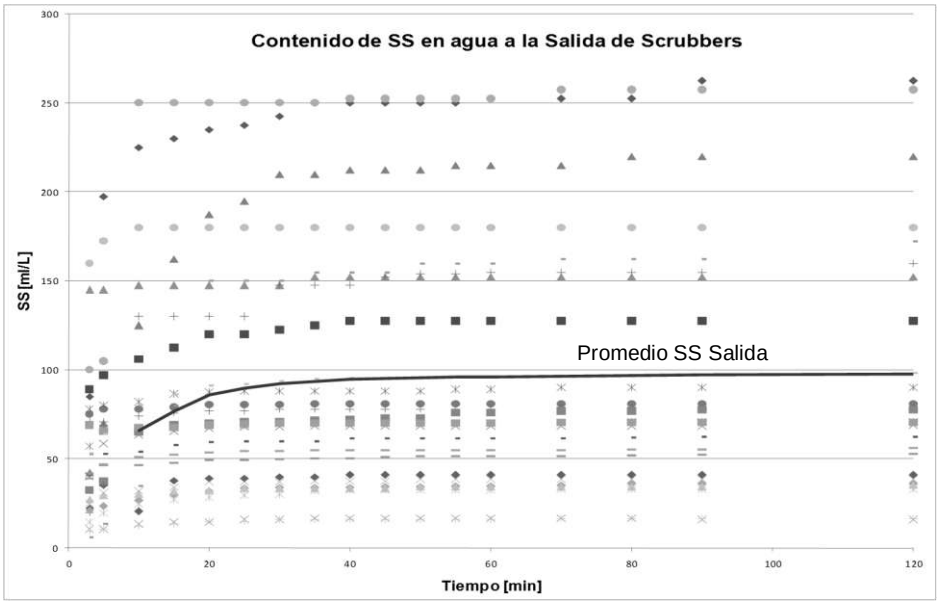


Figura 2: Contenido de SS en agua de Salida al "Scrubber" de ingenios azucareros de Tucumán.

En la Tabla 2se observan los valores promedio de la caracterización física, del análisis inmediato y de la caracterización energética de las cenizas obtenidas a la salida en los filtros lavadores estudiados.Además, se observa el análisis estadístico realizado para el lote de muestras ensayadas.

Tabla2. Valores promedio de la caracterización física, análisis inmediato y caracterización energética, determinados en las cenizas de los "Scrubbers" estudiados en Tucumán.

Ensayo	DA [Kg/m^3]	Dp [mm]	SV [%]	CF [%]	CZ[%]	PCS [KJ/Kg]
Promedio	324,0	0,26	15,23	11,92	72,81	4.881
Rango	220,0 – 560,0	0,13 – 0,37	3,48 – 77,58	0,15 – 53,96	11,87 – 93,34	106 – 23.189
% CV	0,26	0,19	0,85	0,97	0,25	0,92

La Tabla 3 muestra los resultados del análisis de fusibilidad de las cenizas recuperadas del lavado de gases, realizadas en atmósferas oxidante y reductora. Al mismo tiempo se observa el análisis estadístico realizado para las muestras ensayadas.

Tabla 3: Resultados de las temperaturas de fusibilidad de cenizas en atmósfera oxidante y reductora del material recuperado del agua de lavado de gases estudiados en Tucumán, Argentina.

Ensayo	ATMÓSFERA OXIDANTE				ATMÓSFERA REDUCTORA			
	TD [°C]	TS [°C]	TH [°C]	TF [°C]	TD [°C]	TS [°C]	TH [°C]	TF [°C]
Promedio	1.045	1.262	1.402	>1.500	1.021	1.270	1.402	>1.500
Rango	845-1.145	990-1.500	1.110- 1.500	-	735-1.195	905-1.405	1.145-1.500	-
% CV	0,13	0,10	0,07	-	0,07	0,09	0,07	-

CONCLUSIONES

Se observó un incremento de 8,03% entre el valor promedio de pH a la entrada respecto al de salida de los "Scrubbers", lo que podría deberse a la solubilización de compuestos de carácter alcalino en el agua de lavado de gases a la salida. La CE promedio

fue de 2,71 [mS/cm], mayor con respecto al valor de entrada de 2,24 [mS/cm]. Esto indicaría un posible incremento en la concentración de sales, las que podrían provenir de la dilución de iones presentes en el material retenido por el filtro húmedo.

Los valores promedios de SS a la entrada y salida fueron, 8,74 y 98,58 [mL/L], respectivamente. Así mismo los valores promedios de ST fueron de 0,04 y 0,19 [g/L]. Las determinaciones de SS y ST medidos tanto en el agua de entrada como en la salida de los "Scrubbers" podrían brindar de manera efectiva un parámetro de funcionamiento de estos equipos, no obstante, se observa una gran variabilidad en los valores medidos. Esto podría deberse a la disparidad de las condiciones operativas y del diseño de estos equipos de filtrado. Sin embargo, este trabajo sirve de línea de base y marca las tendencias de los parámetros aquí analizados.

Se encontró que el tiempo de sedimentación de los SS, tanto de la entrada como de la salida para alcanzar un valor constante fue a partir de los 100 minutos desde el comienzo de la sedimentación. Estos resultados permitirían determinar la velocidad de sedimentación, parámetro requerido para el diseño de un equipo decantador.

Los parámetros termogravimétricos, energéticos y de fusibilidad de cenizas del material recuperado del agua de lavado de gases fueron en promedio de: CZ=72,81%; SV=15,23%; CF=11,92% y PCS=4.881[kJ/kg]. El contenido de material inorgánico presente en las cenizas influye en forma negativa en el PCS. Estos resultados tienen tendencias parecidas a los informados por Diez *et. al,* 2010. La temperatura inicial de fusibilidad de las cenizas, fue de 1.045°C para atmósfera oxidante y 1.021°C para atmósfera reductora. Este hecho podría deberse a la presencia de elevadas concentraciones de metales u otras sales en la constitución de las cenizas que posteriormente se oxidan durante la combustión formando sales de elevado punto de fusión (Golato *et al*., 2021).

El PCS que tiene el material recuperado es bajo, debido a la elevada concentración de CZ, por lo que sería difícil de aprovecharlo energéticamente. No obstante, se recomienda evaluar el contenido de inorgánicos para estudiar un posible uso como mortero.

BIBLIOGRAFÍA

Agencia Nacional de Aguas [ANA]. 2009. Manual de conservación y reúso del agua en la agroindustria sucro-energética. Federación de Industrias del Estado de San Pablo; Sindicato de la industria de la caña de azúcar; Centro de tecnología de la caña de azúcar. Brasilia, Brasil. pp:107-204.

American Public Health Association [APHA]. 2017. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23 RD EDITION. ISBN 978-087553-287-5.

Aso G.; Golato M.; Morales W.2009. Lavador de gases de combustión en la industria azucarera: incidencia del mantenimiento en su eficiencia operativa. Rev. Avance Agroind. 30 (3): 35-38.

Diez, O. A., Cárdenas, G. J. y Mentz, L. F. 2010. Poder calorífico superior de bagazo, médula y sus mezclas, provenientes de la caña de azúcar de Tucumán, R. Argentina. Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán 87 (1): 29-38. Págs.: 29 – 38.

Golato, M. A., Morales, W. D., Mendez, H. S., Feijoo, E. A. y Paz, D. 2012. Monitoreo de emisiones de material particulado de chimeneas de generadores de vapor de la industria azucarera en Tucumán, R. Argentina. Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán 89 (1). Págs.: 11-19.

Golato, M., Zamora Rueda, G., Gutierrez, C., Mistretta, G., Paz, D. y Ruiz, M. 2021. Características de la fusibilidad de cenizas de bagazo y de residuos de cosecha de caña de azúcar (RAC) de Tucumán – Argentina. Rev. Ind. Y Agríc. de Tucumán 98 (2). Págs.: 21 – 27.

Jijo J. and Kasinatha Pandian, P. 2017. A Short Review on the Valorisation of Sugarcane Bagasse Ash in the Manufacture of Stabilized/Sintered Earth Blocks and Tiles. Advances in Materials Science and Engineering. 2017. Disponible en: https://doi.org/10.1155/2017/1706893

MOLINO 22. AJUSTE Y TRIANGULACIÓN DE MOLINOS.

Peluffo Silvio

silviopeluffo@arnet.com.ar

Palabras Clave: Trapiche, Software Trapiche, Mill Setting

Introducción

El ajuste, reglaje o setting de los molinos de un trapiche para caña de azúcar, consiste en la determinación de las aberturas de trabajo entre la maza superior y las mazas inferiores de entrada y salida, la maza de presión o press roller, y la posición de la bagacera. Los métodos utilizados hasta el presente son básicamente empíricos, obtenidos a partir de la experiencia de cada fabricante de trapiches, como Fulton, Farrel, Fletcher, Empral, y otros, más la contribución de investigadores como Hugot, Crawford, Noel Derr, Payne, Murry, Russell, Rein, entre los más conocidos.

En un trapiche de caña de azúcar se obtendrá la máxima extracción, sólo cuando las aberturas de alimentación y descarga hayan sido determinadas correctamente. El problema es encontrarlas. Lamentablemente esa configuración no se puede resolver completamente con las matemáticas; “es un arte más que una ciencia”, según Hugot, pero los cálculos pueden ayudarnos considerablemente.

Un avance significativo fue el aporte realizado por los investigadores de la Universidad de Queensland, desarrollando un modelo matemático, a partir un conjunto de ecuaciones semi empíricas, que describen con bastante exactitud el proceso de molienda da la caña de azúcar, obtenidas experimentalmente en planta piloto y en ingenios azucareros de la región. A partir de esas ecuaciones es posible obtener un balance de masa y energía, y de esa simulación, ajustar los parámetros operativos del trapiche optimizándolos, incluyendo las aberturas de trabajo de las mazas y bagacera.

Objetivos

Dada la complejidad de obtener, a partir del desarrollo de un Modelo Matemático, resultados prácticos del ajuste de un Trapiche, se ha simplificado la tarea en base a conceptos técnicos experimentales y resultados operativos de investigadores, ingenieros de procesos y operadores de trapiches en distintas fábricas, para lograr un conjunto de ecuaciones semi empíricas también, sencillas, que permiten ajustar el trapiche con un alto grado de efectividad, y lograr resultados ampliamente satisfactorios. Sin embargo, el trabajo puede resultar más complejo, cuando ajustamos un trapiche con varios cilindros de diversas medidas, e inclusive molinos de diferentes diseños y tamaños.

El objetivo de este trabajo es desarrollar, a partir de las ecuaciones obtenidas y utilizadas en la práctica, un software que facilite la tarea del técnico a cargo del cálculo, mantenimiento y operación del trapiche. Esto incluye también el dimensionamiento de la bagacera y su posición en cada molino. La tarea de armado del trapiche, se simplifica, al posicionar las mazas usadas y nuevas, en el molino de manera más conveniente.

Hasta el presente, los diversos programas o software existentes, efectúan los cálculos básicamente en una planilla tipo Excel, mostrando los resultados sobre un gráfico ilustrativo estático, que no permite visualizar la posición relativa exacta entre las mazas y bagacera, en cada una de las pruebas modificando valores. Esto se consigue finalmente entregando los resultados a la Oficina Técnica, donde se dibuja, utilizando softwares comerciales conocidos, como Autocad, SolidWorks, y otros, el conjunto de cilindros con sus medidas y el ajuste entre la mazas, para trazar finalmente la bagacera, aplicando alguna de las técnicas disponibles y adoptada por el responsable del diseño.

Molino 22, es un software interactivo, desarrollado en lenguaje Visual Studio .NET, que

permite crear una interfaz gráfica, donde se dibuja programáticamente, todos los elementos necesarios para el desarrollo del proyecto, con dimensiones a escala, a partir de los datos introducidos en una grilla de cálculo, en la cual también se muestran los resultados obtenidos

Materiales y métodos

Teoría de la Molienda: Un modelo simple.

El trabajo de un molino es básicamente un proceso volumétrico. Si consideramos solamente un par de cilindros, la rotación de los mismos con una abertura determinada, modifican el volumen inicial de bagazo que es alimentado, a un volumen menor por el jugo extraído, el cual depende de la abertura, diámetro de los cilindros, longitud de los mismos y la velocidad periférica. Este volumen se conoce como Volumen Descrito (Vd), y es el volumen virtual que se desarrolla cuando giran ambas mazas.

$$Vd = L*S*Vm \qquad (1)$$

L= Longitud de las mazas.
S= Abertura de las mazas.
Vm= Velocidad periférica media de las mazas.

El bagazo a la salida del molino no conserva el volumen generado por la rotación de los cilindros, Vd, sino que sufre una expansión violenta al liberarse de la presión intensa ejercida por éstos, lo cual provoca una succión del jugo que está drenando, y lo reincorpora. Este fenómeno se conoce como ***Reabsorción***.

Factor de Reabsorción K

Este se define como:

$$K = Vb/Vd \qquad (2)$$

Vb = Volumen real de bagazo más jugo que sale de molienda.
Vd = Volumen Descrito o virtual, generado por la rotación de los cilindros.

Este volumen Vb, siempre es mayor que el Volumen Descrito Vd, por lo que K > 1.

Índice de Fibra o Compactación I

Es la relación entre la velocidad de la fibra Qf en kg/min con el Volumen Descrito por los rodillos Vd en m^3/min.

$$I = Qf/Vd. \qquad (3)$$

O sea que se trata de la densidad aparente de la fibra medida en kg/m^3. La compactación es un fenómeno creciente entre el primer molino y el último. Trabajos realizados por Noel Deerr en Java (1926), dieron como resultado un gráfico relacionando el Índice de Fibra o Compactación y el porcentual de Fibra en el Bagazo. Este gráfico original en unidades inglesas *Fig. 1*, se ha modificado para mostrar algunas unidades internacionales.

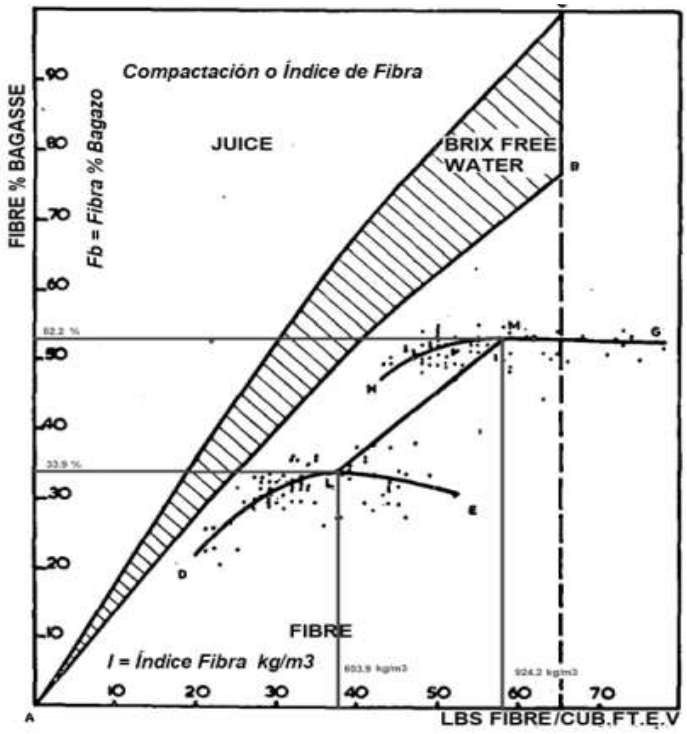


Figura 1: Noel Deerr. Java (1926)

Según el gráfico convertido, la compactación es creciente del primer molino al último, y del mismo podemos extrapolar para el conjunto, trazando una recta entre Fibra %Bagazo= 33.9 y Compactación=603.9, del primer molino, a 52.2 % y 924.2, usando la parte más recta, para el último molino. La ecuación de la recta planteada sería: ***Fb= a+b*I***

Resolviendo para los valores indicados y considerando que la ordenada al origen ***a*** es muy próxima a cero, quedaría:

$$I = 17.5\ Fb \qquad (4)$$

Cálculo de las aberturas de trabajo de los cilindros

Haciendo un balance de fibra entre las mazas de entrada y de salida, e introduciendo la ecuación (4), con los factores de conversión necesarios se obtiene:

$$1000 * M * (Fc/100) = (St / 1000) * L * I * (Vpe \times 60) \quad 1000 * M * (Fc/100) = (St / 1000) *$$

$$L * 17{,}5 \times Fb \times (Vpe \times 60) \quad St = 9.5*M*Fc / L*Vpe*Fb \qquad (5)$$

St = Abertura de salida en trabajo,(mm).
M = Flujo másico de caña o molienda (ton/h).
Fc = Fibra de la caña de entrada (%).
L = Longitud del cilindro superior (m).
Vpe = Velocidad periférica media entre cilindro superior y de salida (m/min).
I = Índice de compactación de fibras (kg/m³).
Fb = Fibra del bagazo (%).

Esto significa que para el cálculo de la abertura de salida en trabajo, la variable Fb depende de la posición del molino en el tándem, modificando su valor linealmente entre 33.9, para el primer molino y 52.2 para el último, aunque éstos pueden modificarse ligeramente según la experiencia obtenida por los técnicos de cada fábrica azucarera. La Tabla 1, muestra diversos valores propuestos por algunos investigadores.

La velocidad periférica Vpe, se calcula con el promedio de los diámetros primitivos del cilindro superior y el de salida:

$$Vpe = \pi * N * (Dtp + Dsp)/2 \quad (6)$$

Vpe = Velocidad periférica media entre cilindro superior y de salida (m/min).
Dtp = Diámetro Primitivo Cilindro Superior (m).
Dsp = Diámetro Primitivo Cilindro Salida (m).
N = Velocidad (rpm).

Tabla 1: Fibra % Bagazo propuesta por diferentes autores.

Molino 1	Molino 2	Molino 3	Molino 4	Molino 5	Molino 6	Autores
32	41	47	52	55		J.P.SRIVASTAVA
32	40	47	53	55	60	N.S.I.KANPUR
36	41	45	48	50		DELFINI (Max.)
30	35	39	43	45		DELFINI (Min.)
36	40	43	46	48	50	DELFINI (Max.)
30	34	37	40	43	50	DELFINI (Min.)
32	40	45	48	50		Douwes Dekker
30	39	43	46	48	50	Douwes Dekker
32	40	45	48	50		Fletcher Stewart
30	39	43	46	48	50	Fletcher Stewart
28	34	40	46	51	57	Sugartech
30	35	40	45	50		Copersucar
30	34	38	42	46	50	Copersucar

Abertura de Entrada Et

Este valor, para un conjunto de tres mazas, se ha obtenido, simplemente por experiencia, ya que los molinos han modificado su diseño desde el clásico de tres mazas, pasando por el de cuatro mazas, muy usado actualmente, y los especiales de cinco o seis cilindros.

Por lo tanto se define la Abertura de Entrada en trabajo, Et, como el producto de la Relación de Trabajo, Ratio, por la Abertura de Salida St :

$$Et = Ratio * St \quad (7)$$

La Relación de Trabajo (Ratio), depende también del molino que se ajusta, y de la experiencia de los técnicos que diseñan y operan el trapiche, y puede variar desde 2.2 para el primer molino hasta 1.85 para los restantes. Otros prefieren una variación en sentido ascendente: 1.8 en el primero y 2.0, para los demás. Esta decisión depende de las condiciones operativas del molino, fundamentalmente por la presión aplicada en los cabezales hidráulicos,

la cual también depende de la capacidad mecánica del cilindro superior y del accionamiento del molino.

Aberturas del Rolo de Presión o Press-Roller Pt

La abertura del rolo de presión, Pt, también resulta de la experiencia obtenida por diversos autores y técnicos, y se define multiplicando por un valor constante a la abertura de salida en trabajo.

$$Pt = 5*St \quad (8)$$

Aberturas en Reposo

Normalmente para la determinación del ajuste de un molino, es necesario fijar un valor medio de flotación del cilindro superior, es decir que la abertura de salida calculada, y el valor de entrada respectivo, definen una posición del cilindro superior en operación para una determinada presión de trabajo. O sea, el cilindro superior se levanta por encima de su posición de reposo, dependiendo también de la velocidad, para mantener esa altura o flotación asegurando que el bagazo recibe la presión fijada por diseño, para lograr la mejor extracción del jugo. Cuando el molino no se encuentra en operación, el cilindro superior baja hasta la posición denominada de reposo. Obtener los valores de las aberturas de reposo, sirve para la operación de armado del molino, lo cual se verá posteriormente como *Triangulación del Molino*.

Cuando el cilindro está en operación, o sea flotando, con las aberturas de diseño, y baja al detener su marcha, geométricamente se modifican de manera diferente las aberturas de entrada y salida, en un molino convencional de cabezales rectos, incrementándose para un molino de cabezales hidráulicos inclinados, normalmente 15°. La solución puede ser sencilla, si calculamos las aberturas en reposo adjudicando un valor constante, o se aplica un cálculo geométrico, lo cual es lo correcto, pero resulta un cálculo manual más complejo. La diferencia es poco significativa, sobre todo teniendo en cuenta que se produciría un error mínimo frente al error propio de la metodología general de cálculo.

Ab. Entrada en trabajo: $Et = Ratio*St$

Ab. Entrada en reposo: $Er = Et - 7$ mm (flotación Flo= 12 mm)
Ab. Entrada en reposo: $Er = Et - 6$ mm (flotación Flo= 10 mm)

Ab. Salida en reposo: $St - 10.5$ mm (flotación Flo= 12 mm)
Ab. Salida en reposo: $St - 9.5$ mm (flotación Flo= 10 mm)

Ab. Rolo de Presión en reposo: $Pt + 5$ mm

Triangulación de Molinos

Cuando se calcula las aberturas de trabajo de un molino azucarero, para garantizarla, es necesario posicionar cada una de las mazas en su condición de reposo, es decir cómo se deben montar en los molinos respectivos, con sus cojinetes. El montaje de las mazas sin un plano previo, puede dar como resultado posiciones inconvenientes para el correcto funcionamiento del molino. Ese plano se conoce como la Triangulación del Molino. La posición de las mazas, de presión (pressroller), entrada y salida, definidos los valores de las aberturas en reposo, se obtiene, mediante cálculos geométricos, desde la posición del centro del cilindro superior, Ct, Fig 2., y con el diámetro primitivo de las mazas, o sea el diámetro que pasa por la altura media de

los dientes.

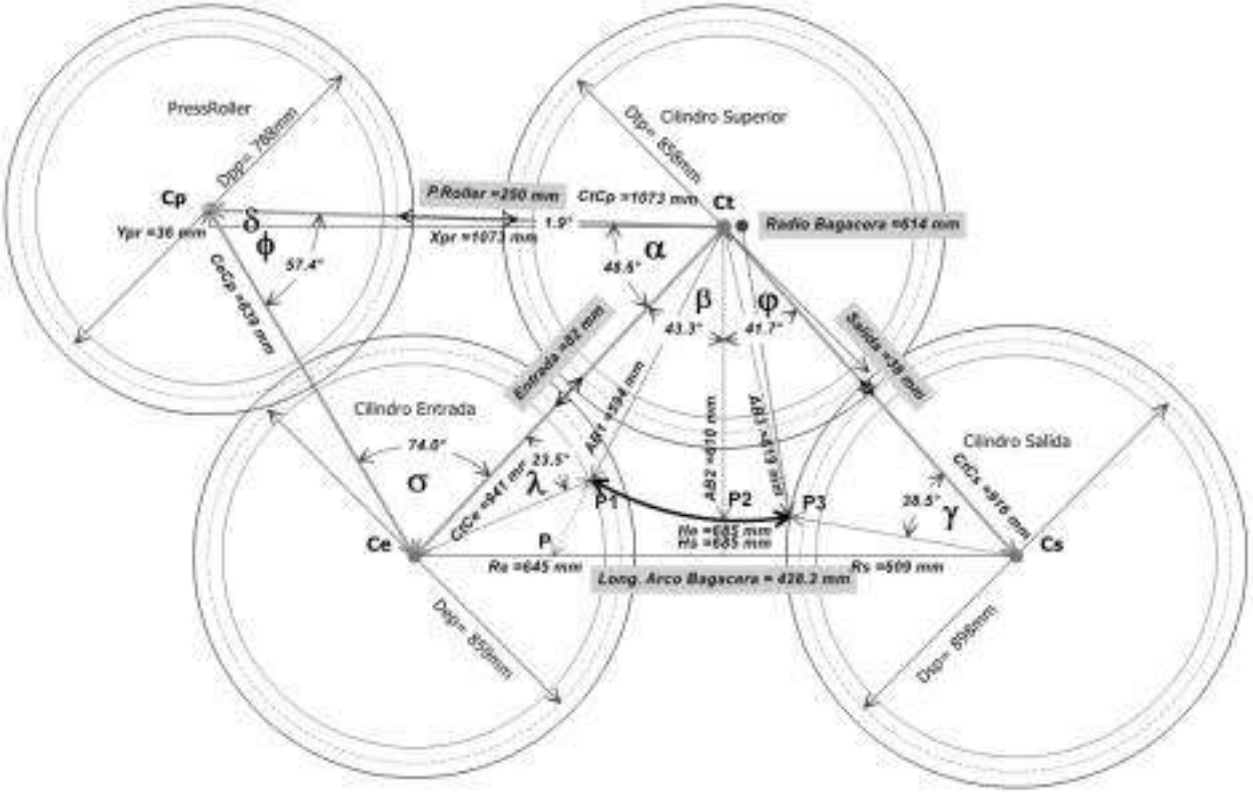


Figura 2: Triangulación de un Molino.

El análisis geométrico en la posición normal de las mazas, da como resultado:

$$\beta = acos(He/CtCe) \quad (9)$$

$$Re = CtCe*sen(\beta) \quad (10)$$

$$\varphi = acos(Hs/CtCs) \quad (11)$$

$$Rs = CtCs*sen(\varphi) \quad (12)$$

Por resolución de triángulos:

$$\alpha = acos((CtCe)^2+(CtCp)^2-(CpCe)^2)/(2*CtCe*CtCp) \quad (13)$$

$$\delta = \alpha-(90-\beta) \quad (14)$$

$$Ypr=CtCp*sen(\delta) \quad (15)$$

$$Xpr=CtCp*\cos(\delta) \quad (16)$$

Trazado de la Bagacera

En la Figura 2, el extremo proyectado de la línea AB1, corta la línea Re, en el punto P, que se obtiene con:

$$P=0.3333*Dep \quad (17)$$

Dep = Diámetro Primitivo del Cilindro de Entrada

El punto P1, define la posición inicial para trazar el arco divergente de la bagacera, el cual pasa además por los extremos de las líneas AB2 y AB3, puntos P2, P3. La longitud de la línea AB1, se obtiene de:

$$AB1=2*Et+Dtp/2 \quad (18)$$

Esta ecuación es puramente práctica y el factor 2, puede modificarse de acuerdo a la experiencia del técnico a cargo del trapiche, teniendo en cuenta que el valor obtenido de AB1, define el ángulo de entrada de la bagacera, λ, normalmente entre 20° y 22°, por lo tanto la ecuación (18), utilizando el factor Fac queda:

$$AB1=Fac*Et+Dtp/2 \quad (19)$$

Aproximadamente: Fac > 1.5 < 2.2

El segundo punto, P2, extremo de la línea AB2, se calcula suponiendo una divergencia del 6%, de la distancia entre el punto P1, y la componente vertical del centro del cilindro superior, Bx. Por resolución de triángulos:

$$Bx= AB1*(Re-0.33333*Dep)/((He)^2+(Re-0.33333*Dep)^2)^0.5 \quad (20)$$

$$By=(Rs-Dsp/2)*0.9 \quad (21)$$

$$AB2=AB1+Bx*0.06 \quad (22)$$

Finalmente se calcula AB3, aplicando la divergencia del 6% a By.

$$AB3=AB2+By*0.06 \quad (23)$$

Resultados

Molino 22

Normalmente, los cálculos, del Ajuste de Molinos y Triangulación, se efectúan con relativa facilidad, y existen algunos programas. Pero cuando se muestran los resultados, particularmente el posicionamiento de la bagacera, y se los quiere plasmar gráficamente, debe hacerse uso de herramientas gráficas comerciales, generando el plano como modelo 2D, en Autocad, SolidWorks, y muchos otros. Molino 22, resuelve el problema, efectuando todos los

cálculos de Ajuste de Molinos, Triangulación, y posicionamiento de la Bagacera, mostrando interactivamente, en una interfaz gráfica 2D, todos los detalles del proyecto para cada uno de los molinos del trapiche, introduciendo los datos básicos requeridos, para obtener de manera instantánea, los resultados matemáticos y gráficos, lo cual simplifica notablemente la tarea, sin utilizar algún software comercial, tal como se muestra en la Fig 3, copia de la pantalla de un proyecto ejemplo.

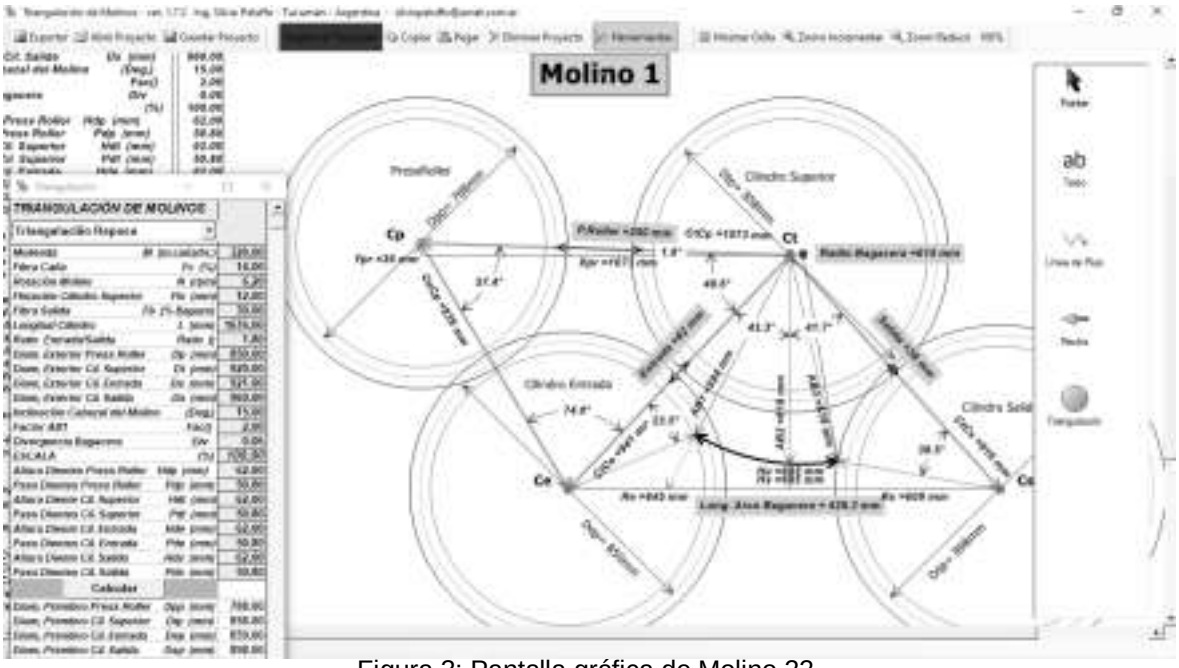


Figura 3: Pantalla gráfica de Molino 22.

El programa presenta una interfaz gráfica, una barra de Herramientas, y una grilla de cálculo, donde se introducen los datos del proyecto y se obtienen todos los resultados de los cálculos matemáticos y geométricos, que inmediatamente se reflejan en la pantalla en una tabla y modificando la posición de los cilindros a escala, con todas las líneas que los vinculan, textos, etiquetas y datos necesarios.

El menú del programa permite las siguientes opciones:

Exportar: la interfaz gráfica se convierte en un archivo con extensión ***.png*** y se guarda. Este archivo se puede acceder con un software convencional e imprimir normalmente, seleccionando tamaño, impresora, calidad, etc.

Guardar Proyecto: el proyecto se puede guardar para eventual análisis y/o modificaciones posteriores.

Abrir Proyecto: reproduce el proyecto guardado.

Diagrama Protegido: en esta condición la interfaz gráfica, no se puede manipular o modificar, desplazando o eliminando datos, textos, etiquetas, etc.

Pulsando este botón se pasa a la condición ***Diagrama Desprotegido***, que permite hacer modificaciones gráficas manualmente. Se recomienda no usar esta opción. ***Copiar:*** permite copiar elementos simples disponibles en la barra ***Herramientas. Pegar:*** acción posible después de ***Copiar.***

Eliminar Proyecto: descarga el proyecto en operación y permite abrir uno nuevo. ***Herramientas:*** este menú desplegable se oculta o se muestra presionando este botón. Desde menú se puede arrastrar a la interfaz gráfica ***Triangulación***, un proyecto inicial, que expone todos los componentes del mismo, y la grilla de cálculo, donde se pueden modificar los

parámetros que son datos, en las celdas amarillas, según la información disponible.

Completados los mismos se presiona el botón ***Calcular*** e inmediatamente se obtienen los resultados que se muestran en las celdas blancas o verdes en la grilla, las cuales no se pueden modificar Simultáneamente, e instantáneamente, se ajustan las dimensiones de las mazas, las aberturas de entrada y salida y la posición relativa en el proceso de triangulación, dimensiones y posición del arco de bagacera, y toda la información necesaria para visualizar convenientemente todos los datos y medidas en la escala correspondiente.

También se puede agregar ***Texto***, o ***Etiquetas***, a fin de indicar alguna aclaración extra sobre la interfaz gráfica. Igualmente se pueden utilizar ***Líneas*** o ***Flechas***, con idéntico propósito.
Mostrar Grilla: aparece sobre la interfaz gráfica un cuadriculado, a los efectos de ajustar la presentación.
Zoom: Incrementa o Reduce el tamaño del proyecto para una mejor visualización.

Conclusiones

Molino 22, es un software para el cálculo del ajuste y triangulación de molinos para caña de azúcar, con una interfaz gráfica interactiva que permite analizar visualmente los resultados y repetirlos fácilmente, hasta lograr el mejor resultado posible para una operación exitosa del trapiche. Se elimina así el cálculo manual, generalmente tedioso, que lleva a minimizar cambios en la distribución de las mazas, particularmente las rectificadas y acondicionadas para una nueva zafra y se prescinde del uso de software comercial para gráficos 2D, obteniéndose los planos necesarios para el montaje de los cilindros fácilmente. Este software se puede descargar libremente con un video ejemplo, del siguiente link:

https://1drv.ms/u/s!AqzPSKyLmcI8k2uJCvrZYwgL-FF2?e=UUlmDt

Bibliografía

Correa Carlos, Peluffo Silvio, ***Modelado y Optimización de un Trapiche Azucarero Típico.*** XII Jornadas Sobre Investigaciones en Ciencias de la Ingeniería Química y Química Aplicada. Tucumán, marzo 1983.

Hugot, E (1986). ***Handbook of cane sugar engineering***. Elsevier, Amsterdam. 324 pp.

Munro, BM (1964). ***An investigation into crushing of bagasse and the influence of imbibition on extraction***. PhD Thesis, Univ. of Queensland, Australia. pp 35-38.

Peluffo Silvio, Sollazzi Silvia. ***Reglaje de Trapiches. Modelo Matemático y Optimización por Computadora Digital,*** 3er. Congreso Nacional de Computación Aplicada a los Procesos Industriales. Tucumán, octubre de 1985.

Russell, G.E. (1968***). An investigation of the extraction performance of sugarcane crushing trains***. PhD Thesis, University of Queensland.Russell GE and Murry CR (1968). ***A method of determining settings for three-roll mills.*** *Proc Qld Soc.Sug Cane Technol* 35: 81-93.

Van Hengel, A and Douwes Dekker, K (1958). ***Some notes on the settings and operation of mills.*** *Proc S Afr Sug Technol Ass* 34: 57-65.

OPTIMIZACIÓN MONO-OBJETIVO DE LA CADENA DE SUMINISTROS DE BIOETANOL A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR Y MAÍZ EN LA REPÚBLICA ARGENTINA

Ploper, A.[1,2]; Mele, F. D. [2,3]; Paz, D [4].
aploper@eeaoc.org.ar; fmele@herrera.unt.edu.ar; dorapazh@yahoo.com.

(1) ITANOA-CONICET (Instituto de Tecnología Agroindustrial del Noroeste Argentina, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas), Av. William Cross 3150 (T4101XAC), Las Talitas, Tucumán, R. Argentina.
(2) Depto. de Ingeniería de Procesos, FACET, UNT (Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán) Av. Independencia 1800 (T4002BLR), San Miguel de Tucumán, Tucumán, R. Argentina.
(3) CONICET NOA Sur (Instituto de Tecnología Agroindustrial del Noroeste Argentina, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas), Crisóstomo Álvarez 722, San Miguel de Tucumán, Tucumán, R. Argentina.
(4) Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres. Av. William Cross 3150 (T4101XAC), Las Talitas, Tucumán, R. Argentina.

RESUMEN

La industria del bioetanol enfrenta hoy en día una serie de desafíos para afianzar la sustentabilidad del sector, lo que hace necesario el planteo de alternativas productivas y logísticas más eficientes. En este trabajo se propone el diseño y modelado de la cadena de suministros (CS) del bioetanol en la Argentina, utilizando herramientas de optimización de procesos. Se plantea la resolución de una modelo lineal mixto entero (MILP) que incluye los procesos utilizados actualmente para la producción de alcohol anhidro, las capacidades de cultivo de las provincias, las demandas de los productos resultantes y demás parámetros que inciden en la decisión final. El objetivo del trabajo es obtener un valor óptimo del valor actual neto (VAN) que combina la producción de los dos sectores alcoholeros, el maicero y el cañero. Se evalúan, además, las inversiones, flujos de insumos y de productos, número de plantas, número de almacenes, ventas y cantidades a producir de cada bien, entre algunas de las variables más relevantes.

Palabras clave: biocombustibles, etanol, *supply chain*, programación lineal mixta entera

INTRODUCCIÓN

El creciente desarrollo de tecnologías para la producción de combustibles renovables y menos contaminantes para el medio ambiente tiene su origen en dos inquietudes: el aumento de la temperatura terrestre y el inminente agotamiento de los recursos fósiles [1], los cuales abastecen casi el 80% del suministro de energía mundial [2].

La producción mundial de etanol en 2020 fue de 26.059 millones de galones [3]. Estados Unidos es el líder mundial en la producción de bioetanol (Fig. 1), utilizando como materia prima maíz, mientras que Brasil, el segundo mayor productor, utiliza caña de azúcar como insumo preponderante.

La Argentina es un país beneficiado por sus condiciones naturales climáticas y edáficas, las que permiten una intensa actividad agrícola y el surgimiento de empresas agroindustriales en gran parte de su territorio. Dispone de grandes extensiones de tierra aptas para el cultivo de maíz y la plantación de caña [4], por lo que, la producción de alcohol para combustibles está dividida por ley en partes iguales para ambos cultivos. Históricamente, el alcohol fue un producto de la industria sucroalcoholera del norte del país y no fue hasta la sanción de la ley 26.093 de biocombustibles que el sector maicero comenzó a instalar plantas productoras de etanol, en la segunda década del siglo XXI.

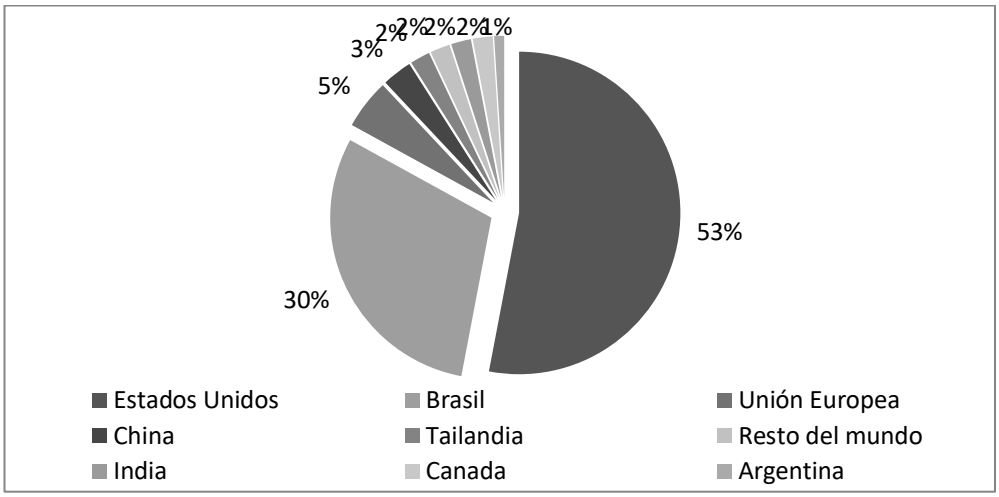


Figura 1: Producción anual de etanol por países.

OBJETIVO

Hoy en día, cada sector trabaja independientemente del otro, tanto en la producción como en toda la cadena de suministro (CS). Este aislamiento propone el desafío de integrar toda la cadena de producción, distribución y almacenamiento de alcohol buscando optimizar el consumo de recursos y los costos, logrando en tal caso un mejor balance económico y un aumento en la productividad general de todo el sector. Por tal motivo, las decisiones orientadas al diseño, planificación, producción y entrega de productos y subproductos a los clientes finales son el foco de este trabajo. En los últimos años, los ingenieros de procesos han desarrollado herramientas matemáticas para ayudar en la toma de decisiones en esta área. Un ejemplo de estos modelos es el trabajo de Mele *et al* [5], el cual se centra en el uso de la programación matemática para optimizar las decisiones estratégicas y tácticas en la industria sucroalcoholera argentina.

Así, el objetivo del trabajo es determinar la configuración de la red de bioetanol en sus tres etapas y las decisiones de planificación asociadas que maximicen el VAN del en un horizonte de tiempo prefijado (ej.: 6-10 años).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se modela una CS genérica de tres etapas: producción, almacenamiento y mercado. Esta red incluye un conjunto de productores de caña de azúcar y maíz, plantas de producción a partir de ambos cultivos, almacenamientos y mercados finales. Se supone que existe un horizonte de planificación fijo dividido en periodos anuales para el modelado y un área geográfica dividida en un conjunto de regiones (provincias) donde se pueden establecer los nodos de la CS. Se considera que cada región tiene una capacidad de cultivo de maíz y de plantación de caña de azúcar en cada intervalo de tiempo. El problema de diseño de la CS se puede expresar de la siguiente forma:

Se cuenta con un horizonte de tiempo fijo, precios de productos, parámetros de costo para la producción, almacenamiento y transporte de materiales, pronósticos de demanda de productos, tasa impositiva, datos de capacidad para plantas y almacenes, inversión de capital fijo, tasa de interés, período de retención de almacenamiento, impuesto de vertedero y límite superior en la inversión de capital. Las decisiones que el modelo debe tomar incluyen el

número, la ubicación y la capacidad de las plantas de producción y los almacenes que se instalarán en cada región, las tasas de producción y los flujos de materias primas, residuos y productos finales.

En el modelo se proponen cuatro modelos de plantas, tres tecnologías para el procesamiento de caña de azúcar y una para maíz. En la primera tecnología (T1), se obtiene azúcar blanco como producto principal a partir de caña de azúcar y como subproductos azúcar moreno y melaza. En la segunda tecnología (T2), se produce alcohol a partir de mosto de melaza y se obtiene como residuo vinaza, un subproducto altamente contaminante ya que presenta en su composición química altos contenidos de materia orgánica y sales. En la tecnología tres (T3), se procesa caña de azúcar directamente para producir alcohol, es decir, se extrae el jugo de caña y, previo acondicionamiento, se fermenta directamente. En la tecnología T4, se procesa el maíz para obtener alcohol como producto principal y un subproducto llamado burlanda o DGS (*Distillers Grains with Solubles*), un material rico en proteínas, fibras y grasa que se incorpora a la dieta de rumiantes [6]. Cada una de las tecnologías tiene asociada coeficientes de balances de masa, costos fijos de capital y operación y pueden aumentar su capacidad con el tiempo para afrontar aumentos de demandas específicos.

El modelo incluye dos tipos de instalaciones de almacenamiento: almacenes para productos líquidos y almacenes para materiales sólidos. Se define para cada uno de ellos los costos de capital y variables, como así también límites inferiores y superiores en sus expansiones de capacidad. La capacidad de almacenamiento podría ampliarse para seguir el ritmo de los cambios en la demanda y la oferta. El costo de transporte se modela definiendo un costo por tonelada transportada y por kilómetro recorrido. El transporte tiene asociados también costos de capital, costos variables y límites de capacidad inferior y superior.

El balance de masa global para un producto *i*, en la región *g*, en un año específico *t* está representado por la ec. 1. En dicha ecuación, el inventario inicial de ese año (igual al inventario final del período anterior ST_{isgt-1}) más la cantidad producida o consumida (PT_{igt}), la cantidad de materia prima comprada (PU_{igt}), y el flujo de entrada desde otras provincias ($Q_{ilg'gt}$), debe ser igual al inventario final (ST_{isgt}), más la cantidad vendida a los clientes (DTS_{igt}), más el flujo de salida hacia otras provincias ($Q_{ilgg't}$), y la cantidad de residuos generados (W_{igt}).

$$\sum_{s\,\epsilon\,IS(i,s)} ST_{isgt-1} + PT_{igt} + PU_{igt} + \sum_{I\,\epsilon\,IL(i,l)} \sum_{g'\neq g} Q_{ilg'gt} = \sum_{s\,\epsilon\,IS(i,s)} ST_{isgt} + DTS_{igt} + \sum_{I\,\epsilon\,IL(i,l)} \sum_{g'\neq g} Q_{ilgg't} + W_{igt} \;; \qquad \forall\, i,g,t \quad (ec.1)$$

En esta ecuación, $IS(i,s)$ es un conjunto de pares ordenados que asocia al producto *i* al tipo de almacenamiento adecuado *s,* mientras que $IL(i,l)$ vincula el producto *i* a la forma de transporte *l.* Esta es una de las muchas ecuaciones que conforman el modelo del sistema. Otros ejemplos de restricciones se muestran en las ecuaciones 2 y 3. La capacidad de la tecnología *p* en cualquier período de tiempo $t > 1$ ($PCap_{pgt}$) es igual a la suma de la

capacidad existente al final del período anterior, más la expansión de la capacidad llevada a cabo en ese período ($PCapE_{pgt}$) (ec. 2).

$$PCap_{pgt} = PCap_{pgt-1} + PCapE_{pgt} \quad ; \quad \forall\, p, g, t > 1 \qquad (ec. 2)$$

La capacidad de una tecnología de almacenamiento *s* en cualquier período de tiempo $t > 1$ ($SCap_{sgt}$) se determina a partir de la capacidad existente al final del período anterior y la expansión de la capacidad en el período actual ($SCapE_{sgt}$)

$$SCap_{sgt} = SCap_{sgt-1} + SCapE_{sgt} \quad ; \quad \forall\, s, g, t > 1 \qquad (ec. 3)$$

El objetivo de este modelo es optimizar el desempeño económico. Dicho objetivo está representado por el VAN. Este (ec. 4) se puede calcular a partir de los flujos de caja (CF_t) obtenidos en cada año *t* en los que se divide el horizonte temporal total:

$$VAN = \sum_t \frac{CF_t}{(1+ir)^{t-1}} \qquad (ec. 4)$$

donde, *ir* representa la tasa de interés. El flujo de caja CF_t es función de las ganancias netas de cada año, que a su vez dependen de las ventas de los productos que tienen demanda (etanol, azúcar blanco y moreno, y burlanda) menos los costos asociados a toda la CS (producción, transporte y almacenamiento).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Imagen 1. Plantas instaladas en el año 1 de cada tecnología por provincia.

El código del modelo se programa en el *software* GAMS y se resuelve con el *solver* MILP CPLEX 11.0. El modelo de optimización resultante contiene

26.446 ecuaciones, 40.701 variables continuas y 4.176 variables discretas y tarda alrededor de 70.000 segundos en resolverse en una computadora Dell Inspiron 15 3000 Intel CORE i5

El resultado de la optimización arroja un valor de VAN de US$ $746{,}5 \cdot 10^6$. En la imagen 1 se ilustran las plantas de cada tecnología que el modelo decide instalar en el año 1. En los años siguientes el modelo no instala nuevas plantas dado que se ha considerado un patrón de demanda constante en el horizonte de análisis.

Además, el modelo instala un almacén para productos líquidos y otro para productos sólidos en cada una de las 24 regiones, algo esperable ya que existe demanda de alcohol y azúcar en todas las regiones.

El modelo también calcula el flujo de cada producto desde una región a otra, los almacenes instalados en cada región, las ventas de cada producto, la cantidad almacenada en cada región, los costos asociados a cada etapa, que por razones de espacio no se reportan en este artículo.

CONCLUSIONES

Este estudio presenta el diseño y modelado de la CS de la industria del bioetanol en la República Argentina. Se obtiene un valor óptimo del VAN mediante programación lineal entera mixta que resulta de un modelo que combina la producción de los dos sectores alcoholeros, el maicero y el cañero.

Se obtienen valores de inversiones, flujos de insumos y de productos, número de plantas, número de almacenes, ventas y cantidades a producir de cada bien, entre algunos de los parámetros más relevantes. Los cuales no se muestran.

Por último, se muestra la utilidad de la programación matemática y las metodologías de optimización para la toma de decisiones en el ámbito de la planificación de las CS de las agroindustrias.

Bibliografia

[1] N. Patel, “Environmental and economical effects of fossil fuels,” Journal of Recent Research in Engineering and Technology, vol. 1, no. 7, p. 1, 2014.

[2] IEA, “World Energy Outlook 2019,” World Energy Outlook 2019, 2019.

[3] U. S. E. I. Administration, “Annual Ethanol Production,” Annual Ethanol Production, 2021. https://ethanolrfa.org/markets-and-statistics/annual-ethanol-production

[4] United Stated Department of Agriculture (USDA) - Foreign Agricultural Service, “Argentina - Biofuels Annual,” Global Agricultural Information Network, July 2017.

[5] F. D. Mele, A. M. Kostin, G. Guillén-Gosálbez, and L. Jiménez, “Multiobjective model for more sustainable fuel supply chains. A case study of the sugar cane industry in Argentina,” Ind Eng Chem Res, vol. 50, no. 9, pp. 4939–4958, 2011, doi: 10.1021/ie101400g.

[6] J. Giménez, “La burlanda revoluciona el mercado de alimentación y producción ganadera lechera y cárnica.” [en línea]. Disponible: www.produccion-animal.com.ar

AVANCES EN LA NORMALIZACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS EN ARGENTINA

Rearte, M.; Peralta, F.; Martinez Pulido, G.; Risso, M.; Hoyos, G.; Escalante, K.; Alanis, F.; Danielsen, K.; Samaja Perdiguero, Y.; Molina Tirado, L.; Bornancin, M.; Giraudo, C.

Instituto Nacional de Tecnología Industrial (www.inti.gob.ar), Real Audiencia de Charcas 21, San Miguel de Tucumán. Tucumán, Argentina. e-mail: mrearte@inti.gob.ar

Palabras claves: biomasa, bioenergía, pellet, normalización, calidad

Introducción

El Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) es una institución dedicada al desarrollo, innovación y transferencia de tecnología al medio industrial, cuenta con una de las mayores ofertas tecnológicas en el campo industrial a nivel mundial, incluidos servicios desarrollados para lograr la valorización e industrialización de biomasa y residuos para la producción de energía y biocombustibles. Desde el año 2010, INTI trabaja aportando a la generación de energías renovables, particularmente en el campo de la bioenergía desde su Centro en la provincia de Tucumán.

En este campo el INTI ha desarrollado metodologías para mejorar la gestión y los sistemas para valorizar la fracción utilizable de diferentes biomasas además de trabajar en la inserción de diferentes tecnologías, incluido el proceso termoquímico para producir energía (como la combustión y la gasificación) y aplicaciones biológicas para fabricar posibles productos de base biológica (como compost, materias primas para la fabricación de biocombustibles como pellets y briquetas, etc.) (Nuño, et al., 2022).

Este proceso que ha llevado años de estudiar casos de valorización de biomasas de una gran diversidad de cadenas productivas en todo el territorio englobados en el Programa VERAF- INTI "*Valorización energética de residuos del agro y la forestoindustria*" (Sector sucroalcoholero, producción forestal y forestoindustrial, la producción de frutos secos, de maní, de algodón, de arroz, derivados del olivo, del sector citrícola, otros cereales y oleaginosas, biomasas derivadas de la gestión municipal, etc.) (Rearte, et al., 2015), denotaron la necesidad de un lenguaje técnico de aplicación y metodologías de abordaje para la valorización de estas biomasas para fines industriales, en especial para su uso en procesos térmicos.

Para aportar al nuevo sector emergente de la bioenergía que incluye a los actores históricos y tradicionales como los grandes ingenios y pasteras o papeleras, el INTI comenzó la conformación de una *Red de Biomasa* (Beccari & Rearte, 2019) para documentar toda esta información que se recopilaba de los casos de asistencia técnica para mejorar la gestión del recurso y minimizar el impacto ambiental asociado en todo el territorio argentino.

Finalmente, en el año 2018 con el soporte del IRAM (Instituto de Racionalización Argentino de Materiales) se coordinó el armado de un subcomité para trabajar en el desarrollo de normas aplicadas a la utilización de biomasa para fines térmicos y toda la cadena de aprovechamiento (INTI, 2018).

Objetivos

Desarrollar un marco normativo de aplicación en Argentina para la valorización de biomasa con fines energéticos sumando conocimientos de instituciones públicas (INTI, INTA, UNLP, UNM, MinCyT, MAGyP, Min. de Ambiente, PROBIOMASA, etc.) y del sector privado sobre diversas especies autóctonas adicionales a las propuestas por las normas internacionales, las cuales en nuestro país presentan un gran potencial para sumar al sector bioenergético nacional e incluso para insertarse en el mercado internacional. Adicionalmente impulsar el desarrollo del sector industrial dedicado a la bioenergía.

Desarrollo

El primer paso realizado en el marco de este proyecto fue el estudio del estado normativo a nivel mundial aplicado a la producción de biocombustibles sólidos (BCS), para el cual, la calidad es la resultante de una combinación de características de ingeniería y fabricación, determinante del grado de satisfacción que el producto proporcione al consumidor durante su uso, en este caso, en un proceso térmico.

En el mundo, diferentes estándares se desarrollaron para la producción de BCS marcando dos tendencias, los BCS europeos y los BCS no europeos, particularmente para EEUU. En el caso de Europa, los diferentes marcos fueron concatenados por la Organización Internacional de Estandarización (ISO) los cuales fueron estudiados y desarrollados por un comité técnico "ad hoc", llamado Comité técnico 238 o "TC 238". En la fig. 1 se puede observar su evolución a través de los años y la interacción con otros comités dedicados a los BCS.

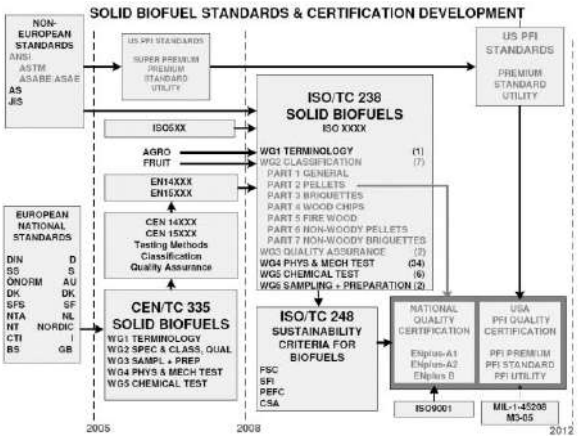


Fig. 1 - Esquema del desarrollo de las normas de aplicación para biocombustibles sólidos en Europa y USA, Fuente: (Melin, 2016)

Para los BCS, se identificaron las normas dominantes en cuanto a procesos de certificación a nivel mundial, las cuales se agrupan en el estándar ISO 17225 (International Organization for Standarization, 2021) que incluye el estudio de biomasas forestales, herbáceas, derivadas de la agricultura y la horticultura e incluso la biomasa de la acuacultura. Actualmente este marco europeo cuenta con 34 documentos técnicos para los BCS que año a año se revisan y mejoran en función de las necesidades del sector bioenergético. Actualmente estos estándares están siendo adaptados en muchos países como Argentina, Chile, Brasil, etc., que buscan tener una mayor participación en el mercado mundial de los BCS que en el año 2018 alcanzaba las 35,4 MM de toneladas (Fig. 2) ya que, en su conjunto, Sudamérica, solo evidenciaba un aporte de menos del 1% (Wright, 2019).

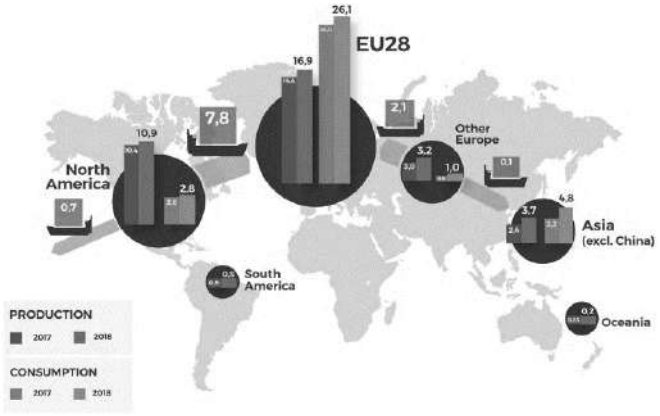


Fig. 2 - Mapa del pellet y flujo de comercialización en 2019 en MM de ton. (Wright, 2019)

El consumo para el mismo año y su distribución global fue de 34,1 MM de toneladas (figura 2) solo para el pellet de madera, sin considerar las briquetas o el chip. En la actualidad, si tomamos en cuenta la situación energética mundial y los conflictos geopolíticos sumados a los efectos postpandemia, la demanda de BCS es cada vez mayor lo que tracciona la aparición de nuevas plantas productoras de BCS denotando la necesidad de mejorar los esquemas de calidad para alcanzar los requerimientos del sector domiciliario e industrial.

En Argentina, la biomasa para usos térmicos solo tenía referencias para transacciones comerciales en la Secretaría de Energía en base al "bagazo de caña" publicada en los balances energéticos (SEN, 2009) para uso en calderas, a pesar de existir una gran diversidad de variedades y fuentes y de ser utilizada en diversidad de procesos industriales, como por ejemplo, el secado de la yerba mate a su uso en centrales térmicas para generar energía en el programa *RenovAr* (Ley 27.191). Recién en el año 2018 a pedido del INTI, se conformó en el ámbito del IRAM el Subcomité Biocombustibles Sólidos con los objetivos de:

- ✓ Normalizar los requisitos de calidad de los BCS que se producen en Argentina a partir de diversas biomasas leñosas y no leñosas.
- ✓ Normalizar los aparatos que utilizan los BCS sólidos en aplicaciones residenciales, comerciales e industriales.

En este ámbito se han estudiado las normas de referencia ISO y con el aporte de especialistas de diferentes instituciones de ciencia y técnica (INTI, INTA, UNLP, Secretaría de Medio Ambiente, MAGyP, CIEFAP, UNM, etc.) y la participación de empresas del rubro se logró homologar y adaptar las 9 primeras normas de aplicación en Argentina bajo un esquema IRAM-ISO. A continuación, se listan algunos de los documentos principales publicados en el marco de este trabajo:

- Norma IRAM 17225-1 "…Requisitos generales."
- Norma IRAM ISO 17225-2 "…Clases de pellets de madera"
- Norma IRAM ISO 17225-3 "…Clases de briquetas de madera"
- Norma IRAM ISO 17225-4 "…Clases de astillas de madera"
- Norma IRAM ISO 17225-5 "…Clases de leña de madera"
- Norma IRAM ISO 17225-6 "…Clases de pellets de origen no leñoso."
- Norma IRAM ISO 17225-7 "…Clases de briquetas de origen no leñoso."
- Norma IRAM 17600 – "Clases de chips para usos industriales", Norma que alcanza a la biomasa derivada de la caña de azúcar, particularmente al RAC (Residuo agrícola de cosecha de caña), triturado en una granulometría aceptable para el uso en calderas.

De esta última norma, de particular interés por parte de los ingenios azucareros, para la cual el INTI realizó un estudio sistémico del sector realizando entrevistas y relevamientos en actores de la cadena productiva de los materiales objetivo de la norma logrando acotar la denominación del "*chip*" para usos industriales y los materiales triturados para la misma aplicación. Esta norma incluye la caracterización del RAC y el bagazo en diferentes formatos comerciales (Escalante, et al., 2022).

Metodología

En el Subcomité, para cada formato comercial de BCS se realizó un trabajo de desarrollo y adaptación normativa que se volcó en diferentes normas nacionales publicadas desde 2019 a 2022. Además del trabajo de adaptación en el subcomité, a través de la estructura de la Red de biomasa del INTI (Beccari & Rearte, 2019), se facilitó el acceso a los avances normativos y se involucró a los actores de la cadena de valor de la biomasa a nivel nacional asociados a la producción de chip/material triturado para uso industrial. Para la recopilación de información se implementaron encuestas digitales sobre los parámetros normativos críticos propuestos y se realizaron entrevistas sincrónicas para conocer variables

relacionadas a dificultades que enfrenta el sector, actuales e históricas como así también, sus proyecciones.

Resultados

Se confeccionó una primera base de datos de aproximadamente 60 empresas, cooperativas, asesores, instituciones, municipios, etc., identificando cinco perfiles de actores respecto a su vínculo con la producción o consumo de BCS: 1. consumidores (C), 2. productores (P), 3. fabricantes de maquinaria que produce chip/material triturado (FMPC), 4. asesores (A), 5. fabricantes de maquinaria que consume chip/material triturado (FMCC).

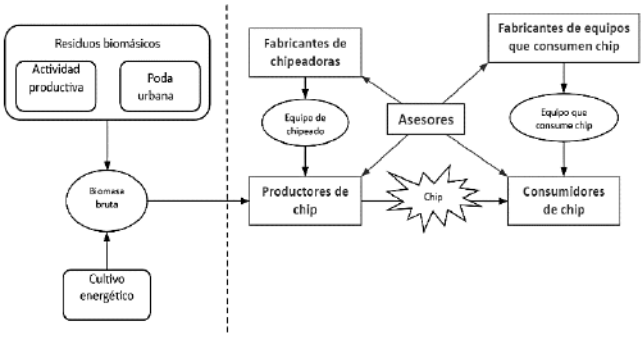


Fig. 3 - Mapa de actores (Escalante, et al., 2022)

A través de las encuestas se identificaron, además de las variables químicas de interés, los formatos físicos luego de los pretratamientos existentes de interés para su comercialización. En la Tabla 1 se puede observar un abstracto de los parámetros propuestos que englobados en el estándar nacional voluntario representan una herramienta de mejora de la calidad en los emprendimientos productivos de BCS en nuestro país.

Tabla 1 - Extracto de tabla de parámetros obtenidos a partir de las encuestas (en elaboración, inédito).

		Tipo de material	Dimensión máxima	Área de la sección transversal máxima de la fracción gruesa (cm2)	Contenido de material fino aceptable, F (% en masa < 3,15 mm):
Tamaño de partícula (mm)	MT15	Cáscaras trituradas	10mm	≤ 1 cm2	≤ 30%
	MT50	Herbáceas molidas / trituradas	50mm	≤ 3 cm2	≤ 30%
	MT75	Herbáceas fibrosas	75mm	≤ 3 cm2	≤ 30%
	MT100	Material "símil" chips	Remitirse a la Tabla 1	≤ 3 cm2	≤ 30%

Hoy a través del Organismo de Certificación de INTI, el único organismo estatal de alcance federal, Argentina está en condiciones de posicionar sus productos con un sello equiparable a los usados en Europa (ENPlus, DINplus, BIOmasud, etc.) como se pueden ver en la Fig.4.

Fig. 4 - Sellos utilizados para certificar la calidad de los BCS.

Utilizando este marco de referencia basado en el trabajo del Laboratorio de Biocombustibles INTI se pudo validar diversas biomasas como sustratos y materias primas aptas para la producción de BCS de diferentes cadenas de valor e impulsar emprendimientos industriales incluso aprovechando residuos agrícolas de cosecha (Pulido, et al., 2016). Así mismo, como resultado de este trabajo, se desarrollaron nuevos formatos de asistencia técnica para plantas de pellet en todo el país buscando impulsar la mejora de procesos para lograr estándares acordes a este nuevo marco normativo.

Además de la demanda territorial, poniendo en valor trabajos de investigación de diferentes autores, algunos de los casos de aplicación en el espectro de análisis e implementación de la norma en cuanto a los procesos productivos en Argentina fueron: Madera

Fig. 5 - Plantas productoras de BCS asistidas por INTI (2015-2022)

(Pino, Eucaliptus, Caldén, Ponderosa, Murrayana, Quebracho Colorado, Q. Blanco, Urunday, Olivo, Citrus, Mezclas, Plátanos, Paraíso, etc.), herbáceas y gramíneas (Caña de Azúcar, Arundo, Espartillo, Maíz etc.), biomasas residuales de la agroindustria (cáscara de maní, cáscara de frutos secos, cáscara de arroz, camas de cría pecuaria, RAC, desmote de algodón, orujos, etc.). El alcance de este trabajo se puede observar en la Fig. 5 donde las "P" representan casos de estudio y asistencia técnica a plantas productoras de pellet en Argentina llevadas a cabo por el INTI.

Conclusiones

La metodología planteada sumada al alcance territorial del instituto ha sido clave para la obtención de datos del sector y de gran utilidad para el desarrollo de estándares de calidad lo que nos permitió conocer el estado de maduración la cadena de valor de la bioenergía. Por otro lado, a través de las entrevistas se evidenció la necesidad de profundizar en el conocimiento de los parámetros que definen la calidad de los BCS básicos como el chip y el material triturado concluyendo en la importancia del rol estatal en la promoción y regulación del mercado.

Finalmente, estas herramientas permitieron al INTI interactuar con los diferentes actores, acercar la oferta de servicios disponibles hacia el sector para mejorar sus procesos y productos. Por otra parte, si bien el número de casos supera las 25 plantas, actualmente existen grandes asimetrías en el sector y algunas plantas han pasado por períodos de puesta en marcha muy extensos o en algunos casos no llegando a operar más allá de los primeros años.

Referencias

Beccari, P. y Rearte, M., 2019. Bioenergía INTI. Link: https://www2.inti.gob.ar/web/noticiero.jsp?idNoticia=1295

Escalante, K. y otros, 2022. Relevamiento del estado de industrialización de biomasa leñosa y no leñosa para el desarrollo de estándares de calidad en formato de chips y material triturado para usos energéticos en Argentina. CABA, INTI.

International Organization for Standarization, 2021. ISO 17225-1:2021 Solid biofuels — Fuel specifications and classes — Part 1: General requirements. Technical Committee : ISO/TC 238 Solid biofuels, p. 8.

INTI, 2018. Bioenergía en Argentina. Available at: https://www.inti.gob.ar/noticias/21-asistencia-regional/1220-un-paso-clave-para-desarrollar-la-bioenergia-en-argentina

Melin, S., 2016. Solid Biofuels Standards Development. Thunder bay, 3rd Annual Bio-heat Community of Practice Workshop.

Nuño, G., Rearte, M. y Martínez, A., 2022. Determinación del potencial biomásico y del potencial energético en el Noroeste Argentino. San Miguel de Tucumán, Instituto Nacional de Tecnología Industrial.

Pulido, G. M., Risso, M. y Rearte, M., 2016. Pelletizado de residuo agrícola de cosecha de caña de azúcar en Argentina. CABA, INTI.

Rearte, M., Martinez Pulido, G. y Risso, M. G., 2015. Mercosur ABC. Link: https://www.mercosurabc.com.ar/premian_a_inti_tucuman_por_su_trabajo_en_energias_renovables

SEN, 2009. Balance Energético Nacional. Link: https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/hidrocarburos/balances-energeticos

Wright, H., 2019. Statistical Report 2019. Bruselas, Bioenergy Europe.

RESPUESTA DE CENTRÍFUGAS DE COCIMIENTO DE PRIMERA FRENTE A DIFERENTES ESTRATEGIAS DE OPERACIÓN

Salazar, R.A.; Russo, M.N.; Camacho, J. A. y Diez, O. A.
Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres. Avenida William Cross 3150, C.C. Nº 9, Las Talitas, Tucumán, R. Argentina. rsalazar@eeaoc.org.ar

Palabras Clave: centrífuga, azúcar, mieles.

Introducción

En la medida que se fueron incrementado los niveles de cosecha mecánica, y de esta manera incorporando más material verde a la fábrica, se ha observado que a iguales niveles de purezas se incrementaron sustancialmente los valores de viscosidad de las mieles.

La etapa de separación centrífuga de la masa cocida (en miel y azúcar) es un proceso que no está optimizado dado la cantidad de factores que influyen en el desempeño de la misma. El contenido de cristales, tiempos de lavado, granulometría, tiempos de aceleración y desaceleración, son algunos de los factores a tener en cuenta, donde solo algunos de ellos son manipulables al momento de la operación. En el caso de centrífugas discontinuas, los parámetros operativos que generalmente pueden modificarse son los tiempos de duración de los lavados y el momento de la aplicación de los mismos.

El agua de lavado en la centrifugación es un factor sensible, un uso inadecuado de esta variable implica una mayor generación de mieles y una mayor disolución de cristales, aunque por lo general, se obtiene un azúcar de mejor de color (Rein, 2012). Además, es común que se observe un lavado excesivo de azúcar (Grimwood *et al*, 2002).

Esto hace que el planteo general de los ensayos propuestos en esta investigación sea el de tratar de reducir el tiempo de lavado, donde, a la velocidad más baja que la máquina permita, realizar el mismo con el único objetivo de disminuir la viscosidad de la miel y permitir que fluya la misma a igual fuerza G pero en mayor proporción. Esto facilitará que, una vez ajustado el momento, el segundo lavado sea más corto y la calidad del azúcar se mantenga.

Objetivo

Estudiar el impacto de la manipulación de los tiempos de lavado y las velocidades correspondientes a las que se efectúan los mismos, mediante ensayos en centrífugas discontinuas de cocimiento de primera en una fábrica de azúcar crudo de la provincia de Tucumán. Los mismos fueron realizados durante la zafra 2022 y se efectuaron bajo la premisa de obtener un azúcar de calidad aceptable (color y humedad) con un mínimo uso de agua y una separación óptima de azúcar y mieles.

Materiales y Métodos

Entre los meses de julio y octubre de 2022, se realizaron ensayos sobre las centrífugas del cocimiento de primera del sector de crudo de un ingenio de Tucumán, modificando la duración de los diferentes segmentos del ciclo de operación, con el objetivo de mejorar la cantidad y la calidad del azúcar.

En total se realizaron 5 ensayos, de los cuales, durante la primera etapa, se fijó realizar el primer lavado luego de transcurridos 14 segundos (a 400 rpm) desde el inicio de la aceleración, variando la duración del mismo entre 4 y 6 segundos, mientras que la duración del segundo lavado estuvo comprendida entre 2 y 6 segundos, con retardos entre ambos lavados de 18 segundos. Esta estructura de ensayos se repitió en dos visitas consecutivas (ensayos 1 y 2).

El ensayo 3 consistió en realizar el primer lavado 9 segundos después de iniciada la aceleración, con una duración del primer lavado de 4 segundos, variando el

retardo entre los lavados entre 16 y 20 segundos, oscilando el tiempo del segundo lavado entre 4 y 6 segundos.

Finalmente se realizaron ensayos en condiciones constantes, correspondientes a los ensayos 4 y 5, en busca de evaluar la repetitividad de los mismos. En los mismos se optó por ajustar la velocidad del primer lavado a 350 rpm (12 segundos luego del inicio de la aceleración) manteniendo fijo el tiempo del primer lavado en 4 segundos, variando el retardo entre 16 y 20 segundos, mientras que el segundo lavado osciló entre 4 y 6 segundos, dando como tiempo total de aplicación de agua entre 8 y 10 segundos. En la Tabla 1 se ilustran las condiciones de ensayos descriptas anteriormente.

En cada ensayo se tomaron las respectivas muestras de masa cocida ingresante al equipo, y miel y azúcar egresadas.

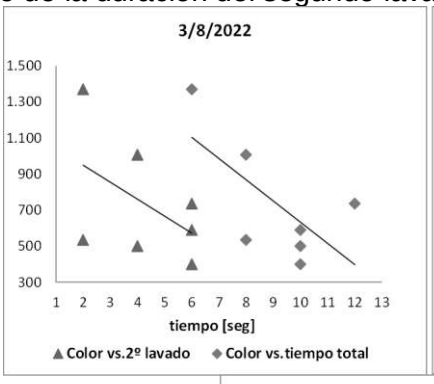
Tanto a masas cocidas como mieles se les realizaron determinaciones de brix refractométrico (Brix %) y polarización (Pol %) según ICUMSA; y a las muestras de azúcar se le realizaron determinaciones de Pol %, Brix %, Color (UI), Turbidez (UI) y Humedad %.

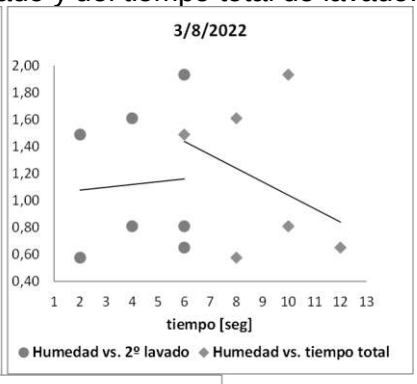
Tabla 1. Condiciones de trabajo de cada uno de los 5 ensayos: velocidad del primer lavado (rpm), momento de inicio del primer lavado luego de iniciada la aceleración (s), duración del primer lavado (s), duración del retardo (s) y duración del segundo lavado (s).

Ensayo	Veloc. 1º lavado [rpm]	Inicio 1º lavado [s]	Duración 1º lavado [s]	Retardo [s]	2º lavado [s]
1	400	14	[4-6]	18	[6-10]
2	400	14	[4-6]	18	[6-10]
3	300	9	4	[16-20]	[4-6]
4	350-600	[12-24]	[2-4]	12	[5-6]
5	350-600	[12-24]	4	[12-15]	[3-5]

Resultados

Las Figuras 1 a 5 que se muestran a continuación ilustran los resultados obtenidos en los ensayos descriptos en la Tabla 1. En las mismas se puede observar los comportamientos del color, la humedad y el parámetro SJM (retención) en función del aumento de la duración del segundo lavado y del tiempo total de lavado.





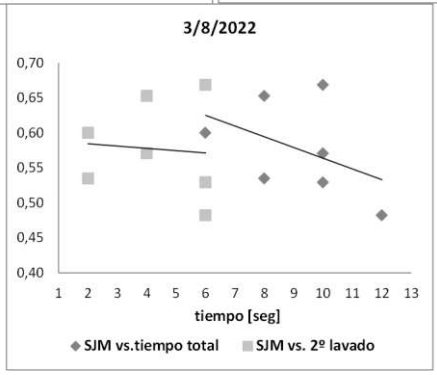


Figura 1. Resultados obtenidos en el ensayo 1: comportamientos del color, la humedad y el parámetro SJM en función del aumento de la duración del segundo lavado y del tiempo total de lavado.

En el primero ensayo podemos observar la gran influencia de la duración del segundo lavado sobre los tres parámetros estudiados. La mayor influencia se evidenció en el color y la humedad final del azúcar. El tiempo total de lavado demostró los resultados esperados sobre la humedad del azúcar, mientras que la retención disminuyó por efecto de la disolución de los granos. (Figura 1).

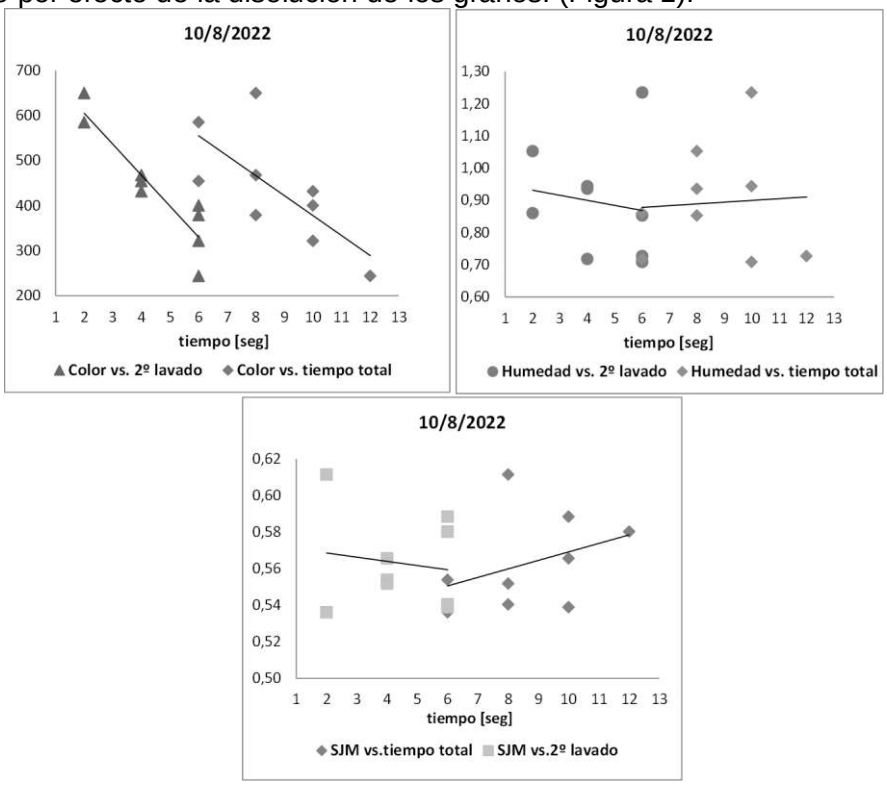


Figura 2. Resultados obtenidos en el ensayo 2: comportamientos del color, la humedad y el parámetro SJM en función del aumento de la duración del segundo lavado y del tiempo total de lavado.

En el ensayo 2 se repitieron las condiciones del ensayo anterior, y los resultados continuaron marcando el efecto del segundo lavado sobre el color del azúcar. En este ensayo podemos observar también la influencia esperable del tiempo total de lavado, decreciendo el mismo ante el incremento de las abscisas. La humedad no evidenció modificaciones significativas a los cambios en los tiempos de lavado, mientras que las retenciones mostraron una tendencia inversa a la observada en el ensayo anterior. (Figura 2).

En lo que respecta al ensayo 3, los resultados mostraron una tendencia acorde a las condiciones del ensayo, obteniéndose menores valores de color y humedad a medida que aumentaron los tiempos de lavado, como así también los efectos esperados sobre las retenciones por efecto de la disolución de los granos. (Figura 3).

En los ensayos 4 y 5 se observó una leve inversión de comportamiento en los valores de la retención, mientras que se mantuvo constante la tendencia de que a mayor lavado, mayor humedad en el azúcar final. (Figuras 4 y 5).

Por último, en la Tabla 2 se presentan los valores de humedad promedio correspondientes a las diferentes velocidades iniciales de primer lavado para los ensayos 4 y 5:

Tabla 2. Valores de humedad promedio en diferentes velocidades iniciales de primer lavado obtenidos en los ensayos 4 y 5.

Veloc. [rpm]	Humedad [%]

350	63,85
600	79,91

Podemos notar que, efectivamente, al iniciar antes el primer lavado, la humedad final disminuyó, producto del mejor aprovechamiento de la fuerza centrífuga para purgar la miel durante el ciclo de centrifugado.

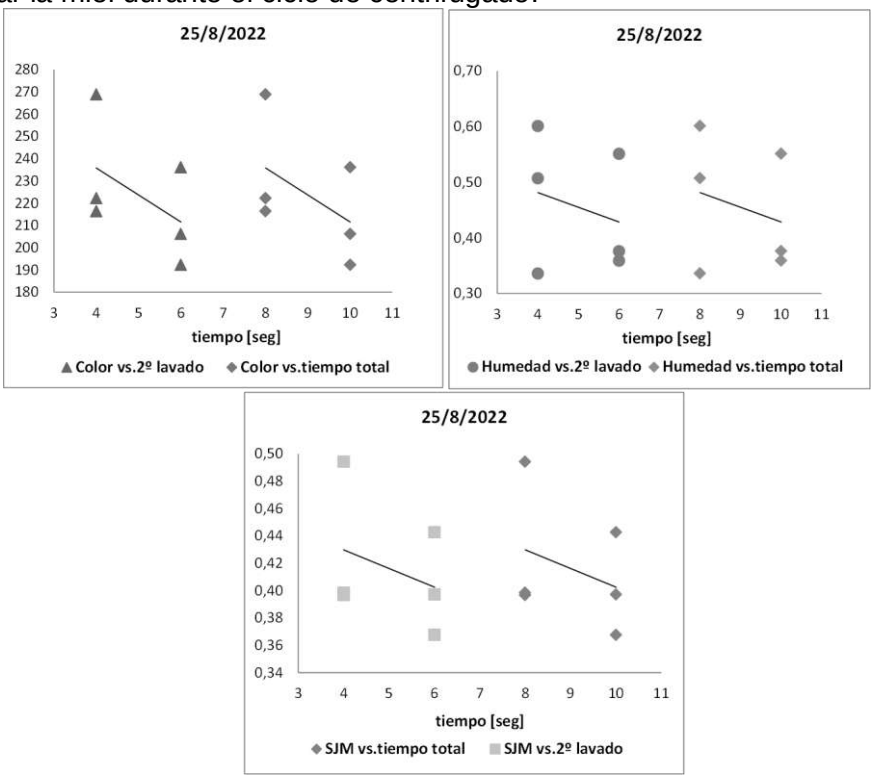


Figura 3. Resultados obtenidos en el ensayo 3: comportamientos del color, la humedad y el parámetro SJM en función del aumento de la duración del segundo lavado y del tiempo total de lavado.

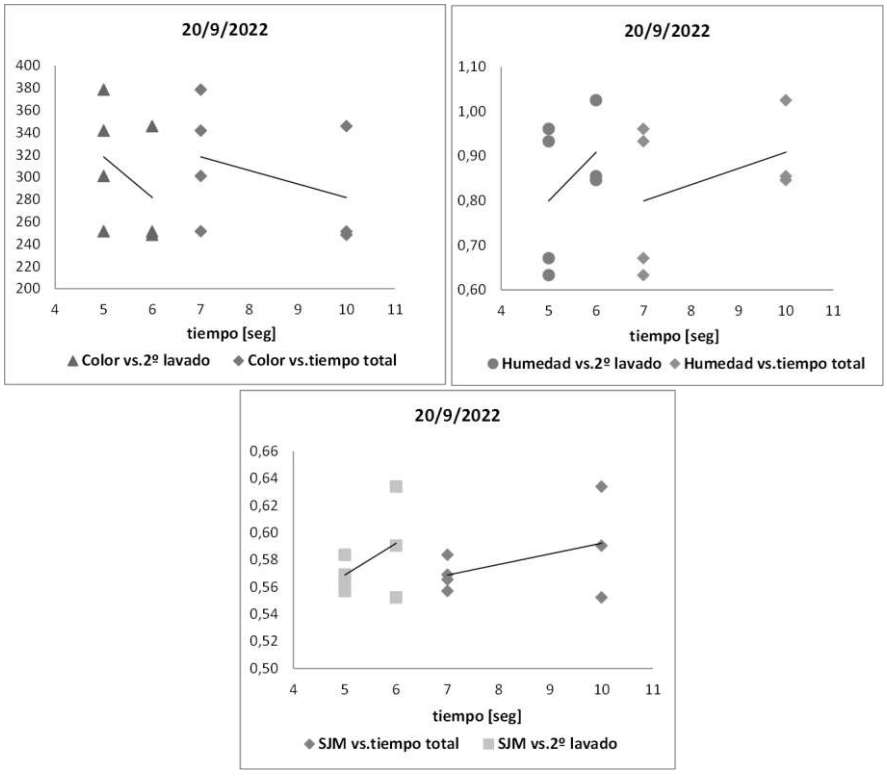
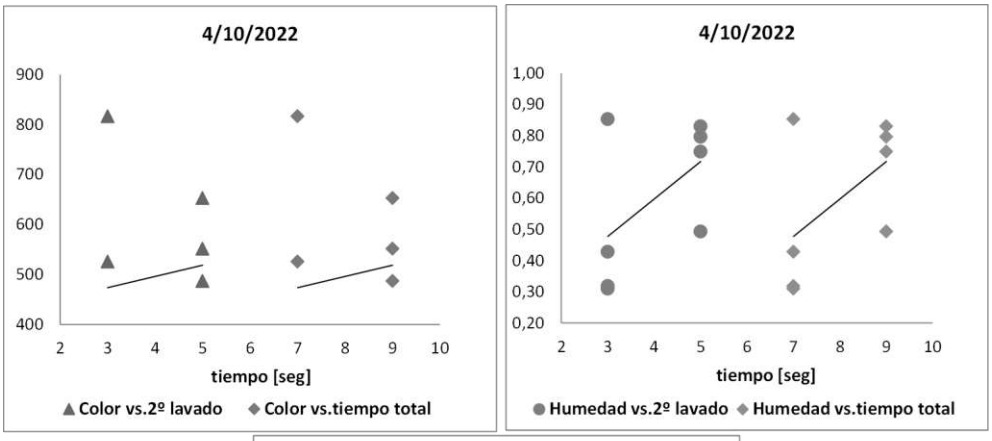


Figura 4. Resultados obtenidos en el ensayo 4: comportamientos del color, la humedad y el parámetro SJM en función del aumento de la duración del segundo lavado y del tiempo total de lavado.



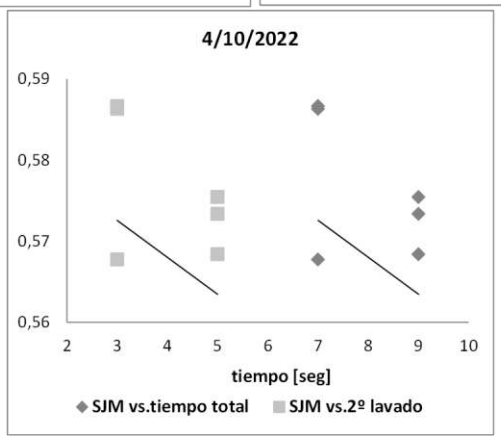


Figura 5. Resultados obtenidos en el ensayo 5: comportamientos del color, la humedad y el parámetro SJM en función del aumento de la duración del segundo lavado y del tiempo total de lavado.

Conclusiones

- La duración del primer lavado impacta sobre los parámetros estudiados en menor medida que la duración del segundo.
- Al disminuir la velocidad de inicio del primer lavado se evidenció un aprovechamiento óptimo de la fuerza centrífuga durante el ciclo, facilitando la purga de la miel.
- La duración del segundo lavado aparece como un factor de compromiso, que demuestra que si se incrementa su duración, el color en el azúcar disminuye, y en contrapartida, la humedad se incrementa y la retención (SJM) disminuye debido a la dilución del azúcar.
- Los tiempos de lavado se encuentran directamente relacionados a la cantidad de agua empleada en los mismos, por lo que la optimización de la operación conduce a un menor uso de dicho recurso.
- Los ensayos realizados muestran que es factible la optimización, por lo que se dará continuidad a estos ensayos para establecer una metodología de operación, ampliando el número de repeticiones y las variables a contemplar.

Bibliografía

P. Rein, Ingeniería de la Caña de Azúcar, 2012. Verlag Dr. Albert Bartens KG
Grimwood, C. & Thewlis, J. & Thompson, P. (2002). Observations on centrifugal operation - Part 1. International Sugar Journal. 104. 554-559.

INFLUENCIA DE LA PRÁCTICA DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA SOBRE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN CAÑA DE AZÚCAR.

Tonatto J.; Garolera De Nucci L. P. y Romero E. R.

Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, William Cross 3150, Las Talitas - Tucumán Argentina, Tel: (54 381) 452 1000. jtonatto@eeaoc.org.ar

Palabras clave: nutrientes, agricultura, herramientas, sustentabilidad, Argentina.

Introducción

Al analizar las tendencias de emisiones antropogénicas netas de gases de efecto invernadero (GEI), responsables del calentamiento global, se observa que estos han aumentado desde 2010 en todos los sectores principales a nivel mundial. Según los informes más recientes del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (Pörtner, 2022), las principales actividades que emiten GEI son, en valores aproximados, los siguientes:

- 34 % (20 GtCO2-eq) del total de emisiones antropogénicas netas de GEI provenientes del sector de suministro de energía,
- 24 % (14 GtCO2-eq) de la industria,
- 22 % (13 GtCO2-eq) de la agricultura, la silvicultura y otros uso del suelo,
- 15% (8,7 GtCO2-eq) del transporte,
- 6% (3,3 GtCO2-eq) del sector de la construcción.

Frente a este contexto, las acciones del sector agrícola son esenciales, no sólo por su repercusión en el medio ambiente, sino porque el sector mismo se ve afectado por las consecuencias del cambio climático (Schmidhuber, 2007). Las contribuciones regionales a las emisiones globales de GEI mantienen notables diferencias entre ellas, con emisiones nacionales per cápita que reflejan en parte diferentes etapas de desarrollo (Pörtner, 2022). Por ello es que se ha dado un mayor énfasis al cambio climático a nivel regional, evaluando riesgos, medidas de adaptación y toma de decisiones a nivel local.

A nivel nacional, el sector agrícola, ganadero y forestal es responsable por el 37% de las emisiones informadas (Moreira Muzio, 2019). Además del indiscutible desafío que plantea el cambio climático y el calentamiento global, el sector agrícola enfrenta el de proveer alimentos a una población en aumento, garantizando su seguridad alimentaria. La agroindustria sucro-alcoholera está comprendida en ellas y es de gran relevancia económica y social a nivel regional en el noroeste argentino. Esta actividad es capaz de producir alimentos, biocombustibles y una serie de derivados o subproductos factibles de ser aprovechados para la generación de energía renovable y otras aplicaciones.

En la búsqueda de un sistema agrícola sustentable, a nivel global se trabaja constantemente para favorecer la adopción de medidas conservacionistas. Sin embargo, en muchos casos se han encontrado resultados contradictorios o inciertos en relación con la sustentabilidad y producción de los sistemas agrícolas al adoptar estas medidas, con una gran influencia de las condiciones ambientales locales y de manejo. (Guo, 2022).

Objetivo

Frente a esta multiplicidad de factores, es necesario cuantificar los impactos de las diversas prácticas de manejo en las emisiones de GEI para tomar decisiones sobre la sostenibilidad agrícola y lograr resultados ecológicos positivos. Por ello, el objetivo de este trabajo fue estimar las emisiones de GEI en la producción del cultivo de caña de azúcar al emplear diferentes fertilizantes nitrogenados en las condiciones agroecológicas de una localidad de la provincia de Tucumán.

Materiales y métodos

El estudio se basó en un ensayo realizado en una plantación ubicada en la localidad de Acheral (Tucumán, Argentina) que corresponde a un ciclo de cultivo (período 2020/2021) e incluye las labores culturales, consumo de combustible diésel, el uso de agroquímicos y la

labor de cosecha para obtener una cantidad definida de materia prima (64,15 t de caña/ha) (Figura 1). Cabe destacar que el análisis no solo incluye las actividades en el campo, sino también la procedencia de los fertilizantes empleados, distancia recorrida desde la planta de elaboración hasta el sitio de uso final y tipo de transporte.

Al ser la caña de azúcar un cultivo semi-perenne (caña planta + 4 socas), se consideró para el período mencionado, la fracción de insumos correspondiente utilizados en la plantación. Por otra parte, no se tuvo en cuenta el transporte de materia prima hasta el ingenio azucarero.

Se consideraron dos sistemas según el tipo de fertilizante nitrogenado empleado: nitrato de amonio calcáreo (CAN) a razón de 67,5 kg N/ha y urea a razón de 115 kg N/ha. Esta última opción corresponde a un manejo agronómico tradicional a nivel local. No se consideraron otras fuentes de nutrientes. La unidad funcional para la comparación de los sistemas bajo estudio es la producción de 1 t caña de azúcar.

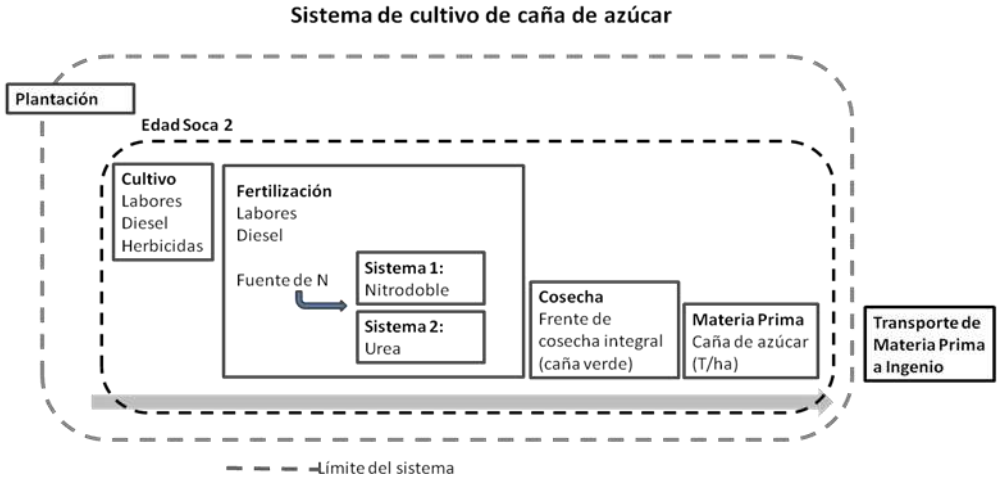


Figura 1: Límite de los sistemas considerados para el cultivo de caña de azúcar: sistema 1 (empleando nitrato de amonio calcáreo) y sistema 2 (empleando urea).

Se empleó una herramienta de libre disponibilidad denominada Cool Farm Tool (CFT) a través de una plataforma en línea (https://coolfarmtool.org). En el mismo se consideran las características climatológicas del sitio, los insumos de producción y otras prácticas de gestión en campo, con las cargas ambientales asociadas a los sistemas de producción. Si bien esta herramienta no sigue una norma en particular, está alineada con diversos estándares y protocolos (IPCC principalmente) para la estimación de GEI, sin reemplazar un análisis de ciclo de vida completo.

Resultados

Las emisiones totales de GEI al emplear CAN fueron 28,8 kg CO2e/t caña y 36,1 kg CO2e/t caña al emplear urea. Las emisiones por unidad de superficie fueron 1848 kg CO2e/ha al emplear CAN, mientras que con urea resultaron en 2317 kg CO2e/ha. La Figura 2 muestra las principales actividades que contribuyen a las emisiones de GEI del cultivo de caña de azúcar empleando dichos fertilizantes.

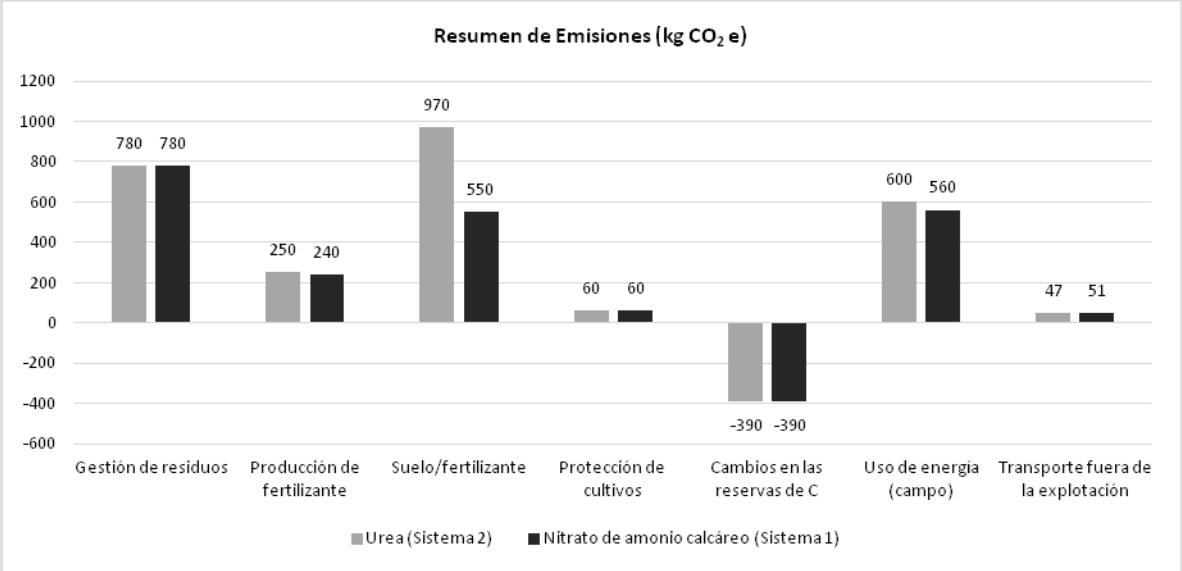


Figura 2: Emisiones totales de GEI para los distintos procesos/actividades que intervienen en el cultivo de caña de azúcar.

Se destaca un efecto favorable al usar CAN como fuente de N ya que las emisiones originadas en el suelo por el uso de fertilizantes se reducen en 43% respecto de la urea. Esta diferencia estaría relacionada al mayor uso de nutrientes, eficiencia agronómica y baja volatilización asociados a dicho producto (Leggio Neme, 2018). Se suma el menor consumo total de combustible diésel al emplear CAN (representado por Uso de Energía), a través de una labor de abonado en superficie, una mayor capacidad de trabajo y menor demanda de potencia para su ejecución.

Finalmente, como se observa en la Figura 3, los resultados de emisiones relacionadas a las labores agrícolas (labores culturales y cosecha) revelan el rol preponderante de la cosecha mecanizada en verde debido al elevado consumo de diésel (1,8 – 2 lt diésel/t caña cosechada para el frente de cosecha completo). Sin embargo, resulta interesante destacar la diferencia en aporte de emisiones según el tipo de fertilizante usado:

- En el Sistema 1: al emplear CAN, la participación porcentual es 0,9% respecto del total originado por el uso de combustible. Dicho valor favorable se basa en la capacidad de trabajo de los equipos de fertilización neumáticos (abarcando múltiples surcos de cultivo por cada paso de maquinaria) con una baja demanda de potencia.
- En el Sistema 2: al emplear urea, la participación es de 8,7%, valor asociado a una aplicación de producto incorporada en el suelo con una menor capacidad de trabajo y mayor demanda de potencia.

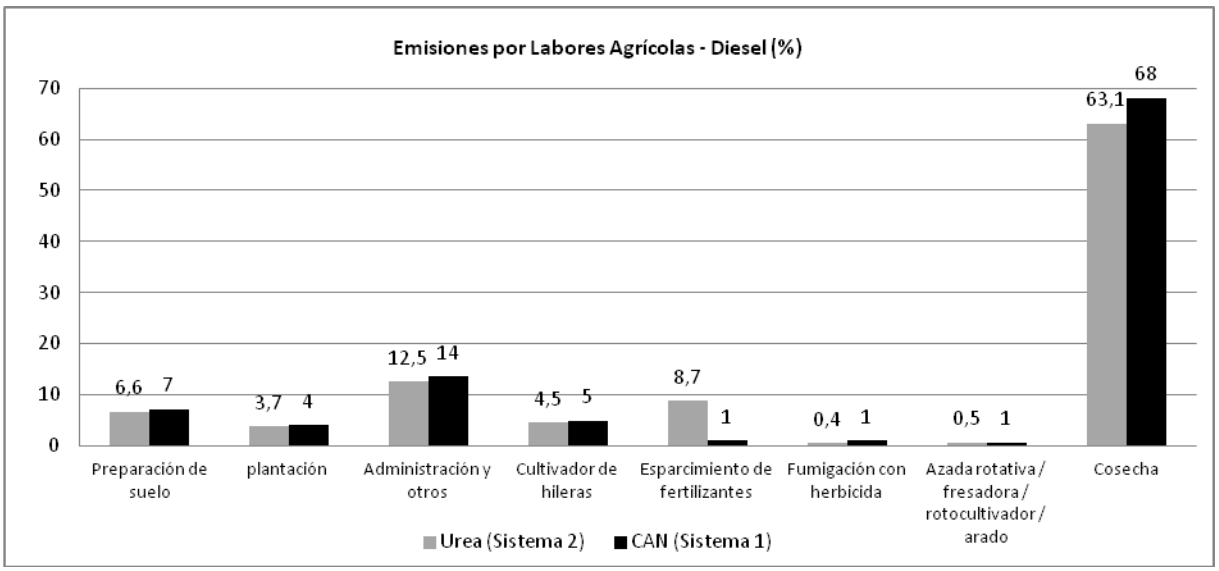


Figura 3: porcentaje de emisiones de GEI correspondientes a las labores agrícolas y su consumo de combustible diésel asociado.

Conclusiones

Los resultados obtenidos manifiestan una disminución en la estimación de emisiones de GEI asociados al uso de una práctica de fertilización alternativa empleando CAN como fuente de nitrógeno. Se combinan beneficios propios de su etapa de producción y uso en campo, ventajas agronómicas y operativas durante su etapa de aplicación. Además, se observa la relevancia que adquiere en ambos sistemas el uso de energía a través del combustible diesel, siendo necesario su constante control y optimización.

La herramienta CFT presenta ciertas limitaciones para el ajuste del análisis pero se destaca su facilidad de empleo para el sector agrícola en general. Resulta un recurso de fácil acceso y con información adecuadamente organizada para el análisis y la optimización de actividades agrícolas bajo un enfoque de sustentabilidad. Cabe desctacar que el presente trabajo se desarrolló en el marco de un convenio de I+D+i entre Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres y YARA Argentina.

Bibliografía

1. Guo, C., Liu, X., & He, X. (2022). A global meta-analysis of crop yield and agricultural greenhouse gas emissions under nitrogen fertilizer application. Science of The Total Environment, 831, 154982.
2. Leggio Neme, M. F.; Alonso, L. G.; Fernández González, P.o G.; Luque, B.; Quintana, D.; Paredes, V. y Romero, E. R. 2018. Evaluación del nitrato de amonio calcáreo como fertilizante nitrogenado en caña de azúcar en Tucumán, Argentina. Memorias del XI Congreso ATALAC - TECNICAÑA – 2018. Cali, Colombia.
3. Moreira Muzio, M. 2019. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero: Argentina2019 / Macarena Moreira Muzio; Fabián Gaioli; Sebastián Galbusera. - 1a ed. – Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.
4. Schmidhuber, J., & Tubiello, F. N. (2007). Global food security under climate change. Proceedings of the National Academy of Sciences, 104(50), 19703-19708.
5. Pörtner, H. O., Roberts, D. C., Adams, H., Adler, C., Aldunce, P., Ali, E., ... & Birkmann, J. (2022). Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. IPCC Sixth Assessment Report.

VALORACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE BIOMASA LIGNOCELULÓSICA DE TUCUMÁN, ARGENTINA, SEGÚN ÍNDICES DE OXÍGENO E HIDRÓGENO

Zamora Rueda G. del H.; Golato M. A.; Machado W. D. y Paz D.

Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, Sección Ingeniería y Proyectos Agroindustriales, Av. William Cross 3150-Las Talitas- Tucumán- Argentina

gzamora@eeaoc.org.ar; mgolato@eeaoc.org.ar

Palabras clave: biomasa lignocelulósica, caracterización, aprovechamiento energético, biocombustible

INTRODUCCIÓN

En Tucumán- Argentina, más del 90% de la caña de azúcar se cultiva en las regiones del Pedemonte, la Llanura Central o Deprimida y en la Llanura Chaco-pampeana, obteniendo subproductos de la caña de azúcar como son bagazo y residuo agrícola de cosecha de caña de azúcar (RAC). El bagazo es el subproducto producido durante la molienda de la caña de azúcar para la obtención del jugo de caña. Es una biomasa lignocelulósica constituida por: fibra, sólidos insolubles, sólidos solubles y agua. Otro subproducto de la caña de azúcar para aprovechamiento energético, es el residuo agrícola de la cosecha de caña de azúcar (RAC), biomasa que queda en campo posterior a la cosecha.

Para poder caracterizar una biomasa como combustible es de vital importancia conocer parámetros físicos, químicos y energéticos. Asimismo, para la clasificación y representación de los combustibles, se estudió el índice de hidrógeno y de oxígeno elemental propuesto por Van Krevelen en 1950, este ha cobrado cada vez más relevancia en el ámbito de la bioenergía (Guachi Cabrera, 2019, Kumar *et al.*, 2019 y Van Krevelen,1950). Este diagrama es útil para definir la calidad de un material orgánico como posible combustible, el tipo de combustible en función de la calidad del mismo en relación a su capacidad de reacción y al impacto que provoca al medioambiente.

El objetivo del presente estudio es mostrar los resultados de las caracterizaciones físico, químicas y energéticas de los subproductos de la caña de azúcar de Tucumán, Argentina, con mayor potencial de aprovechamiento energético, como son el bagazo de caña de azúcar y el RAC, con especial interés en las determinaciones de las relaciones H/C y O/C y la ubicación de las mismas en un diagrama de Van Krevelen en comparación con otros tipos de combustibles sólidos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las biomasas en estudio fueron bagazo de caña de azúcar proveniente de diferentes ingenios tucumanos, y residuos agrícolas de cosecha de la caña de azúcar de las diferentes zonas agroecológicas de Tucumán, Argentina, recolectados luego de un período de secado natural al campo. Se recolectaron 20 muestras por cada biomasa analizada durante las zafras 2019y 2020 y las mismas fueron procesadas y caracterizadas en el Laboratorio de Ensayos Energéticos de Biomasa (LEEB), pertenecientes a la Sección Ingeniería y Proyectos Agroindustriales de la EEAOC. Se realizaron todas las determinaciones por duplicado.

Inicialmente las muestras se secaron en estufa a 105ºC hasta peso constante y picaron en un molino marca FRISTCHER, modelo Pulverisette 19, con malla de tamizado de 1mm. Para los análisis inmediatos se realizaron en el equipo termogravimétrico TGA 701, los de composición elemental en el analizador elemental CHONS628, los energéticos en bomba calorimétrica IKAC5000 y se calcularon los valores de PCI, según Feijóo *et al.* (2015) y los de fusibilidad de cenizas, en el analizador AF700. Todos estos análisis se encuentran bajo normas

estandarizadas ASTM y con equipamiento automatizado, moderno y de atmósfera controlada. Para la construcción del diagrama de Van Krevelen, se determinaron las relaciones molares H/C y O/C, para cada una de las biomasas analizadas, siguiendo la metodología propuesta por este autor.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 informa los resultados promedio de los análisis inmediatos, elementales, energéticos y los índices de hidrógeno y oxígeno elemental para las muestras de bagazo y RAC de Tucumán. Además, en la tabla se muestra una comparación de los valores de los parámetros respecto a los encontrados por otros autores. Se puede observar que, para las biomasas estudiadas, la que presenta mayor contenido de humedad (W) es para el bagazo (51,79%) y seguido del RAC (15,78%). Cabe destacar que la humedad de un combustible es importante no tan solo desde el punto de vista logístico para aquellas biomasas que deban ser transportadas a granel, sino también influye negativamente en el proceso de combustión de la misma. El RAC presentó los mayores valores promedio de cenizas (CZ) (12,36%), seguido el bagazo (4,93%). Un elevado contenido de cenizas, influye en la calidad de la combustión (menor PCS); y en la cantidad de paradas de la caldera para su limpieza, ya que habrá una mayor proporción de material inorgánico que habrá que retirar del hogar. Con respecto al contenido de sólidos volátiles (SV), el bagazo presentó la mayor cantidad del mismo (77,93%), seguido por el RAC (70,64%). En relación al carbono fijo (CF), el bagazo presentó el mayor valor (17,14%) y posteriormente del RAC (17,00%). En cuanto a los análisis energéticos, el mayor poder calorífico superior (PCS) se obtuvo para el bagazo (17.893 kJ/kg), seguido del RAC (16.668 kJ/kg). Esto se debe principalmente al contenido de material inerte (cenizas) que acompaña a la biomasa durante el proceso de combustión, que disminuye la cantidad de energía desarrollada por unidad de masa. Para el poder calorífico inferior (PCI) presenta un mayor valor el RAC (12.726 kJ/kg), seguido del bagazo (6.706 kJ/kg). Esto se debe principalmente al contenido de humedad que acompaña que disminuye la cantidad de energía. Estos resultados coinciden con los indicados por Bizzo *et al.* (2014), Cruz *et al.* (2016) y Zamora *et al.* (2019).

Los resultados del análisis de la composición elemental de las biomasas, arrojaron que el bagazo presentó menores valores del contenido de carbono, que desde el punto de vista ambiental se traduce en menores emisiones de CO_2 a la atmósfera. Asimismo, el bagazo presentó menores valores de cloro y azufre, por lo que los gases producto de la combustión tendrían menores contenidos de cloruro de hidrógeno y de óxido de azufre. Estos resultados son semejantes a los informados por Bizzo *et al.* (2014), Cruz *et al.* (2016) y Zamora *et al.* (2019). En cuanto a los resultados de las relaciones molares para las biomasas estudiadas, se puede observar que el del bagazo mostró valores mayores de H/C de 1,83 y O/C de 0,89; y el RAC, con valores de H/C y O/C de 1,58 y 0,86, respectivamente. Estos resultados coinciden con los observados por Guachi Cabrera (2019), que indicó valores promedio para bagazo de H/C y de O/C de 1,90 y 0,90, respectivamente, analizados en Ecuador. Asimismo, Kumar *et al.* (2019), informó valores promedio de H/C de 1,60 y O/C de 0,75 para esta misma biomasa analizadas en la India. No se encontraron valores de las relaciones molares para RAC. Además, estos autores estudiaron la relación H/C para diferentes tipos de biomasa para ser aprovechada en procesos de pirólisis. También, indicaron que el bagazo de caña de azúcar se encuentra en una zona apropiada para el desarrollo de este proceso termoquímico, ya que posee valores adecuados de H/C y cuenta con una estructura lignocelulósica conveniente. Es importante destacar que la cantidad de materia volatilizada durante un proceso termoquímico está relacionado con el contenido elemental de C, H y O, cuanto mayor sea la relación H/C mayor será el contenido de volátiles; y éste disminuirá cuando mayor sea la relación O/C. Asimismo, la cantidad de volátiles (SV), influye en la degradación térmica del combustible y en

el desempeño de un determinado proceso termoquímico, ya sea combustión, gasificación y/o pirólisis (Guachi Cabrera, 2019 y Kumar *et al.*,2019). Los resultados obtenidos de SV son representativos al tipo de biomasas lignocelulósicas evaluadas, donde poseen en promedio alrededor de 70% de SV, resultando aptas para los procesos antes mencionados.

Tabla 1: Resultados del análisis inmediato, elemental, energéticos y relaciones molares para bagazo y RAC de Tucumán y comparados con otros autores.

	Bagazo			RAC		
Análisis inmediato	**Este trabajo**	**Bizzo*et al.* (2014)**	**Zamora *et al.*(2019)**	**Este trabajo**	**Bizzo*et al.*(2014)**	**Cruz *et al.* (2016)**
W (%, base húmeda)	51,79		52,54	15,78		16,20
CZ(% base seca)	4,93	5,13	5,77	12,36	7,50	12,51
SV (% base seca)	77,93	80,81	77,21	70,64	82,25	70,81
CF (% base seca)	17,14	19,18	16,65	17,00	10,10	16,69
Análisis elemental (%, base seca)						
C	42,74	42,61	43,90	43,46	42,50	43,96
H	6,51	5,92	5,80	5,72	6,02	5,41
N	0,19	0,63	0,40	0,69	0,60	0,10
O	50,49	50,90	41,20	49,92	50,20	50,46
S	0,19	0,24	0,16	0,25	0,24	0,07
Cl	0,09	0,10	0,14	0,18	0,44	
Análisis energético (kJ/kg)						
PCS (base seca)	17.893	1.772	17.584	16.668	17.100	16.419
PCI (base húmeda)	6.706		6.538	12.726	-	-
Índice de hidrógeno y oxígeno		**Guachi Cabrera, (2019)**	**Kumar et al. (2019)**			
H/C	1,83	1,90	1,60	1,58	-	-
O/C	0,89	0,90	0,75	0,86	-	-

La Figura 1 muestra una comparación entre diferentes combustibles sólidos y el grupo de las biomasas en estudio. Este diagrama de Van Krevelen fue construido a partir de resultados informados por Jenkins *et al.* (1998); y de los resultados de los análisis del presente estudio. En el diagrama se puede observar como los combustibles evaluados quedan representados en una región típica para los combustibles lignocelulósicos, los cuales poseen elevadas relaciones de H/C y O/C. Las biomasas estudiadas se ubican en la parte superior del diagrama, por encima de la madera, presentando mayores relaciones O/C y H/C que la madera. Desde el punto de vista de la combustión, una menor cantidad de C da lugar a menores emisiones de CO_2, por lo que la combustión del bagazo tendría menor impacto al medioambiente en comparación con el RAC. Asimismo, la presencia de hidrógeno en la combustión, implica la formación de agua, por lo que, a menores valores de H, mayor será el PCI del combustible. Este hecho se puede observar en el RAC presenta un menor valor y en relación al bagazo, y los valores de PCI resultaron de 12.726 kJ/kg y 6.706 kJ/kg, respectivamente.

Con respecto al índice de oxígeno O/C, se encontró una mayor relación para el bagazo (0,89) que para el RAC (0,86). Es importante indicar que un mayor índice de oxígeno implicaría un mayor PCS y permitirá una combustión más eficiente. Esto se vio reflejado en los resultados obtenidos para el bagazo, donde O/C fue de 0,89, con un PCS de 17.893 kJ/kg; en comparación del RAC que presenta la menor relación O/C (0,86), con un PCS 16.663 kJ/kg. Además, la relación O/C muestra que el bagazo posee una mayor reactividad, aproximadamente un 3,37% superior respecto al RAC. Esto corrobora que las biomasas ensayadas son aptas para ser utilizado en procesos de conversión termoquímica. Estos

resultados coinciden con los observados por Guachi Cabrera (2019) y Kumar *et al.* (2019), para biomasas del tipo lignocelulósicas.

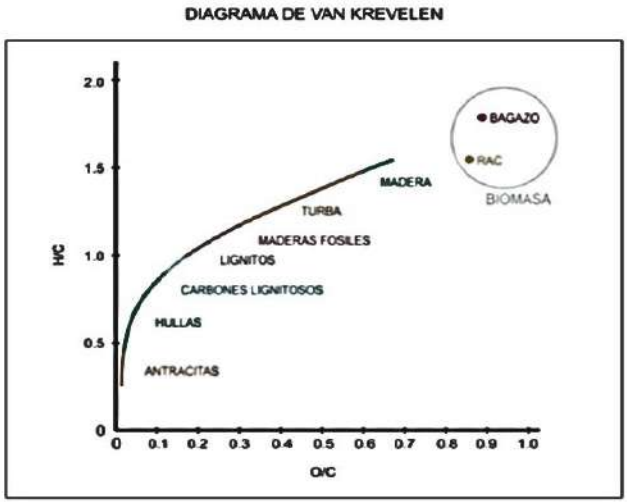


Figura 1: Clasificación de las biomasas de estudio por medio del diagrama de Van Krevelen

La Tabla 2 expone los resultados de las temperaturas de fusibilidad de las cenizas para las muestras de bagazo y RAC de Tucumán. Además, en la tabla se expone la comparación de los valores de los parámetros respecto a los encontrados por otros autores. Las mismas corresponden a las temperaturas características de fusión según lo indicado en la norma ASTM D 1857, que define el inicio de deformación (DT), ablandamiento (ST), semiesfera (HT) y fluidización (FT). Dichas temperaturas fueron determinadas en atmósfera reductora. Asimismo, el bagazo obtuvo mayores valores de DT y HT (1.120°C, 1.286,46°C, respectivamente) y para RAC (1.096,20°C, 1.224,55°C, respectivamente). Las temperaturas de fluidización encontradas durante los ensayos, resultaron cercanos a 1.500°C, que es la temperatura máxima de medición configurada por seguridad en el equipo. Para evitar los problemas asociados a la fusión de los depósitos formados en las distintas superficies de una caldera de vapor, se elige como temperatura límite a HT, a partir de la cual se producen fenómenos de ensuciamiento y escorificación (Nogués *et al.,* 2010). Los resultados de fusibilidad de cenizas obtenidos para bagazo y RAC, resultaron óptimos para el uso de los mismos como combustible en calderas de vapor bagaceras. Puede observarse que las temperaturas características se encuentran en el mismo orden de magnitud que los encontrados en este estudio. (Golato *et al.,* 2021 y Peralta *et al*., 2014)

Tabla 2: Resultados de temperatura de fusibilidad de cenizas, en atmósfera reductora, para bagazo y RAC de Tucumán y comparados con otros autores.

Análisis de temperatura de fusibilidad de cenizas (°C)	**Bagazo**			**RAC**		
Atmósfera reductora	**Este trabajo**	**Peralta *et al.*(2014)**	**Golato *et al.* (2021)**	**Este trabajo**	**Peralta *et al.*(2014)**	**Golato *et al.* (2021)**
Temperatura de inicio de deformación (DT)	1.120,46	1.081,10	1.081,16	1.096,20	1.054,40	1.054,60
Temperatura de ablandamiento (ST)	1.286,45	1.236,60	1.236,64	1.224,55	1.263,00	1.263,22
Temperatura de hemiesfera (HT)	1.395,35	1.385,40	1.385,45	1.361,00	1.374,40	1.375,22

Temperatura de fluidización (FT)	>1.500	>1.500	1.455,88	>1.500	>1.500	1.436,70

CONCLUSIONES

Se ha contribuido con la caracterización de los principales parámetros que definen el perfil de una biomasa combustible para ser aprovechadas en procesos termoquímicos como la combustión, gasificación y la pirólisis. Se analizaron muestras de bagazo de caña de azúcar y residuos de cosecha de la caña (RAC), subproductos de la caña de azúcar. Se determinaron las relaciones de oxígeno (O/C) y de hidrógeno (H/C) para las biomasas en estudio y se confeccionó un diagrama de Van Krevelen con el objetivo de clasificar las mismas dentro del grupo de combustibles sólidos tradicionales utilizados en la industria azucarera.

Los resultados de los análisis fisicoquímicos y energéticos fueron representativos de las biomasas combustibles analizadas para las condiciones de las muestras al momento de los ensayos. Los resultados determinados para el bagazo y RAC de caña de azúcar en este estudio se encontraron dentro de los valores normales para este tipo de biomasa. La clasificación obtenida por medio del diagrama de Van Krevelen coincide con lo observado por otros autores para biomasas lignocelulósicas. El bagazo presentó una relación H/C mayor respecto al RAC. Esto indicaría que el bagazo presentaría menores emisiones de CO_2 y de carbono al ambiente, por lo que resultaría un combustible más sustentable respecto al RAC. Además, el bagazo presentó una mejor característica reactiva en relación al RAC.

En base a estos resultados, las biomasas estudiadas serían aptas para ser aprovechadas en procesos de conversión termoquímica, ya que el mayor contenido de SV permitiría una rápida volatilización de la materia orgánica, que implicaría un mejor encendido de la biomasa en un proceso de combustión y favorecía la generación de gases y de bioaceites durante un proceso de gasificación y/o pirólisis.

CITAS BIBLIOGRAFICAS

Bizzo, W. A.; P.C. Lenço; D.J. Carvalho; and J. P. Soto Veiga. 2014.The generation of residual biomass during the production of bioethanol from sugarcane, its characterization and its use in energy production. Renewable and Sustainable Energy Reviews 29: 589–603.

Cruz, C.; G. del H. Zamora Rueda; M. Golato y D. Paz. 2016. Experiencias entre laboratorios caracterización de biomasas regionales. Argentina (Tucumán) y Brasil (Itajubá). Avance Agroindustrial 37 (4):34-39.

Feijóo, E. A.; M. A. Golato; F. J. Franck Colombres; D. Paz y G. J. Cárdenas. 2015. Características energéticas de los residuos agrícolas de la cosecha en verde de caña de azúcar de Tucumán. Rev. Ind. yAgríc. de Tucumán 92 (2): 23-32.

Golato, M. A.; G. Zamora Rueda; C. Gutierrez; M. G. Mistretta; D. Paz y M. Ruíz. 2021. Características de la fusibilidad de cenizas de bagazo y de residuos de cosecha de caña de azúcar (RAC) de Tucumán - Argentina. Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán 98 (2): 21-27.

Guachi Cabrera, P.E. 2019. Obtención de carbón mediante carbonización hidrotermal utilizando bagazo de caña. Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación para la obtención del título de Ingeniera Química. Universidad Central de Ecuador. Facultad de Ingeniería Química. Quito- Ecuador.

Jenkins, B.M.; L.L. Baxter; Jr.T.R. Miles and T. R. Miles. 1998**.** Combustion properties of biomass**.** Fuel Processing Technology 54:17-46.

Kumar,M.; S.N. Upadhyay and P.K. Mishra .2019. A comparative study of thermochemical characteristics of lignocellulosic biomasses. Bioresource Technology Reports (8): 100186.

Peralta, L.; G. del H. Zamora Rueda; G. Mistretta; H. Zalazar; M. V. Bravo; E.A: Feijóo; M. Golato, D. Paz y G. Cárdenas. 2014. Determinación del punto de fusión de cenizas de bagazo y RAC de Tucumán. pp. 08.63-08.69. En: XXXVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente. Oberá- Misiones- Argentina**.**28 al 31 de octubre 2014. Impreso en Misiones-Argentina. ISBN 978-987-29873-0-5

Van Krevelen, D. W. 1950. Graphical-statistical method for the study of structure and reaction processes of coal. Fuel (29), 269-84.

Zamora Rueda, G. del H.; G. Mistretta; C. Gutierrez; M. Golato; D. Paz and G.J. Cárdenas. 2019. Energy characterization of sugarcane bagasse in Tucumán, Argentina. pp.1000–1004.En: XXX ISSCT Congress Argentina- Tucumán- Argentina. 02 al 05 de Septiembre 2019. Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists (ISSCT). Tucumán- Argentina.

POSTERS

ÁREA INDUSTRIAL

SOCIEDAD ARGENTINA
DE TÉCNICOS DE LA
CAÑA DE AZÚCAR

CARACTERIZACIÓN DE POBLACIONES DE LEVADURAS AUTÓCTONAS DE INDUSTRIAS PRODUCTORAS DE BIOETANOL

Canseco Grellet M.A.[a]; Dantur K. I.[b]; Perera M. F.[b]; Ahmed P. M.[b]; Castagnaro A.[a]; Vera L.[b]; Coronel M. [a]; Welin B.[b]; Ruiz R. M.[a,*]

[a]Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). Av. William Cross 3150. Las Talitas.Tucumán. Argentina. CP: T4101XAC.
[b]Instituto de Tecnología Agroindustrial del Noroeste Argentino (ITANOA). Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). CCT NOA Sur. Av.William Cross 3150. Las Talitas. Tucumán. Argentina. CP: T4101XAC.
[*]dati.eeaoc@gmail.com

Palabras clave: fermentación industrial; caña de azúcar; *Saccharomyces cerevisiae*.

Introducción

La producción de bioetanol a partir de caña de azúcar en la Argentina, se ha incrementado significativamente durante la última década. La provincia de Tucumán cuenta con el mayor número de destilerías y es el principal productor de bioetanol de caña de azúcar del país (311 millones de litros de etanol en zafra 2021).

Las destilerías de bioetanol de caña de azúcar tradicionalmente utilizan levadura de panadería como cultivos iniciadores (Mohd Azhar *et al*., 2017) y operan con sistemas de fermentación por lotes o continuo con reciclo celular. Como los procesos de fermentación industrial utilizan un medio no pasteurizado, puede ser una fuente importante de contaminación por bacterias y levaduras silvestres que pueden pertenecer al género *Saccharomyces* u a otros (Amorim *et al*., 2011).

El reciclo de levadura es uno de los métodos más comunes para aumentar la concentración de células en los tanques de fermentación. Sin embargo, este proceso también mantiene la población de microorganismos contaminantes que contribuyen negativamente a la producción de etanol (Ceccato-Antonini, 2010). Aunque los contaminantes bacterianos pueden controlarse mediante tratamiento con ácido o antibióticos, no existe un protocolo estándar contra la contaminación por levaduras nativas (Beckner *et al*., 2011).

Debido a la gran biodiversidad de levaduras que se encuentra en los ambientes de las destilerías, explorar la diversidad natural de las cepas de *S. cerevisiae* podría resultar interesante tanto para comprender los desafíos que enfrentan las células durante la fermentación como para encontrar cepas con un mejor rendimiento que puedan utilizarse en la producción industrial de bioetanol. Teniendo en cuenta lo descripto anteriormente, el objetivo en este trabajo es realizar la caracterización fenotípica y genotípica de poblaciones de levaduras de destilerías de Tucumán.

Materiales y métodos

Aislamiento y caracterización fenotípica

Se aislaron levaduras a partir demuestras de crema de levadura y mosto fermentado recolectados en 10 destilerías de Tucumán, una vez finalizado el proceso de fermentación del etanol, durante cinco zafras consecutivas. Las muestras se diluyeron sucesivamente, se sembraron en medio extracto de levadura, glucosa y cloranfenicol agar (YGC, Britania) y las placas se incubaron a 30°C durante 5 días (Aparecida Oliveira *et al*., 2008).

La clasificación taxonómica de las colonias aisladas se realizó en base a sus características fenotípicas, las cuales incluyeron tanto aspectos macroscópicos como microscópicos. Las características macroscópicas evaluadas fueron textura, color, superficie, tipo de elevación y borde de la colonia (Kurtzman *et al*., 2011). Se examinó microscópicamente la morfología celular, el modo de reproducción y la forma de agrupamiento (Kurtzman *et al*., 2011).

Se realizó la detección de levaduras salvajes entre los aislados según su crecimiento en medios de cultivo con agentes selectivos (Van Der Aa Kühle y Jespersen, 1998). Estos medios de cultivo permiten detectar características fisiológicas típicas de las levaduras silvestres pero ausentes en el metabolismo de las cepas de *S. cerevisiae* cultivadas como iniciador. Los medio de cultivo Lisina agar (LYS, Oxoid) y Cobre agar (formulado con medio Hongo y Levadura agar, Oxoid y suplementado con 195 mg l^{-1} de $CuSO_4$) se utilizaron para caracterizar las levaduras silvestres no-*Saccharomyces y* el medio cristal violeta agar (CV, Oxoid) como diagnóstico para las levaduras silvestres *Saccharomyces*. En el medio WL Nutrient agar (Oxoid), las levaduras *S. cerevisiae* pueden crecer de color blanco o verde pálido, las levaduras de especies *Saccharomyces* no-*cerevisiae* de color verde oscuro y las levaduras no-*Saccharomyces* de color verde azulado. Las placas con cada medio fueron incubadas 5 días a 30ºC.

Se utilizaron como controles dos cepas diferentes de *S. cerevisiae*, la cepa de levadura de panadería comercial (Calsa), empleada como cultivo iniciador entodas las fábricas estudiadas y la cepa de laboratorio S288C (ATCC).

Identificación molecular y genotipificación

La identificación de levaduras se confirmó a nivel de especie mediante la secuenciación de los dominios D1/D2 del gen 26S ADNr, utilizando los cebadores NL1 y NL4 (Kurtzman y Robnett 1998). La extracción de ADN de levaduras se realizó según Ruiz-Barba *et al*. (2005). La amplificación de ADN se realizó según Arroyo-López *et al*. (2006). Los productos de la PCR se separaron mediante electroforesis en gel de agarosa (1 % p/v) teñido con bromuro de etidio, se purificaron y se enviaron a Stab Vida (Lisboa, Portugal) para su secuenciación. Las secuencias obtenidas se alinearon con el software MEGA5 y se compararon con las secuencias depositadas en la base de dato NCBI con el software BLAST. La identificación se consideró relevante cuando las secuencias de genes amplificados mostraron identidades superiores al 98%.

Los aislados identificados como *S. cerevisiae* se diferenciaron a nivel de cepa mediante análisis de marcadores de repetición de secuencia simple (SSR) (Mercado *et al*., 2007). La extracción de ADN se realizó según lo descrito por López *et al*. (2001) con algunas modificaciones y los loci SSR: YOR267C, TG_VI y GT_X (Jubany *et al*., 2008) se amplificaron por PCR según Canseco Grellet *et al*. (2022). Los fragmentos de PCR se separaron en un gel de poliacrilamida utilizando un analizador de ADN LI-COR 4300 (LICOR Biosciences). Las imágenes se analizaron con el software SAGA™ (LICOR Biosciences) para obtener una matriz de ausencia/presencia. Para realizar el análisis de conglomerados, se utilizó el coeficiente de Jaccard y el método de agrupamiento UPGMA en el software InfoGen/P.

Resultados

Aislamiento y caracterización fenotípica

Se obtuvo un total de 192 aislados de levadura, 164 fueron aislados de procesos de fermentación discontinuos y 28 del único proceso continuo incluido en el estudio.

La caracterización fenotípica permitió clasificar las levaduras en cinco morfotipos de colonia diferentes (Figura 1). El análisis macroscópico reveló que las levaduras aisladas con mayor frecuencia presentaron superficie de colonias lisas, morfotipos A y C, seguidas por el morfotipo rugoso B. Todos los aislados que presentaron el morfotipo A se dispusieron microscópicamente libres o en pares, mientras que las células de levaduras con el fenotipo rugoso (morfotipo B) se encontraron agrupadas en flóculos. La disposición de las levaduras con morfotipo C fue variable. Los diversos morfotipos de colonias, examinados por microscopía óptica, mostraron reproducción asexual por gemación.

Tanto las levaduras con morfotipo A (morfología de colonias lisas, 112) y morfotipo B (rugosas, 22) fueron potencialmente identificadas como *S. cerevisiae* (69,8%). Solo 9 aislados con morfotipo A crecieron en medios CV (color púrpura) y WLN (verde oscuro), por lo que se identificaron como una forma silvestre de *Saccharomyces* sp. (4,7% del total de

aislados). Las 49 levaduras pertenecientes a los morfotipos C, D y E fueron identificadas como levaduras silvestres no-*Saccharomyces* (25,5%), por su crecimiento en medios LYS y/o Cobre (color marrón) y WLN (colonias verdes azuladas).

Ambas cepas control, Calsa y S288C, presentaron una colonia de morfotipo A y fueron clasificadas como *S. cerevisiae*.

Todas las levaduras aisladas de un proceso industrial de fermentación continua identificadas como *S. cerevisiae* exhibieron un fenotipo rugoso con tendencia a formar flóculos (morfotipo B), mientras que en los procesos de fermentación operados por lotes, se aisló una mayor proporción de levaduras identificadas como *S. cerevisiae* con morfología lisa (morfotipo A).

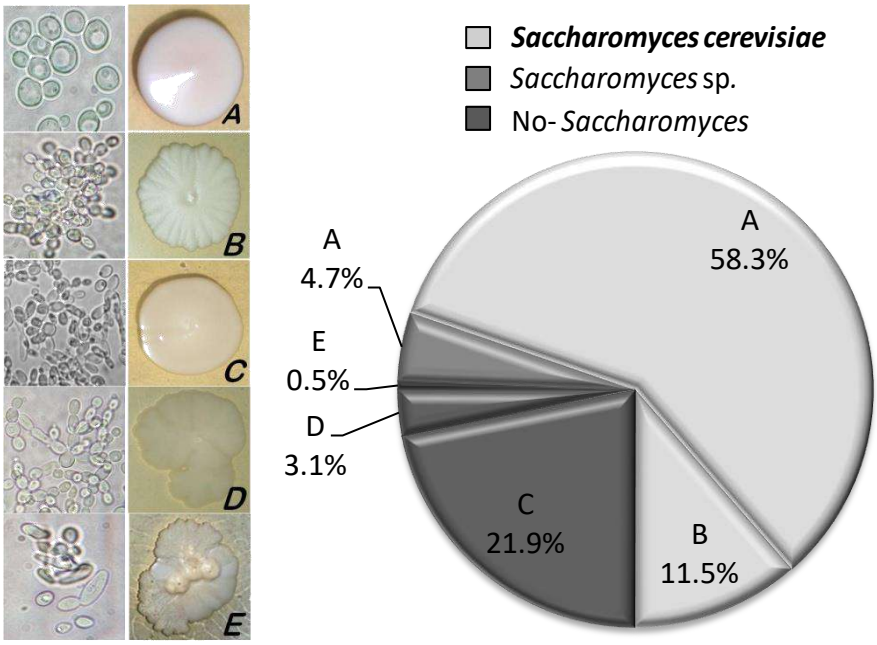


Figura 1: Caracterización morfológica y detección de levaduras salvajes de aislamientos de levaduras autóctonas de producción industrial de bioetanol de caña de azúcar de Tucumán.

Identificación molecular y genotipificación

Los dominios D1/D2 de las levaduras preliminarmente identificadas como *S. cerevisiae* fueron amplificados, secuenciados y analizados por BLAST, para confirmar el resultado de la clasificación obtenido según criterios morfológicos y metabólicos. Se encontraron cuatro secuencias diferentes entre los 14 aislados secuenciados, que compartían una identidad muy alta (99%) entre ellos. Todas las secuencias amplificadas mostraron más del 99% de identidad con cepas de *S. cerevisiae*. Las cuatro secuencias fueron depositadas en GenBank (Nº de acceso OK037040, OK037041, OK037042 y OK037043).

Se generaron los perfiles moleculares a partir del ADN de levaduras identificadas como *S. cerevisiae* para estudiar la diversidad genética de la población de destilerías a base de caña de azúcar a lo largo de varias temporadas de fermentación. Se amplificaron con éxito los tres marcadores microsatélites (GT_X, YOR267c y TG_VI) en todos los aislados seleccionados para el estudio, los cuales generaron cinco bandas por cebador y el tamaño de los fragmentos generados osciló entre 145 y 300 pares de bases (pb). La matriz binaria obtenida a partir de los datos de fragmentos amplificados se analizó para generar un dendrograma mediante el análisis de agrupamiento UPGMA (Figura 2). La correlación cogenética fue igual a 0,829 y la similitud genética osciló entre 0,05 y 1. El genotipado por marcadores SSR mostró que los aislados de *S. cerevisiae* autóctonos de destilerías de etanol de caña de azúcar en Tucumán consisten en genotipos genéticamente muy diversos. Se detectó una alta variabilidad intraespecífica, donde se distinguieron claramente 33

genotipos diferentes de un total de 112 aislados de *S. cerevisiae*. Considerando el 59% de la distancia, se detectaron cuatro grupos principales en el dendrograma obtenido. El primer grupo independiente contiene únicamente la cepa S288C (fuera de grupo). Los otros tres grupos estuvieron constituidos por levaduras industriales y la levadura comercial (A, B y C). El grupo A contiene tres levaduras, dos autóctonas aisladas de una planta industrial (identificadas como Le326 y Le414) y la cepa iniciadora de panificación Calsa; sin embargo, estas dos levaduras solo compartieron alrededor del 67% de similitud con la cepa de panificación. Los grupos B y C contienen casi la totalidad de las levaduras autóctonas de bioetanol. Cabe destacar que los aislados pertenecientes a estos dos grupos compartieron muy poca similitud con la cepa Calsa (≤37%).

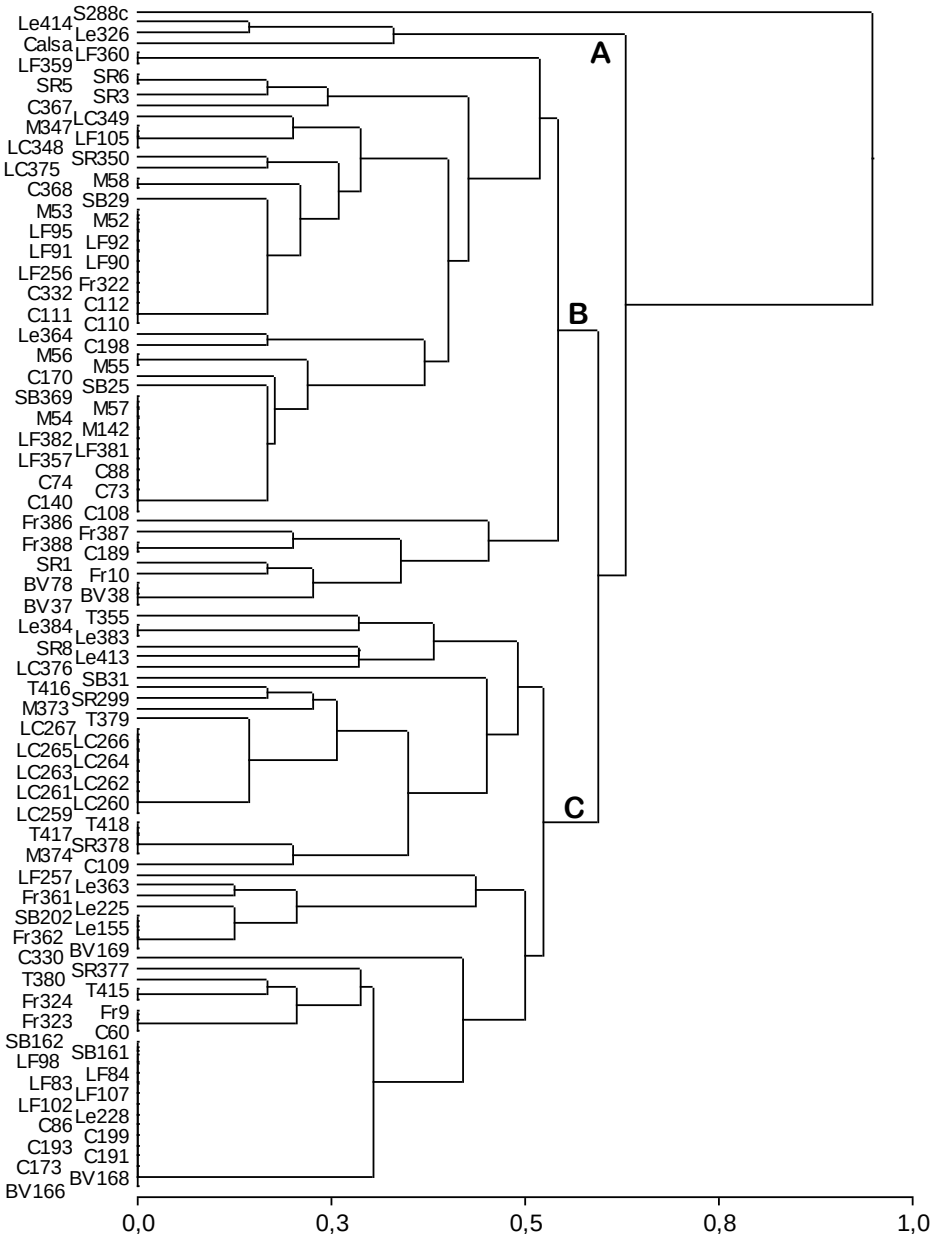


Figura 2: Dendrograma generado luego del análisis de conglomerados a partir de datos moleculares SSR de 112 aisladosde *S. cerevisiae* recolectados de10 destilerías de Tucumán y dos cepas control (Calsa y S288C). Se utilizó el coeficiente de Jaccard y el método de agrupamiento UPGMA con InfoGen presentado como distancia (1-S. S: similitud).

Conclusión

Del total de aislados de levaduras industriales productoras de bioetanol a partir de la caña de azúcar, el 69,8% se identificó como *S. cerevisiae*. En los procesos fermentativos fabriles se encontró también una ocurrencia de levaduras silvestres no-*Saccharomyces* y *Saccharomyces* sp. de 25,5% y 4,7%, respectivamente. La alta frecuencia de levaduras silvestres aisladas de los procesos de fermentación industrial revela la importancia de cuantificar el nivel de infección por levaduras, ya que llevar a cabo un control de rutina permitiría tomar medidas indirectas, como reinocular la cepa de levadura de interés o desinfectar con vapor el sistema, para controlar la contaminación por levaduras salvajes.

El análisis de marcadores moleculares microsatélites reveló una alta variabilidad intraespecífica. Sólo dos levaduras autóctonas mostraron un 67% de similitud con la cepa de panadería mientas que el resto compartió una similitud ≤37%. Estos estudios genéticos demostraron que en los procesos de producción de bioetanol de caña de azúcar en Tucumán con reciclaje de levadura, la levadura común de panadería utilizada como iniciador es rápidamente superada por cepas de levaduras invasoras silvestres o domesticadas, con mejor persistencia en el sistema de reciclaje. El conocimiento generado sobre las poblaciones de levaduras autóctonas en los procesos de fermentación industrial de las destilerías permitirá seleccionar cepas productoras de bioetanol adaptadas.

Bibliografía

Amorim, H. V.; Lopes, M. L.; De Castro Oliveira, J. V.; Buckeridge, M. S.; and Goldman, G. H. (2011). Scientific challenges of bioethanol production in Brazil. *Appl.Microbiol. Biotechnol.91*(5). 1267–1275.

Aparecida Oliveira, V.; Aparecida Vicente, M. A.; Gomes Fietto, L.; De Miranda Castro, I.; Coutrim, M. X.; Schüller, D..Alves, H.; Casal, M.. De Oliveira Santos, J.; Araújo, L. D.; da Silva, P. H. A. and Brandão, R. L. (2008). Biochemical and molecular characterization of *Saccharomyces cerevisiae* strains obtained from sugar-cane juice fermentations and their impact in cachaça production. *Appl. Environ. Microbiol.74*(3).693–701.

Arroyo-López, F. N.; Durán-Quintana, M. C.; Ruiz-Barba, J. L.; Querol, A. and Garrido-Fernandez, A. (2006). Use of molecular methods for the identification of yeast associated with table olives. *Food Microbiol.23*. 791–796.

Beckner, M.; Ivey, M. L. and Phister, T. G. (2011). Microbial contamination of fuel ethanol fermentations. *Lett. Appl. Microbiol.53*(4). 387–394.

Canseco Grellet, M.A.; Dantur, K.I.; Perera, M.F.; Ahmed, P.M.; Castagnaro, A.; Arroyo-Lopez, F.N.; Gallego, J.B.; Welin, B. and Ruiz, R.M. (2022). Genotypic and phenotypic characterization of industrial autochthonous *Saccharomyces cerevisiae* for the selection of well-adapted bioethanol-producing strains. *Fungal Biol.* 126(10). 658-673.

Ceccato-Antonini, S. R. (2010). Microbiologia da fermentação alcoólica A importância do monitoramento microbiológico em destilarias. In *Coleção UAB − UFSCar*.

Jubany, S.; Tomasco, I.; Ponce De León, I.; Medina, K.; Carrau, F.;Arrambide, N.; Naya, H. and Gaggero, C. (2008). Toward a global database for the molecular typing of *Saccharomyces cerevisiae* strains. *FEMS Yeast Res.8*(3). 472–484.

Kurtzman, C. P.; Fell, J. W. and Boekhout, T. (2011). *The Yeast a Taxonomic Study* (5th ed.). Elsevier.

Kurtzman, C. P. and Robnett, C. J. (1998). Identification of clinically important ascomycetous yeasts based on nucleotide divergence in the 5' end of the large-subunit (26S) ribosomal DNA gene. *J. Clin. Microbiol.35*(5).1216–1223.

López, V.; Querol, A.; Ramón, D. and Fernández-Espinar, M. T. (2001). A simplified procedure to analyse mitochondrial DNA from industrial yeasts. *Int. J. Food Microbiol.* 68(1–2). 75–81.

Mercado, L.; Dalcero, A.; Masuelli, R..and Combina, M. (2007). Diversity of Saccharomyces strains on grapes and winery surfaces: analysis of their contribution to fermentative flora of Malbec wine from Mendoza (Argentina) during two consecutive years. *Food Microbiol.24*(4).403–412.

Mohd Azhar, S.; Abdulla, R..; Jambo, S.; Marbawi, H.; Gansau, J.; Mohd Faik, A. and Rodrigues, K. (2017). Yeasts in sustainable bioethanol production : A review. *Biochem. Biophys. Rep.10*.52–61.

Ruiz-Barba, J. L.; Maldonado, A. and Jiménez-Díaz, R. (2005). Small-scale total DNA extraction from bacteria and yeast for PCR applications. *Anal. Biochem.347*(2). 333–335.

Van Der Aa Kühle, A. and Jespersen, L. (1998). Detection and identification of wild yeasts in lager breweries. . *Int. J. Food Microbiol.43*(3). 205–213.

SELECCIÓN DE CEPAS DE LEVADURAS AUTÓCTONAS DE DESTILERÍAS DE TUCUMAN

Canseco Grellet M. A.[a]; Dantur K. I.[b]; Perera M. F.[b]; Ahmed P. M.[b]; Castagnaro A.[a]; Vera L.[b]; Coronel M. [a]; Welin B.[b]; Ruiz R. M.[a,*]

[a]Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). Av. William Cross 3150. Las Talitas. Tucumán. Argentina. CP: T4101XAC.
[b]Instituto de Tecnología Agroindustrial del Noroeste Argentino (ITANOA). Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). CCT NOA Sur. Av. William Cross 3150. Las Talitas. Tucumán. Argentina. CP: T4101XAC.
* dati.eeaoc@gmail.com

Palabras clave: levaduras autóctonas; fermentación industrial; caña de azúcar; *Saccharomyces cerevisiae*; condiciones de estrés.

Introducción

Entre los biocombustibles, el bioetanol es el más utilizado a nivel mundial (Eardley y Timson, 2020). La producción de bioetanol a base de caña de azúcar en Argentina se estimó en 542 millones de litros durante el período de cosecha del año 2021 y contribuyó con aproximadamente el 47% del etanol total producido en el país.

En la producción industrial de bioetanol de caña de azúcar el mosto de fermentación puede estar compuesto por jugo de caña, melaza o una mezcla de ambos, y la levadura de panadería *Saccharomyces cerevisiae* se utiliza frecuentemente como cultivo iniciador (Mohd Azhar *et al*., 2017). Las células de levadura se reciclan mediante centrifugación y tratamiento ácido antes de ser reutilizadas como iniciadores en el siguiente ciclo de fermentación.

Las levaduras industriales están expuestas a diversas condiciones de estrés simultáneas o secuenciales impuestas por el propio proceso, tales como altos títulos de etanol, presión osmótica, alta temperatura, bajo pH e interrupciones del proceso, todas ellas intensificadas por la práctica del reciclaje celular (Basso *et al*., 2011; Walker y Basso, 2020). La capacidad fermentativa y la viabilidad de las células de levadura, así como su capacidad para soportar condiciones industriales estresantes, son características importantes requeridas para la producción eficiente de bioetanol (Stambuk *et al*., 2009). Por lo tanto, el uso de cepas iniciadoras más tolerantes a las condiciones adversas del etanol industrial es una forma prometedora de llevar a cabo una producción de etanol económicamente más viable (Ceccato-Antonini y Covre, 2021). Estudios recientes han demostrado que las cepas *S. cerevisiae* autóctonas de producción industrial de bioetanol podrían ser adecuadas para iniciar el proceso de fermentación fabril, ya que se adaptan/aclimatan mejor a las condiciones operativas de fermentación. Los linajes genéticos “industriales” domesticados de *S. cerevisiae* son más competitivos y posiblemente más tolerantes a diferentes condiciones de estrés industrial que la levadura de panadería habitualmente utilizada como iniciador (da Silva Filho *et al*., 2005; Basso *et al*., 2008).

Teniendo en cuenta los antecedentes citados, se seleccionaron cepas de levaduras industriales adaptadas a las condiciones intrínsecas de producción de bioetanol a través de la evaluación de sus propiedades tecnológicas,fisiológicas y ecológicas.

Materiales y métodos

Cepas de levaduras

Se seleccionaron 52 cepas *S. cerevisiae* autóctonas de procesos de fermentación industrial de 10 destilerías de bioetanol de Tucumána partir de la colección de cultivos del Laboratorio de Investigaciones Microbiológicas (EEAOC, Argentina). El listado de las cepas, sus denominaciones y orígenes se presentan en la Tabla 1. Se utilizó como control la cepa *S. cerevisiae* de panadería comercial (Calsa) generalmente utilizada como cultivo iniciador

en procesos de fermentación de etanol industrial. La cepa de laboratorio S288C para control fue adquirida del Banco Mundial de Recolección de Células (ATCC).

Tabla 1. Levaduras aisladas de procesos de fermentación de destilerías de bioetanol localizadas en Tucumán.

Levaduras	Origen
BV37	Ingenio Bella Vista
C109, C170, C189, C198, C330-2, C367, C73	Ingenio Concepción
Fr10, Fr323, Fr361, Fr386, Fr387	Ingenio Famaillá
LC261, LC348, LC349, LC375, LC376	Ingenio La Corona
Le155, Le225, Le228, Le326, Le363, Le364, Le384, Le413, Le414	Ingenio Leales
LF256, LF257, LF359, LF84	Ingenio La Florida
M373, M53, M56, M57, M58	Ingenio Marapa
SB25, SB29, SB31	Ingenio Santa Bárbara
SR1, SR299, SR3, SR350, SR377, SR5, SR8	Ingenio Santa Rosa
T355, T379, T380, T415, T416, T417	Ingenio La Trinidad

Pruebas de auto-floculación y tolerancia a estrés

La capacidad de floculación espontánea de las levaduras fue observada tanto por visualización de la turbidez de un cultivo líquido como por sedimentación de flóculos en el fondo de tubos, según lo descrito por Guimarães (2005).

La tolerancia al estrés se midió mediante la adición de factores de estrés intrínsecos del proceso fermentativo a las placas con medio Yeast and Mold (YM, Oxoid), que incluyen sacarosa (250, 300 y 350 g l^{-1}), ácido sulfúrico (pH 1,5, 2,0, 2,5 y 3,0) y etanol (8, 12 y 16% (v/v)), o aplicando un estrés extrínseco como alta temperatura (30, 40, 42,5 y 45°C). El crecimiento de las cepas de levaduras se evaluó mediante la visualización de microgotas (diluciones 1, 10^{-1}, 10^{-2} o 10^{-3}) desarrolladas en las placas incubadas a 30ºC por 48 h, por duplicado. Se construyó una matriz de acuerdo con los niveles obtenidos de tolerancia al estrés de las levaduras (Della-Bianca y Gombert 2013).Con los datos obtenidos se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) utilizando el software Infostat para Windows, versión 6.0 (Statsoft Inc.).

Evaluación del potencial fermentativo

Se evaluó el comportamiento (rendimiento de etanol y azúcares reductores residuales totales) y persistencia (viabilidad celular) de 13 cepas de *S. cerevisiae* tolerantes a estrés, a lo largo de cinco ciclos consecutivos de fermentaciones por lote a base de melaza de caña de azúcar (24% (p/v)). Los ensayos de producción de etanol a escala de laboratorio se llevaron a cabo por triplicado, según Basso *et al*. (2008).

Se cuantificaron ART de melaza de caña y mosto de caña de azúcar según métodos modificados de Eynon-Lane (da Silva *et al*., 2003; AOAC 2005; ICUMSA 2007). Al final de cada ciclo de fermentación, se determinaron: 1) viabilidad celularpor recuento de células en cámara de Neubauer después de la tinción con eritrosina (Araoz Martinez *et al*., 2016); 2) azúcares reductores residuales totales (ARRT) por método colorimétrico del ácido dinitrosalicílico (DNSA) (Canseco Grellet *et al*., 2015); y 3) concentración de etanol por destilación en aparato Kjeldahl y lectura en densímetro (da Silva *et al*., 2003).Se determinaron los valores de rendimiento de conversión de etanol y eficiencia de fermentación según COPERSUCAR (1987).

Los datos se analizaron mediante un modelo lineal con una función de correlación AR1 autorregresiva de orden 1 y una función de varianza para cada cepa y para cada lote de fermentación mediante el software Infostat para Windows, versión 6.0 (Statsoft Inc.).

Resultados

Pruebas de auto-floculación y tolerancia a estrés

En la prueba de capacidad de floculación espontánea de las levaduras no se evidenció presencia de cepas autóctonas de bioetanol floculantes. Ambas cepas control de *S. cerevisiae*, S288C y Calsa, presentaron fenotipos de floculación negativos, como se esperaba.

Para el estudio de la tolerancia a factores de estrés, se evaluaron diferentes concentraciones de sacarosa (25, 30 y 35%)y se obtuvo un crecimiento de todas las cepas.

El efecto del etanol fue dependiente de la dosis; cuando se adicionó al medio una concentración de alcohol de 8%(v/v), solo una cepa fue inhibida completamente, con 12% de etanol solo 23 cepas fueron tolerantes y no se observó crecimiento en placas con etanol al 16%.

Todas las cepas fueron capaces de crecer a valores de pH 3,0 y 2,5 siendo solo la cepa de laboratorio S288C susceptible. A mayor acidez se redujo significativamente el crecimiento de las cepas; a pH 2,0 todas las cepas fueron parcialmente tolerantes y a pH 1,5 ninguna cepa fue tolerante.

A 40 y 42,5°C, las cepas mostraron diferentes niveles de estrés por calor y ninguna cepa mostró crecimiento a 45°C.

Los resultados obtenidos de las pruebas de tolerancia al estrés se sometieron a un ACP, las condiciones incluidas fueron temperaturas de 40 y 42,5°C, etanol de 8 y 12 % (v/v) y pH de 2,0 y 2,5 (biplot representado en Figura 1). Las condiciones causantes de estrés que ejercieron mayor presión selectiva revelaron una correlación positiva entre sí, es decir, las levaduras termotolerantes (42,5ºC) también fueron tolerantes a pH bajo (2,0) y concentraciones de etanol de 8%(v/v).

Se puede observar una gran disimilitud entre las levaduras controles (Calsa y S288C) y la mayoría de las levaduras autóctonas en base a su nivel de tolerancia a acidez, alta temperatura y etanol. Se encontraron 38 cepas autóctonas multitolerantes a 40 y 42,5°C, a pH 2,0 y 2,5 y al 8% de etanol, de las cuales, 18 levaduras también fueron resistentes al 12% de etanol.

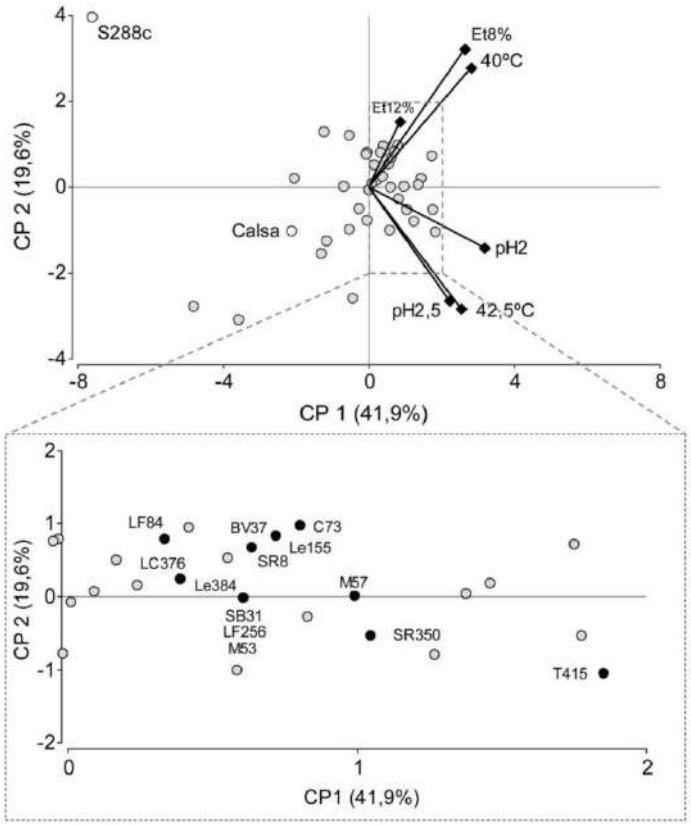


Figura 1: Biplot del Análisis de Componentes Principales (ACP) de las pruebas de tolerancia al estrés realizadas en las 52 cepas de *S. cerevisiae* más las dos cepas controles Calsa y S288C. Los factores causantes del estrés se representan con líneas negras con rombos y las cepas de levadura no seleccionadas y seleccionadas para pruebas de potencial fermentativo con círculos grises y negros, respectivamente.

Evaluación del potencial fermentativo

De estas 38 cepas tolerantes a estrés, se seleccionaron 13 para las pruebas de fermentación discontinua a base de caña de azúcar con reciclo celular (BV37, C73, LC376, Le155, Le384, LF84, LF256, M53, M57, SB31, SR8, SR350 y T415). En las Figura 2 se observan los valores de alcohol producido (A), eficiencia de fermentación (B), ARRT (C) y viabilidad celular (D) de levaduras después de 5 lotes de fermentación.

No se encontraron diferencias significativas en el etanol producido entre las cepas de levadura luego de 5 lotes de fermentación, donde todas las cepas produjeron entre 9,6 ± 0,1 y 10,3 ± 0,2 % (v/v) de etanol, excepto las cepas T415 y SR8 que produjeron 9,6 % (v/v) de etanol en el primer y quinto ciclo de fermentación, respectivamente.

Se obtuvo un valor promedio de eficiencia de fermentación para todos los lotes de fermentación y levaduras igual a 0,576 mL g^{-1}, equivalente al 88,9%. En general, la eficiencia de producción de etanol más baja se obtuvo en el primer lote de fermentación mientras que los valores más altos se registraron en los lotes de fermentación intermedios (3 y 4). Sólo la cepa, SR8 mostró una eficiencia de fermentación menor en el último lote (82,4%), lo que se explica por una reducción importante en la producción de etanol (9,6% v/v), yque puede relacionarse con un valor significativamente menor de viabilidad celular final

Las concentraciones de ARRT no mostraron diferencias significativas entre cepas a lo largo de los lotes de fermentación.

La viabilidad celular exhibió diferencias significativas entre las cepas estudiadas. Todas las cepas comenzaron el primer lote de fermentación con alta viabilidad celular (99,1 ± 0,6% v/v), solo la cepa LF84 conservó ese alto porcentaje de viabilidad celular hasta el lote 4. La viabilidad celular de la mayoría de las cepas mostró una disminución gradual después del segundo lote de fermentación. Las cepas SR8 y LC376 mostraron una viabilidad significativamente menor en cada ciclo de fermentación, alcanzando valores <60% (v/v) después del lote 5. Las cepas autóctonas BV37, Le155, Le384, LF84, M57, T415, C73, M53, SB31 y SR350 mostraron persistencia y alta viabilidad celular a lo largo de los reciclos de fermentaciones por lote, además de alta eficiencia de producción de etanol a partir de melaza de caña de azúcar en condiciones típicas de procesos industriales.

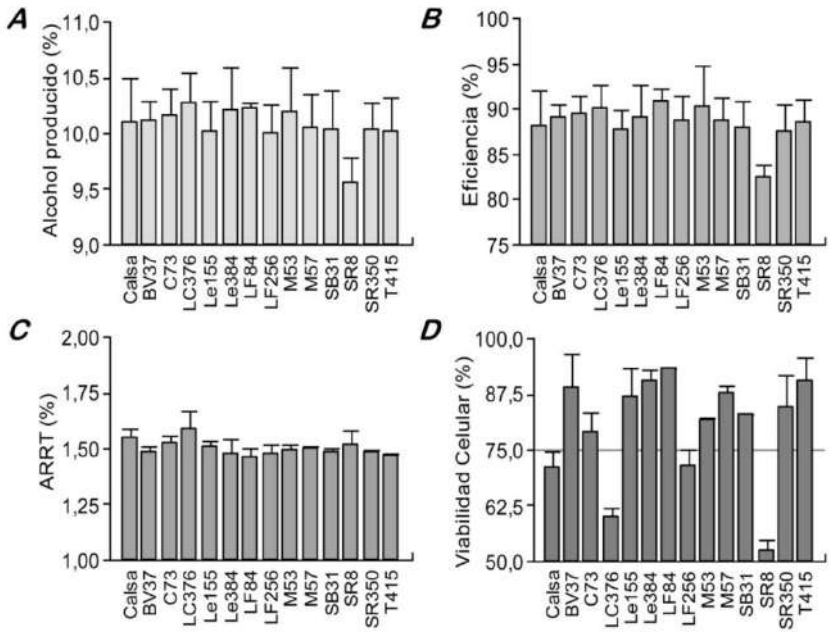


Figura 2: Alcoholproducido (A), Eficiencia de fermentación (B), Azúcares Reductores Residuales Totales (ARRT, C) y Viabilidad Celular (D) de 14 levaduras (13 cepas industriales y 1 cepa comercial) en el quinto lote de fermentación de melaza de caña de azúcar. Los valores son promedios de experimentos por triplicado.

Conclusiones

De las 52 cepas industriales estudiadas, se encontró que 38 poseían un fenotipo multitolerante y entre ellas se identificaron 10 cepas que mantuvieron su viabilidad (>80%) a lo largo de los cinco ciclos de fermentaciones a base de caña de azúcar (persistencia). Estas cepas autóctonas resultaron ser superiores a la levadura de panadería Calsa (utilizada como cultivo iniciador en tanques de fermentación) en términos de propiedades tecnológicas, fisiológicas y ecológicas óptimas, tales como ausencia de floculación celular, mayor tolerancia al estrés y persistencia de la viabilidad celular a lo largo de las fermentaciones por lotes con reciclocelular.

Este trabajo permitió seleccionar cepas productoras de bioetanol adaptadas para ser utilizadas como posibles cepas iniciadoras en los procesos de fermentación industrial de las destilerías productoras de bioetanol.

Bibliografía

AOAC (2005) Official methods of analysis of AOAC International. eds. Horwitz, W. and Latimer, Jr., G.W. *AOAC International*: Gaithersburg. Maryland. USA.

Araoz Martinez, J. L.; Cardenas, G.; Ruiz, M. and Gusils, C. (2016). Análisis comparativo de colorantes vitales en el estudio de la viabilidad de levaduras. *Rev. Ind. Agríc. Tucumán*. *93*(1). 39–42.

Basso, C.; De Amorim, H. V.; De Oliveira, A. J. and Lopes, M. L. (2008). Yeast selection for fuel ethanol production in Brazil. *FEMS Yeast Res*.*8*(7). 1155–1163.

Basso,L. C.; Basso, T. O. and Rocha, S. N. (2011). Ethanol Production in Brazil : The Industrial Process and Its Impact on Yeast Fermentation. In M. A. Dos Santos Bernardes (Ed.).*Biofuel Production-Recent Developments and Prospects* (pp. 85–100). InTech.

Canseco Grellet, M. A.; Aráoz Martínez, J. L.; Gusils. C. and Zossi. S. (2015). Validación de metodología para determinación de azúcares reductores totales en vinos fermentados. *Rev. Ind. Agríc. Tucumán*. *92*(2). 33–38.

Canseco Grellet., M. A.; Castagnaro, A.; Dantur, K. I.; De Boeck, G.; Ahmed, P. M.; Cárdenas, G. J.; Welin, B. and Ruiz, R. M. (2016). A modified indirect mathematical model for evaluation of ethanol production efficiency in industrial-scale continuous fermentation processes. *J. Appl. Microbiol*.*121*(4). 1026–1037.

Ceccato-Antonini, S. R..and Covre, E. A. (2021). From baker's yeast to genetically modified budding yeasts: the scientific evolution of bioethanol industry from sugarcane. *FEMS Yeast Res*.*20*(8).

COPERSUCAR (1987) FERMENTAÇÃO 1a ed. São Paulo. Brasil: Cooperativa de Productores de cana. açúcar e álcool do Estado de São Paulo LTDA.

da Silva Filho, E. A.; Brito dos Santos, S. K.; Resende, A. do M..de Morais, J. O. F.; de Morais, M. A. and Ardaillon Simões, D. (2005). Yeast population dynamics of industrial fuel-ethanol fermentation process assessed by PCR-fingerprinting. *Antonie van Leeuwenhoek*.*88*(1). 13–23.

da Silva, L. F.; Bernardino, C. D.; Ré, F. D.; Furtado, C. H. and Amorim, H. V. (2003). *Métodos analiticos para o controle da producao de acucar e alcool* (Fermentec (ed.); 3rd ed.).

Della-Bianca, B. E. and Gombert, A. K. (2013). Stress tolerance and growth physiology of yeast strains from the Brazilian fuel ethanol industry. *Antonie van Leeuwenhoek.J. Gen. Appl. Microbiol*.*104*(6). 1083–1095.

Eardley, J. and Timson, D. J. (2020). Yeast Cellular Stress: Impacts on Bioethanol Production. *Fermentation*. *6*(4). 109.

Guimarães, T. M. (2005). Isolamento . Identificação e seleção de cepas de levedura *Saccharomyces cerevisiae* para elaboração de vinho. In *Setor de Ciências da Saúde*. Universidade Federal do Paraná.

ICUMSA (2007) International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis. *Method Book*. Ed. Bartens. A. Verlag Dr. Albert Bartens: Berlín. Germany.

Mohd Azhar, S.; Abdulla, R..; Jambo, S.; Marbawi, H.; Gansau, J.; Mohd Faik, A. and Rodrigues, K. (2017). Yeasts in sustainable bioethanol production : A review. *Biochem. and Biophys. Rep*.*10*. 52–61.

Stambuk, B. U.; Dunn, B.; Alves, S. L.; Duval, E. H. and Sherlock, G. (2009). Industrial fuel ethanol yeasts contain adaptive copy number changes in genes involved in vitamin B1 and B6 biosynthesis. *Genome Res*. *19*(12). 2271–2278.

Walker, G.M.; Basso, T.O. (2020). Mitigating stress in industrial yeasts. *Fungal Biol*. 124(5), 387-397.

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS DE VINAZA A DISTINTAS CONCENTRACIONES DE SÓLIDOS Y SUS CONDENSADOS

Autores: Coria, L*.; Acuña, F*.; Coronel, M., Juarez, G.; Molina, F*., Machado, D.*; Quaia, E*.; Mirande, J.***, *Proyecto Estudios Ambientales, ** Sección Química. EEAOC, Av. William Cros 3150, Las Talitas Tucumán, *** Grupo Los Balcanes.
lcoria@ eeaoc.org.ar.

Palabras clave: Vinaza, bagazo, biocombustibles, cenizas, fertilizantes

INTRODUCCIÓN

La vinaza cuenta con distintas opciones para aprovechar los subproductos que le den valor agregado y así aproximar al sistema sucroalcoholero al nuevo modelo productivo, cuyo eje está centrado en la economía circular, y convertirlo en una verdadera biorrefinería. Dentro de esas opciones pueden mencionarse prácticas como: el uso de vinaza sin tratamiento previo para el riego de cañaverales productivos o su disposición en suelos salinos sódicos, que ayudaría a mejorar su condición; la biometanización, con producción de energía y enmienda orgánica rica en potasio y nitrógeno; el compostaje, también como enmienda orgánica y la concentración con distintos fines (Morandini et al, 2013).

La concentración de la vinaza es una opción que brinda flexibilidad de usos delproducto obtenido, que van desde su utilización como mezcla en el compostaje, en conjunto con otros derivados de la actividad sucroalcoholera, su aplicación directa en el suelo o su incineración en calderas con fines energéticos que, además, presenta la posibilidad de recuperar las cenizas ricas en potasio de gran valor como fertilizantes.

Si se pretende aplicarla en suelos, la concentración por sí sola ya genera una disminución del costo de transporte por la reducción de su volumen, siendo factible además, recuperar el vapor generado para ser reutilizado dentro de la fábrica o como agua de riego.

La concentración se realiza mediante evaporación térmica del agua contenida en la vinaza. El porcentaje de sólidos puede elevarse desde 5%-8% hasta 60%, aunque hoy, empresas de origen indio ofrecen tecnología con la que se alcanza el 72% de sólidos. (Jalgaonkar, 2021).

Las vinazas concentradas, en sus diferentes etapas, deben ser caracterizadas para seleccionar su uso con mejor criterio (aplicación en suelo, combustión o compostaje), al igual que los condensados generados.

El presente trabajo se realizó como resultado de un estudio solicitado por el grupo los Balcanes, previo a la instalación de un concentrador de vinaza, en el complejo sucroalcoholero La Florida.

OBJETIVOS

Estudiar las características fisicoquímicas de la vinaza y sus condensados en distintos grados de concentración, para definir los productos en las diversas etapas de la concentración, con el fin de disponer de información útil para el diseño de concentradores de vinaza y contar con elementos para discutir sobre su uso o aprovechamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó con muestras de vinazas tomadas de la destilería del grupo Los Balcanes, en los meses de Abril y Octubre del 2017, provenientes de mostos de fermentación elaborados con diferentes componentes, como se describen a continuación:

- Vinaza 1: Melaza + jugo,
- Vinaza 2: Melaza + agua

Para la operación de concentración se empleó un calentador de acero inoxidable abierto de 7l de capacidad. Se trabajó en una primera etapa las vinazas crudas, con una concentración inicial de 4°Bx y 5,5°Bx, hasta alcanzar un volumen de aproximadamente 1 litro de productos concentrados a 10°Bx, 20°Bx, 30°Bx, 40°Bx y 50 °Bx respectivamente. Con cada uno de esos productos se procedió a trabajar en un destilador de laboratorio cerrado con un refrigerante y agitación magnética, para recuperar los respectivos condensados. Se realizaron las caracterizaciones fisicoquímicas de los productos en cada etapa del proceso.

Los ensayos se realizaron por duplicado en el Laboratorio de Investigaciones Ambientales de la Sección Ingeniería y Proyectos Agroindustriales de la EEAOC y las determinaciones analíticas se realizaron en el Laboratorio de Aguas y Efluentes de la Sección Química. Las determinaciones fisicoquímicas fueron realizadas siguiendo el lineamiento del Standard Methods (APHA 2017) y son las siguientes:

Demanda química de oxígeno (DQO): método colorimétrico en reflujo cerrado (Método 5220D). Se utilizó un digestor HACH DRB200 y un espectrofotómetro Perkin Elmer para la lectura de las absorbancias.

pH: por método potenciométrico (Método 4500 H+ B), con pHmetro ThermoOrion.

Conductividad: por método conductimétrico (Método 4500 H+ B), se utilizó un conductímetro ThermoOrion 3 StarCondutivityBenchtop.

Brix: por refractometría, con un refractómetro Pocket Atago.

Sólidos totales (ST), sólidos fijos (SF) y sólidos volátiles (SV): por método gravimétrico, con desecación en estufa ORL a 105ºC y posterior calcinación a 550ºC, con mufla Indef Modelo 660.

Viscosidad: se utilizó un viscosímetro Brookfield, modelo DV-II+, el cual abarca un rango de 1 hasta 6.000.000 cP.

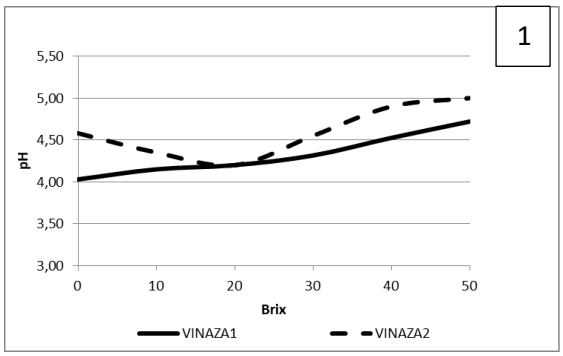
RESULTADOS

En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos para las vinazas analizadas a distintas concentraciones

Tabla Nº 1.- Valores de los parámetros analizados a las vinazas a distintas concentraciones. Los resultados son los promedios de los valores obtenidos de cada duplicado.

	VINAZA 1 (Melaza y jugo)						VINAZA 2 (Melaza y agua)					
Valor Nominal	**Vinaza Cruda**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**Vinaza Cruda**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**
Brix [°Bx]	**4,5**	**9,95**	**22,6**	**31,7**	**43,3**	**50,3**	**5,2**	**9,65**	**20,3**	**30,8**	**38,9**	**50**
pH	**4,0**	**4,15**	**4,2**	**4,3**	**4,5**	**4,7**	**4,58**	**4,3**	**4,2**	**4,5**	**4,9**	**5,0**
Conductividad [mS/cm]	**13,8**	**25,3**	**36,5**	**33,9**	**26,7**	**21,9**	**12,7**	**25,8**	**37,7**	**41,3**	**36**	**25**
DQO [g/l]	**47**	**117,5**	**269,1**	**339,5**	**573,4**	**654,9**	**57,8**	**99,6**	**234,9**	**385,9**	**466,4**	**816,7**
ST [g/Kg]	**38,1**	**125,7**	**261,1**	**387,3**	**645,7**	**755,6**	**36**	**90,8**	**226,5**	**312**	**372**	**435**
SF [g/Kg]	**12,8**	**30,9**	**64,1**	**98,8**	**154,4**	**182,5**	**12**	**25**	**61**	**87**	**106**	**140**
SV [g/Kg]	**25,3**	**94,8**	**197**	**288,5**	**491,3**	**573,1**	**24**	**65,8**	**165,5**	**225**	**266**	**295**
viscosidad [cP]		**4,75**	**9,395**	**14,75**	**59,5**	**335**		**9,5**	**6**	**10,5**	**42,5**	**285**

Para una mejor interpretación de los datos obtenidos en los ensayos, se graficaron los distintos parámetros en función del Brix nominal. La ordenada en origen corresponde al valor de vinaza cruda, salvo en el gráfico de viscosidad, parámetro que no se midió para esta concentración.



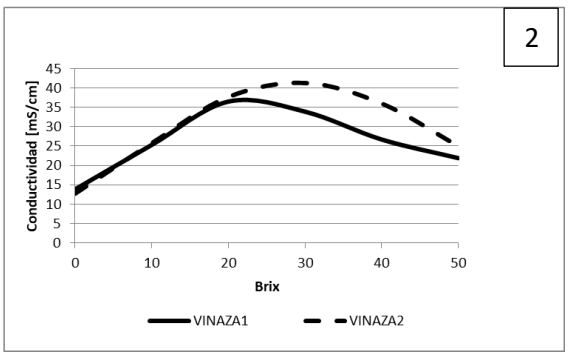
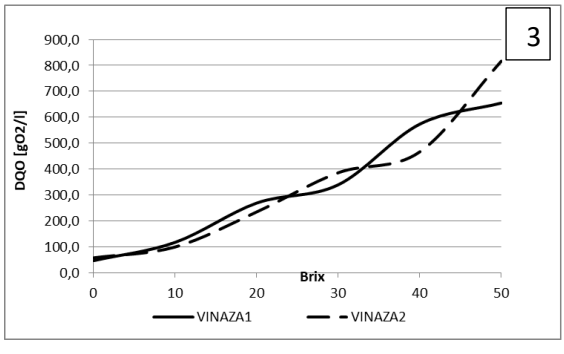


Figura Nº 1.- pH en función de la concentración de sólidos en el concentrado. Figura Nº 2.- conductividad en función de la concentración de sólidos en el concentrado.



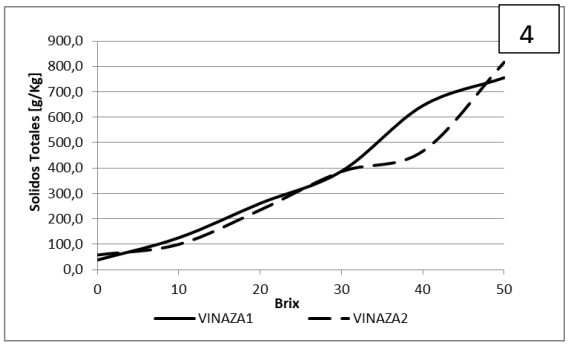


Figura Nº 3.- DQO en función de la concentración de sólidos en el concentrado. Figura Nº 4.-Sólidos totales en función de la concentración de sólidos en el concentrado.

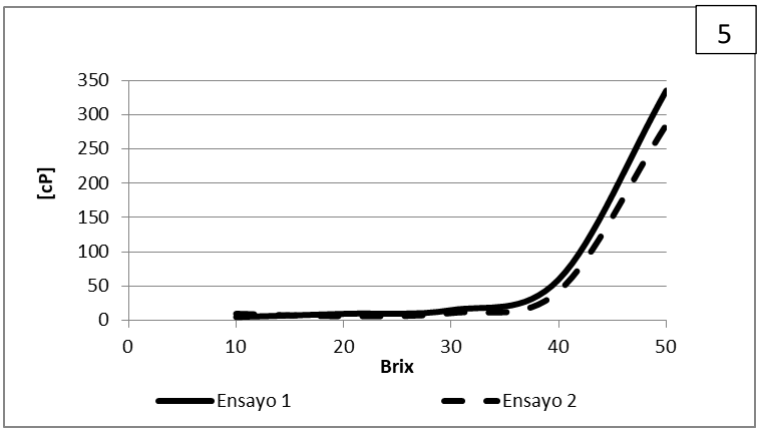


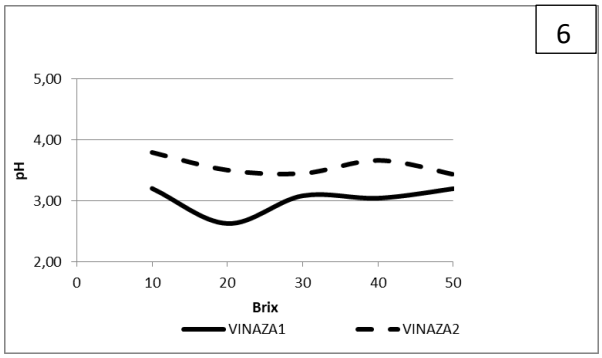
Figura Nº 5.- Viscosidad en función de la concentración de sólidos en el concentrado.

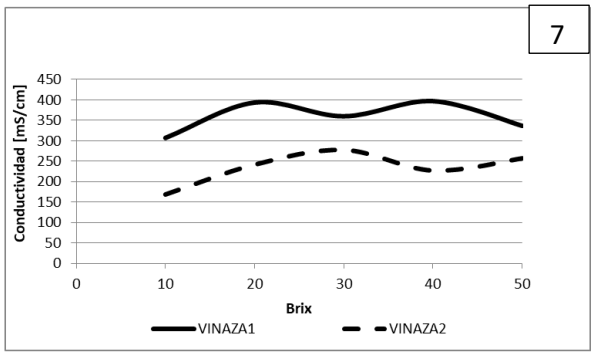
En la tabla 3 se exhiben los valores promedio de las mediciones de pH, conductividad y DQO para los productos obtenidos en cada tapa del proceso.

Tabla Nº 3.- valores de los parámetros de los condensados de las distintas concentraciones de vinazas, de ambos mostos.

	Condensado (Vinaza1)					Condensado (Vinaza 2)				
Valor Nominal	**10 Bx**	**20 Bx**	**30 Bx**	**40 Bx**	**50 Bx**	**10 Bx**	**20 Bx**	**30 Bx**	**40 Bx**	**50 Bx**
pH	3,2	2,625	3,08	3,04	3,195	3,79	3,5	3,445	3,66	3,43
conductividad [mS/cm]	307	393,5	360	397	336,5	168,5	241,5	277,5	227	257
DQO [g/l]	1,44	2,35	3,71	3,72	7,1	0,77	1,29	2,35	4,34	5,54

Para una mejor interpretación de los datos obtenidos en los distintos ensayos, se graficaron los distintos parámetros en función del Brix nominal.





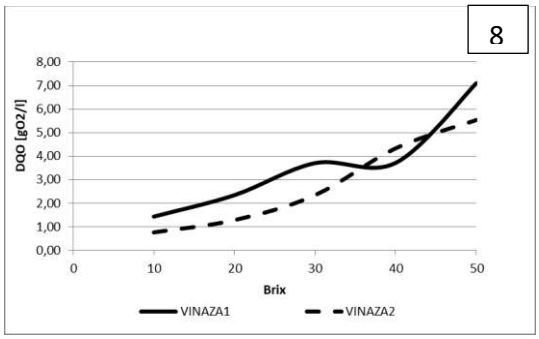


Figura Nº 6.- pH en función de la concentración de sólidos en el condensado. Figura Nº 7.- Conductividad en función de la concentración de sólidos en el condensado. Figura Nº 8.- DQO en función de la concentración de sólidos en el condensado.

CONCLUSIONES

- Los parámetros correspondientes a la presencia de sólidos y DQO en los concentrados, aumentan proporcionalmente al incrementar la concentración como era de esperarse. La DQO en los condensados muestran la misma tendencia, aumentando con el aumento de la etapa de la concentración en que se encuentra. La DQO en los condensados a 50°Bx son 5 y 7 veces superiores a los valores de la de 10°Bx en la vinaza 1 y vinaza 2 respectivamente. Los elevados valores de DQO a 50°Bx ,en los condensados 7,1g/l y 5,5g/l, limitarían el re uso de los condensados en algunas operaciones en fábrica.

- Los pHs, tanto de los concentrados como de los condensados, se mantienen sin variaciones significativas durante todo el proceso de concentración.

- La conductividad de las vinazas aumenta linealmente hasta una concentración de sólidos de 30°Bx y luego comienza a disminuir. Este efecto podría atribuirse a que la concentración de sales disueltas llega a su punto de saturación y disminuye la disociación en iones.

- La viscosidad se mantiene en valores relativamente bajos hasta una concentración de sólidos de 30°Bx; luego crece exponencialmente. Esta característica complicó el proceso de concentración para valores de brix nominales mayores.

- El comportamiento observado en la variación de los diferentes parámetros estudiados en todas las etapas, es similar para las vinazas provenientes de mostos de distinta composición.

BIBLIOGRAFIA

Morandini M.; Quaia E.(2013). “Alternativas para el aprovechamiento de la vinaza como subproducto de la actividad sucroalcoholera”. Avance Agroindustrial 34 (2).

Jalgaonkar,S. (2021) “Incineración de vinaza Vs Biometanización de vinaza, ¿Qué ruta es rentable?”. [Webinar].PRAJ.

Baird, R., Eaton,A., (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. AWWA, WEF, APHA.

ESTUDIO PRELIMINAR DE LOS ÍNDICES DE COMPORTAMIENTO Y FUSIBILIDAD DE LAS CENIZAS DE BAGAZO Y DE LOS RESIDUOS DE COSECHA DE LA CAÑA DE AZÚCAR (RAC) DE TUCUMÁN, ARGENTINA

Golato, M. A.; Gutierrez, C. E.; Zamora Rueda, G. del H.; Juárez, G.; Kamiya, N. y Paz, D.
mgolato@eeaoc.org.ar

RESUMEN

El presente trabajo brinda información sobre las características de la fusibilidad de las cenizas de bagazo y de los residuos de cosecha de caña de azúcar (RAC) en función de sus componentes elementales, para un uso eficiente de estas biomasas en calderas de vapor bagaceras. Se procesaron 30 muestras de bagazo provenientes de ingenios azucareros y 30 muestras de RAC recolectadas de campos cañeros de la provincia de Tucumán – Argentina, durante las zafras azucareras 2016, 2017, 2018 y 2019. Todas las muestras analizadas correspondían a la variedad de caña LCP85-384. Se determinaron los índices de comportamiento de las cenizas (índice de escorificación, sinterización, ensuciamiento, escorificación por azufre, deposición, reacción del potasio, sulfatación, corrosión, formación de silicatos, erosión y de viscosidad).

Palabras Clave: Fusibilidad de cenizas, biomasa, bioenergía, combustión.

INTRODUCCIÓN

Considerar únicamente el contenido de humedad, cenizas y poder calorífico de un combustible como parámetros de evaluación para tomar una decisión en el uso de una biomasa como fuente de energía, podría conducir a errores significativos, ya que, existen otros fenómenos que se producen durante el proceso de combustión que condicionan a mediano o largo plazo la integridad de los equipos de proceso necesarios. Esto podría causar problemas económicos trascendentales, debido a paradas imprevistas o a roturas importantes, causadas por una mala operación o por desconocimiento de la calidad y manejo del combustible utilizado en los equipos de combustión y de sus accesorios (Brayers, 1996).

OBJETIVOS

Mostrar los resultados de la caracterización fisicoquímica de las cenizas residuales del proceso de combustión de bagazo y RAC de la caña de azúcar de Tucumán, Argentina y el posible comportamiento de las mismas en relación a su fusibilidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se procesaron 30 muestras de bagazo provenientes de ingenios azucareros y 30 muestras de RAC recolectadas de campos cañeros de la provincia de Tucumán – Argentina, durante las zafras azucareras 2016, 2017, 2018 y 2019. Todas las muestras analizadas correspondían a la variedad de caña LCP85-384.

Para evaluar el comportamiento de las cenizas en el interior del hogar de una caldera de vapor bagacera se calcularon indicadores basados en la composición química de las mismas. Estos indicadores se tomaron de aquellos propuestos por Nogués *et al.,* 2010 y James *et al.,* 2012 para cenizas de carbón mineral y biomasa. Luego se compararon los resultados con los encontrados en bibliografía por Golato, 2021, referidos a la composición química de cenizas de bagazo y RAC de caña de azúcar de Tucumán y de otras regiones del mundo. La Tabla 1 muestra un resumen de los índices de comportamiento de las cenizas considerados en este estudio.

Las determinaciones del contenido de humedad (W[%]), sólidos volátiles (SV[%]) y carbono fijo (CF[%]), se realizaron siguiendo la metodología propuesta por Mistretta *et al.,* 2014. El contenido de azufre total (%S) se determinó según norma ASTM D 3177-02 para

carbón mineral y corregida para biomasa, según Mistretta *et al.,* 2019. Los contenidos de cloro total se determinaron siguiendo la norma ASTM E 776-87 modificada, según Gutierrez *et al.,* 2016.

El poder calorífico superior (PCS) en base seca, se determinó en bomba calorimétrica automatizada, marca IKA, modelo C5000, operando de manera adiabática, siguiendo la metodología ASTM D 2015-96, según lo indicado por Cruz *et al.,* 2016.

Para las determinaciones de los contenidos de metales en las muestras de RAC y bagazo, se consideraron como elementos mayoritarios el aluminio (Al), calcio (Ca), hierro (Fe), magnesio (Mg), potasio (K), silicio (Si), sodio (Na) y titanio (Ti), según Melissari, 2014.

Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Metales, de la Sección Química de los Productos Agroindustriales de la Estación Experimental Agroindustrial (EEAOC), siguiendo la norma ASTM D 3682-01. Los contenidos de los óxidos mayoritarios se determinaron conformes a los metales encontrados en las cenizas, según la estequiometria de las reacciones de oxidación de los mismos (Golato, 2021).

Tabla 1. Resumen de los índices de comportamiento determinados en las cenizas de las biomasas analizadas, según Golato, 2021.

ÍNDICE DE COMPORTAMIENTO	ECUACIÓN	OBSERVACIONES
Relación base-ácido ($R_{b/a}$) (índice de escorificación)	$R_{B/A} = \frac{(\%CaO + \%Fe_2O_3 + \%MgO + \%Na_2O + \%K_2O + \%P_2O_5)}{(\%SiO_2 + \%Al_2O_3 + \%TiO_2)}$	$R_{B/A}$ < 0,75 sin peligro de escorificación. $R_{B/A}$ ~ 0,75 bajo peligro de escorificación. $R_{B/A}$ > 0,75 alto peligro de escorificación.
Índice de sinterización (IS)	$IS = \frac{\%CaO + \%MgO}{\%K_2O + \%Na_2O}$	Para IS > 2 no presenta riesgo de sinterización.
Índice de ensuciamiento (AI)	$AI = \frac{\%K_2O + \%Na_2O}{PCS}$ [kg/GJ]	AI < 0,17 los álcalis no son problemáticos. 0,17 < AI < 0,34 riesgo de ensuciamiento; AI > 0,34 problemas de ensuciamiento.
Índice de escorificación por acción del azufre (Rs)	$Rs = R_{B/A} \cdot \%S$;	Rs < 0,6 existe baja tendencia a la escorificación
Índice de deposición "fouling" (Fu)	$F_u = R_{B/A} \cdot (\%K_2O + \%Na_2O)$	Fu < 0,6 baja tendencia a la deposición. 0,6 < Fu < 40 alta tendencia a la deposición. Fu > 40 muy alta tendencia a la deposición.
Índice de reacción del potasio ($I_{k\text{-}sio2}$)	$I_{K\text{-}SiO2} = \frac{K}{Si} \left[\frac{mol_K}{mol_{Si}}\right]$	No se encontró referencia.
Índice de sulfatación ($I_{sulf.}$)	$I_{Sulf.} = \frac{K}{Si+S} \left[\frac{mol_K}{mol_{Si}+mol_S}\right]$	No se encontró referencia.
Índice de corrosión ($I_{s/cl}$)	$I_{S/Cl} = \frac{S}{Cl} \left[\frac{mol_S}{mol_{Cl}}\right]$	No se encontró referencia.
Índice de formación de silicatos ($I_{Ca/Si}$)	$I_{Ca/Si} = \frac{Ca}{Si} \left[\frac{mol_{Ca}}{mol_{Si}}\right]$	No se encontró referencia.
Índice de erosión ($I_{Erosión}$)	$I_{Erosión} = \frac{Na+K}{Si} \left[\frac{mol_{Na}+mol_K}{mol_{Si}}\right]$	No se encontró referencia.
Índice de viscosidad (S_R)	$S_R = \frac{\%SiO_2}{\%SiO_2 + \%Fe_2O_3 + \%CaO + \%MgO} x\ 100$	S_R > 72 bajas probabilidades de fluidizarse. S_R < 65 altas probabilidades

		de fluidizarse.

RESULTADOS

En las Figuras 1 y 2, pueden verse los resultados de los contenidos de óxidos mayoritarios de las cenizas de bagazo y de RAC de caña de azúcar de Tucumán, Argentina en comparación con los datos encontrados para otras regiones del mundo.

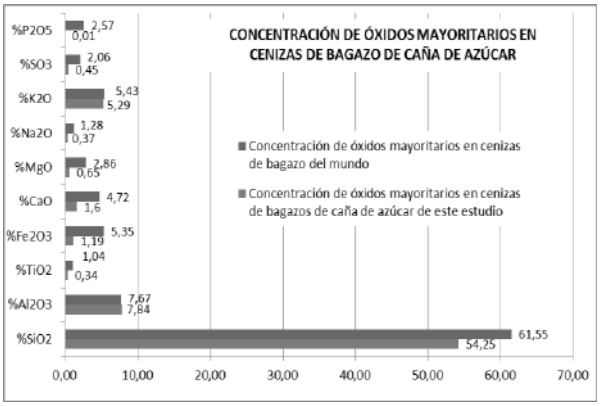


Figura 1. Concentración de óxidos mayoritarios en cenizas de bagazo de caña de azúcar de Tucumán, Argentina.

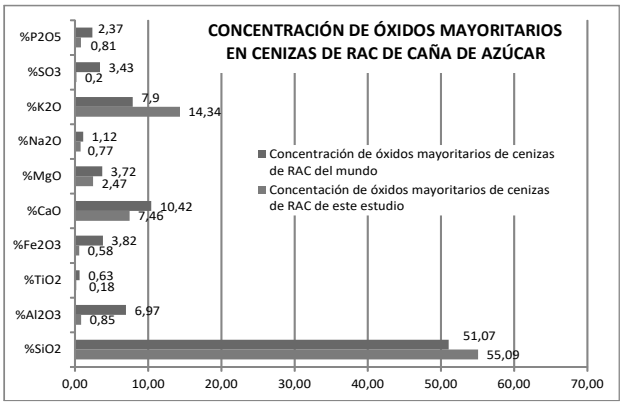


Figura 2. Concentración de óxidos mayoritarios en cenizas de RAC de caña de azúcar de Tucumán, Argentina.

Se puede observar que las concentraciones promedio de $\%SiO_2$ para cenizas de bagazos de Tucumán fue de 54,25%, lo que representa aproximadamente un 12% menor en relación a los valores promedio encontrados en otras regiones del mundo (61,55%). Para las muestras de RAC seleccionadas en este estudio, se observó que el contenido promedio de %SiO2 fue de 55,09%, superior en aproximadamente 8% en relación al valor mundial (51,07%). El valor de K_2O resultó 81,5% superior en relación a la media mundial (14,34% vs 7,90%).

En Tabla 2 y 3 pueden observarse los resultados promedio de la caracterización fisicoquímica y energética de las muestras de bagazo y de RAC de caña de azúcar analizadas en el presente estudio.

Tabla 2. Resultados promedio de la caracterización fisicoquímica y energética de las muestras de "bagazo" analizadas. Elaboración propia.

	W [%]	Cz [%]	CF [%]	SV [%]	S [%]	Cl [%]	PCS [kJ/kg]
Promedio	52,49	7,12	60,15	32,59	0,22	0,12	17.499
Rango	44,52 - 59,58	3,49 - 14,88	15,98 - 80,00	14,10 -79,21	0,04 - 0,71	0,04 - 0,29	15.911 - 18.113
DE	3,30	3,35	26,44	27,50	0,16	0,06	529

Tabla 3. Resultados promedio de la caracterización fisicoquímica y energética de las muestras de RAC analizadas. Elaboración propia.

	W [%]	Cz [%]	CF [%]	SV [%]	S [%]	Cl [%]	PCS [kJ/kg]
Promedio	25,94	12,95	17,04	70,04	0,37	0,21	16.508
Rango	4,46 - 71,90	7,72 - 23,13	14,83 - 19,34	62,04 - 73,97	0,09 - 0,79	0,08 - 0,52	14..957-17.539
DE	18,63	4,48	1,15	3,47	0,20	0,10	753

La Tabla 4 muestra los resultados promedio de los índices de comportamiento de las cenizas de bagazo y de RAC de caña de azúcar encontrados en Tucumán-Argentina. Asimismo, se indican los límites considerados de referencia (Tabla 1) y el posible comportamiento de las cenizas, salvo en los casos de los índices $I_{k\text{-}SiO2}$ y $I_{s/Cl}$, ya que dependerán de las concentraciones relativas de K, Si, S y Cl.

Tabla 4. Resultados promedio de los índices de comportamiento determinados en cenizas de bagazo y de RAC de caña de azúcar de Tucumán-Argentina.

ÍNDICE DE COMPORTAMIENTO	PARA BAGAZO	PARA RAC	RELACIÓN AL LÍMITE	OBSERVACIONES
$R_{B/A}$	0,16	0,49	< 0,75	No presentan peligro de escorificación
IS	0,53	0,73	< 2	No presentan riesgos de sinterización
AI	3,27	10,81	> 0,34	Presentan riesgos de ensuciamiento
Rs	0,03	0,08	< 0,6	Existe baja tendencia a la escorificación
Fu	0,92	47,98	> 0,6	Presentan alta tendencia a la deposición
$I_{k\text{-}SiO2}$	0,13	0,0146	-	-
I_{sulf}	0,13	0,0145	-	Posibles formaciones de sulfatos en cenizas
$I_{s/cl}$	1,80	0,86	-	-
$I_{Ca/Si}$	0,03	0,17	-	Posible formaciones de silicatos de elevado punto de fusión
$I_{Erosión}$	0,14	0,02	-	Posible tendencia a erosionar interiores de calderas
S_R	94,12	83,65	> 72	Baja tendencia a fluidizarse (alta viscosidad)

CONCLUSIONES

Se demostró que el comportamiento de las cenizas depende principalmente de su composición. Los resultados indican que las cenizas de bagazo y de RAC de Tucumán-Argentina, presentan características diferentes a las localizadas en otras regiones del mundo, probablemente se deba a los distintos tipos de suelos, variedades de caña, sistemas de cosecha y preparación.

Según los índices de comportamiento de las cenizas para las biomasas analizadas, indicarían que no existen riesgos de escorificación por parte de las mismas. El índice $R_{B/A}$ para bagazo fue de 0,16 y para RAC de 0,49. No obstante, ambas biomasas presentarían riesgos de sinterización, ya que IS para bagazo fue de 0,53 y para RAC de 0,73, menores al límite máximo de IS = 2.

El índice S_R para bagazo de caña de azúcar fue de 94,12 (mayor a 72), esto indicaría que las cenizas presentarían baja escoriación (alta viscosidad). Para el caso del RAC el índice promedio S_R fue de 83,65, lo que también mostraría que las cenizas RAC tampoco tendrían tendencia a fluidizarse. Comparando ambas biomasas, las cenizas de bagazo tendrían menor tendencia a fluidizarse respecto al RAC, seguramente debido a los mayores contenidos de %CaO (7,46%) y %MgO (2,47%) presentes en las cenizas de este último.

BIBLIOGRAFÍA

Bryers, R. W., 1996. Fireside slagging, fouling, and high-temperature corrosion of heat-transfer surface due to impurities in steam-raising fuels. Progress in Energy and Combustion Science, Volume 22, Issue 1, 1996: pp 29-120. Disponible en: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0360128595000127.

Golato, M. A., 2021. Estudio de la variación de la temperatura de fusion de cenizas de calderas de biomasa en función de sus componentes ácidos y básicos. Tesis de Maestría en Ingeniería

Bioenergética. Facultad Regional Tucumán. Universidad Tecnológica Nacional. Disponible en: https://ria.utn.edu.ar/xmlui/handle/20.500.12272/6079

Gutierrez, C.; M.G. Mistretta; G. Zamora Rueda; F. Peralta; M.A. Golato; M. Coronel; M. Ruiz y G.J. Cárdenas. 2016. Contenido de cloro total en residuos agrícolas de cosecha de caña de azúcar (RAC) en Tucumán. Revista industrial y Agrícola de Tucumán (RIAT), Tomo 93 (2): 19-25; 2016.

James, A. K.; W. R. Thring; S. Helle y H. S. Ghuman. 2012. Ash Management Review. Applications of Biomass Bottom Ash. Energies 2012, 5, 3856-3873; doi:10.3390/en5103856. Disponible en: www.mdpi.com/journal/energies

Melissari, B. 2014. Ash related problems with high alkalii biomass and its mitigation - Experimental evaluation. Memoria Investigaciones en Ingenieria, num. 12, ISSN 2301-1092, ISSN (en linea) 2301-1106.

Mistretta, M. G.; G. Zamora Rueda; F. Peralta; C. Gutiérrez; H. Zalazar; M. V. Bravo; E. A. Feijóo; M. A. Golato; D. Paz, y G. J. Cárdenas. 2014. Metodologías termogravimétricas para la determinación del contenido de cenizas en bagazo y en residuos agrícolas de cosecha de caña de azúcar (RAC) de Tucumán. XXXVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energía Renovables y Ambiente. VI Latin America Regional Conference. ASADES. En: Libro de Resúmenes Energías Renovables: El Desafío. Tema 8, pp. 69-70.

Mistretta, M.G.; C. Gutierrez; G. Zamora Rueda; F. Peralta; M.A. Golato; D. Paz; G.J. Cárdenas y M. Ruíz. 2019. Contenido de azufre total del residuo agrícola de la cosecha de caña de azúcar de Tucumán, Argentina. Revista industrial y agrícola de Tucumán, num.1 (2018): 49 - 54.

Nogués, F.S; D. García Galindo y A. Rezeau. (2010). Energías Renovables. Energía de la Biomasa. Volumen 1. Prensa Universitaria de Zaragoza.

Zamora Rueda, G del H.; M.G. Mistretta; C.E. Gutierrez; M.A. Golato; D. Paz and G.J. Cárdenas. 2019. Energy characterization of sugarcane bagasse in Tucumán, Argentina. Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists (ISSCT), volume 30, 1000–1004.

ESTUDIO DE SUSTANCIAS INHIBITORIAS DEL PROCESO FERMENTATIVO PRESENTES EN MELAZAS PROVENIENTES DE INGENIOS DE TUCUMAN

Saska, M.[ac]; Zossi, S[bc],Coronel M[c];Canseco Grellet, A[c]; Castagnaro, A[c]; Vera, L[d]; Diez,P.M.[c] y Ruiz R. M.[c]

[a] drmsaska@gmail.com [b]szossi@yahoo.com
[c] Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). Av. William Cross 3150. Las Talitas. Tucumán. Argentina. CP: T4101XAC.
[d] Instituto de Tecnología Agroindustrial del Noroeste Argentino (ITANOA). Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). CCT NOA Sur. Av. William Cross 3150. Las Talitas. Tucumán. Argentina. CP: T4101XAC.

Palabras clave: reacción de Maillard,caña de azúcar; colorantes, fermentación.

Introducción

Durante el año 2022 se produjeron más de 300 millones de litros del etanol para combustible, convirtiéndose en un importante producto para la industria azucarera tucumana, y cualquier mejora en los rendimientos de fermentación beneficiaría el balance económico de las destilerías. Varios compuestos en las melazas de caña, tales como colorantes y productos de la reacción de Maillard, sulfito, ácidos orgánicos y otros, fueron reportados como inhibidores de las levaduras *Saccharomyces* y reductores de los rendimientos fermentativos. Sin embargo, la información cuantitativa disponible es limitada y circunscripta a ciertos ámbitos.

Durante una jornada de actualización técnica a la industria local (Kale, comunicación personal, 2021) organizada por Praj Industries Ltd., importante proveedor de tecnologías de fermentación, se presentaron datos que mostraban un efecto inhibidor muy fuerte de los colorantes de melaza sobre la productividad de la levadura y el rendimiento de etanol. El color incluye tanto los colorantes originarios de la caña como los caramelos. y melanoidinas (compuestos de reacción de Maillard) generados en las últimas etapas del proceso de elaboración del azúcar.

Objetivos

Analizar la influencia del color de la melaza y su incremento por calentamiento en los rendimientos fermentativos, como así también la incidencia de los productos de Maillard y el sulfito.

Materiales y métodos

Siguiendo el procedimiento de Kale (2021), el color de la melaza concentrada se midió como absorbancia a 375 nm en una celda de 10 mm, sin filtración y sin ajuste de pH, de una solución al 0,1% - 0,4% p/v, pero se recalculó al 0,1% p/v suponiendo en esta solución muy diluida una correlación lineal entre absorbancia y concentración.

Se controló el aumento de color después de calentar la melaza concentrada durante 12 horas en baño Maria a aproximadamente 95°C en recipientes de vidrio. Los azúcares fermentables totales como invertidos, antes y después de calentar la melaza, se determinaron mediante HPLC, con detector de índice de refracción Waters 2414 y columna Sugar Pak 1.

Se siguió el procedimiento de Lino (2018) para los ensayos de fermentación, usando tubos de centrifuga de 50 mL adaptados para permitir el escape del gas. Los tubos se mantuvieron en agitación a 150 rpm y a una temperatura de 31 ºC. Se utilizó 750mg (±2mg) de levadura (levadura seca granulada Calsa) rehidratados con 2,5 mL de agua destilada durante 15 minutos. La melaza esterilizada se agregó en dos pasos después de la rehidratación. Los pesos iníciales de los tubos se registraron inmediatamente (±1mg). El pesaje se repitió en intervalos de 30 a 60 minutos, durante 7 horas después del inicio, cuando las fermentaciones

estaban casi completas. Además de la esterilización de la melaza diluida, todas las demás operaciones se realizaron de manera no aséptica. Se asumió que la pérdida de peso durante la fermentación se debe al dióxido de carbono liberado (Rein, 2017) tomándose como una medida aproximada del rendimiento de etanol. Etanol y glicerol se determinaron en el mosto fermentado por HPLC.

El rendimiento teórico de etanol se calculó a partir de las concentraciones de azúcares fermentescibles (ATF) y de etanol producido (ambos en g/100g) y la masa de los líquidos antes (W_{in}) y después de la fermentación (W_{fin}):

$E_{teórico}$ (%) = 100 x (100/51,1) x W_{fin} x E / (W_{in} x ATF)
$W_{fin} = W_{in} - W_{CO2}$
Donde:

- E es la concentración final de etanol (g/100g) en el mosto fermentado
- W_{CO2} es el peso perdido en la fermentación.

Los compuestos de reacción de Maillard se prepararon reaccionando glucosa con glicina, en una proporción de masa de 2:1. Se ha informado que los productos de la reacción glucosa-glicina son fuertes inhibidores de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* (Tauer, 2004). Los reactivos se disolvieron en un pequeño volumen de agua destilada y se mantuvo en ebullición durante 20 min hasta obtener una consistencia viscosa similar a la melaza. El producto Maillard final (PM) se disolvió en agua destilada para ser incorporado a la melaza.

Durante los ensayos de fermentación se probaron control (sin PM añadido) y dos niveles de PM. El color de melaza subió por la adición de PM en 30% y 90% (Tablas 1 y 2).

Resultados

Color de la melaza, aumento del color y pérdida de azúcar fermentable al calentar la melaza.

El color en las muestras de melaza de mayo a junio de 2022 varió de 0,10 a aproximadamente 0,25 (Figura 1). Se encontraron diferencias significativas en el color entre los ingenios, lo que sugiere condiciones diferentes de trabajo durante el proceso.

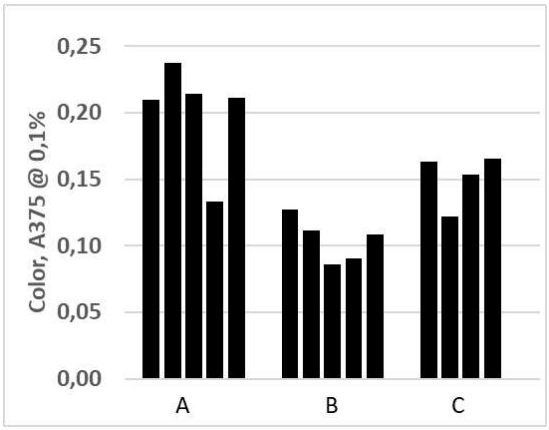


Figura 1. Color de la melaza final de tres ingenios en la campaña 2022 (mayo – junio) en Tucumán.

En las reacciones de Maillard entre azúcares y compuestos nitrogenados a alto Brix en el cocimiento de baja pureza, la glucosa (G) reacciona más rápido que la fructosa (F) (Rein, 2017), por lo que la diferencia (F –G) es una medida adecuada del alcance de la reacción de Maillard, quizás más que la relación F/G utilizada habitualmente. Aunque limitada, la

correlación en la Figura 2 parece confirmar que al menos una parte de los colorantes provino de la reacción entre G y aminoácidos o proteínas.

Cualquier aumento de color en el proceso de fabricación del azúcar también significa pérdida de azúcares fermentables y, por lo tanto, menos etanol producido. Los resultados de la Figura 3 muestran que un aumento de color de 0,1, por ejemplo de 0,1 a 0,2, que es aproximadamente la diferencia de color entre los ingenios A y B de la Figura 1, corresponde a una pérdida de AFTI (azúcares fermentables totales como invertidos) de 2,5g/100g, o entre 4% y 5% del AFTI original total. Esta pérdida se suma a cualquier pérdida de rendimiento de fermentación que pueda resultar de la inhibición de la levadura por parte de Maillard y otros compuestos (caramelos, HMF, ácidos orgánicos) generados durante la descomposición del azúcar y las reacciones de formación de color.

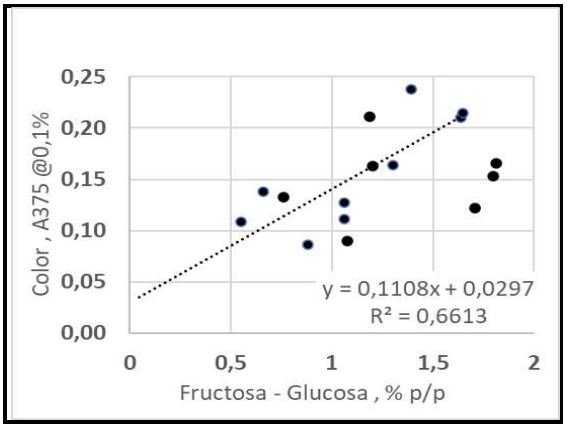


Figura 2. Color de la melaza final vs. diferencia de F – G determinados por HPLC

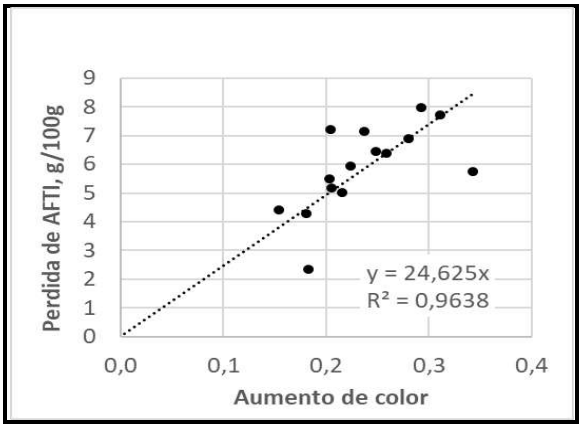


Figura 3. Pérdida del total de azúcares fermentables vs. aumento del color por calentamiento de la melaza.

Ensayos de fermentación sin reciclo de levaduras

Efecto de los productos de reacción de Maillard

En la Figura 4 se muestran las curvas de evolución promedio de CO_2 en pruebas de fermentación con dos melazas, cada una a dos niveles de PM adicionales (Tablas 1 y 2). Se trabajo por triplicado, de modo que en la figura se representa valores promedio de doce fermentaciones, siendo A melaza control y B melaza fortificada.

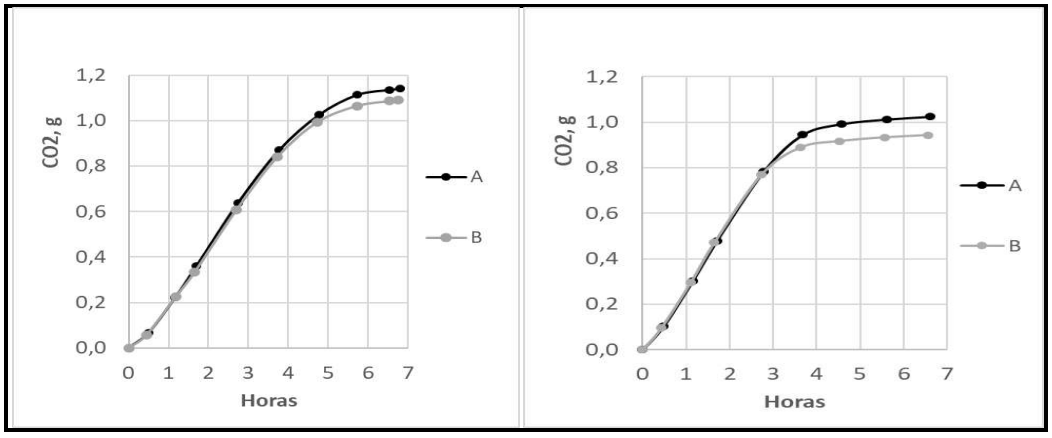


Figura 4. Efectos de los PM en el rendimiento de la fermentación alcohólica. Izquierda: nivel bajo; derecha: nivel alto.

Sobre la base de las curvas de pérdida de peso, hubo una reducción del 3,9% (a PM bajo) y del 7,2% (PM alto) en el rendimiento de la fermentación en la melaza enriquecida con MP, respecto al control.

Basado en el análisis de etanol, al nivel bajo de PM (Tabla 1) los datos son bastante consistentes. El rendimiento teórico que explica la reducción de ATFI, al agregar PM se redujo de 91,8% a 89,1 %, o alrededor de 4,3%. En el nivel alto de PM (Tabla 2), la reducción del rendimiento basada solo en la concentración de etanol fue del 8,3 % (5,5g/100g vs6,0 g/100g), muy cerca del 7,2% basado en los datos de pérdida de peso. $E_{teórico}$ que incluye la caída de ATFI se redujo de 84,9% a 84,5%, o sólo en 0,5%. Esto puede deberse, al menos en parte, a una sobreestimación de la diferencia de AFTI entre la melaza de control y la fortificada con PM. La precisión de la determinación de azúcar fermentable (AFTI) y etanol por HPLC es limitada, y en el cálculo de $E_{teórico}$, que involucra una proporción de los dos, el error se incrementa.

Tabla 1. Efecto de PM en los rendimientos de etanol y glicerol: nivel de PM bajo, correspondiente a Tabla 1 y Figura 4 izquierda. Las concentraciones de AFTI, glicerol (G) y Etanol (E) en la fase líquida antes y después de la fermentación están expresados en g/100g de líquido.

	Antes de fermentacion		Mosto fermentado				
	Color	AFTI	G	E	E/G	E % v/v	E_{theor}
Control	0,14	13,9	1,4	7,0	5,0	8,8	91,8
MP-fortified	0,19	13,7	1,5	6,7	4,4	8,5	89,1

Tabla 2. Efecto de PM en los rendimientos de etanol y glicerol: nivel de PM alto correspondiente a Tabla 2 y Figura 4 derecha. Las concentraciones de AFTI, glicerol (G) y Etanol (E) en la fase líquida antes y después de la fermentación están expresados en g/100g de líquido.

	Antes de fermentacion		Mosto fermentado				
	Color	AFTI	G	E	E/G	E % v/v	E_{theor}
Control	0,18	12,9	1,2	6,0	5,1	7,5	84,9
MP-fortified	0,34	11,9	1,1	5,5	5,1	6,9	84,5

Agregar PM a la melaza en estos niveles cambia los azúcares fermentables totales (AFTI) en la materia prima de fermentación que complica la comparación del rendimiento entre la melaza de control y la fortificada con PM.

Efecto del sulfito

El sulfito se ensayó a dos niveles, 260 mg y 520mg de iones sulfito por kg de melaza 80ºBx, o niveles de 80mg/L y 160mg/L en el medio de fermentación. Estos niveles de sulfito agregado no causan un efecto significativo en las concentraciones de AFTI. En la Figura 5 se ve la falta de influencia sobre el rendimiento de la levadura y el rendimiento de etanol.

En la literatura se informa que el sulfito a 300mg/kg de melaza (Van der Poel, 2008) es una posible causa de problemas en la fermentación. Sin embargo Zossi *et al* (1990), no encontró ningún efecto sobre el rendimiento de etanol en la fermentación de jugo de caña con 400mg/L de sulfito residual, un nivel mucho más alto que el probado en este trabajo.

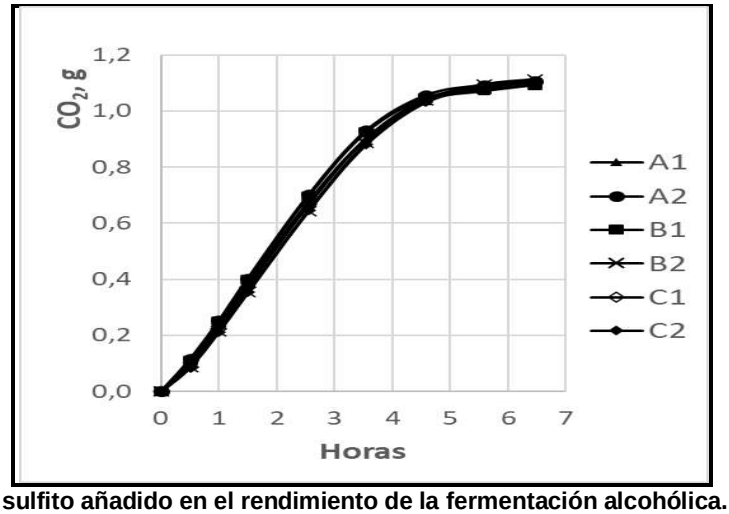


Figura 5. Efecto del sulfito añadido en el rendimiento de la fermentación alcohólica. Todos los ensayos fueron realizados por duplicado: A1/A2 = control; B1/B2 = sulfito en baja concentración; C1/C2 = sulfito en alta concentración. Estas concentraciones están dadas anteriormente.

Conclusiones

Se encontró diferencias significativas entre los ingenios al comparar los colores de las melazas: el color más alto obtenido resulta ser aproximadamente el doble del color de la melaza de la fábrica de color más bajo.

Se encontró una duplicación equivalente del color al mantener la melaza de bajo color durante 12 horas a aproximadamente 95 °C. Las condiciones de generación de color ocurren en fábricas con temperatura alta (vacío deficiente), tiempos de ebullición largos y recirculación grande de melaza. Esta duplicación del color produce una pérdida de azúcar fermentable de aproximadamente 2,5g/100 g, o entre el 4% y el 5% del total de azúcares fermentables iniciales en la melaza.

El aumento de color al calentar la melaza se debe, al menos en parte, a la producción de compuestos de Maillard que se reportan como inhibidores de las levaduras *Saccharomyces*.

Los compuestos de Maillard reducen el rendimiento de la fermentación entre un 3% y un 7%, dependiendo de la dosis agregada. Sin embargo la reducción del rendimiento es menor que la predicha por la correlación de Praj.

En las pruebas con melaza fortificada con sulfito, no se encontró ningún efecto sobre el rendimiento de etanol a 260mg y 520mg SO_3^{2-} por kg de melaza a 80ºBx.

Bibliografía

Kale S. Understanding fermentation process, presentation at Estación Experimental Obispo Colombres, Tucumán, 18 March, 2021.

Lino de Oliveira FS, Basso TO and Sommer MOA, A synthetic medium to simulate sugar cane molasses, *Biotechnol Biofuels* .2018, 11:221.

Rein P, 2017. Cane Sugar Engineering, Verlag Dr. Albert Bartens KG. Berlin, Germany.

TauerA. Influence of Thermally Processed Carbohydrate/Amino Acid Mixtures on the Fermentation by *Saccharomyces cerevisiae. J. Agric. Food Chem.* 2004, *52,* 2042-2046.

Van der Poel, P. W.; H. Schiweck and T. Schwartz. 1998. Sugar Technology. Beet and Cane Sugar Manufacture. Verlag Dr. Albert Bartens KG. Berlin, Germany.

Zossi S, Ruiz M and Cardenas G. 1990. Influencia del dióxido de azufre en la fermentación alcohólica. Rev. Ind. y Agrícola de Tucumán. 67 (1):31 – 45.

CARACTERIZACIÓN DE MELAZAS PRODUCIDAS EN INDUSTRIAS TUCUMANAS DURANTE LA ZAFRA 2022

Sastre Siladji, M.; Camacho, J.L.A.; Diez, P.M.; Dellmans, R.; Valdivieso, E.; Zossi, S.
William Cross 3150, Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, Las Talitas, Tucumán, Argentina,
fisicoquimica@eeaoc.org.ar

PALABRAS CLAVE: melaza, pol, solidos solubles, azúcares reductores, sacarosa, glucosa, fructosa, cationes

INTRODUCCIÓN

La composición de la melaza consiste principalmente de agua, de sacarosa, glucosa y fructosa, llamados carbohidratos fermentables y sustancias no azúcares provenientes de la caña que no fueron precipitados durante la etapa de clarificación. En su composición también hay sustancias formadas enzimática o químicamente durante las etapas de elaboración o almacenamiento, tales como ácidos D y L láctico, productos de Maillard y productos de degradación debido a la reducción de la concentración de aminoácidos durante la cristalización (degradación de Strecker) (van der Poel, *et. al*. 1998).

La melaza es ampliamente usada en diversos procesos bioquímicos, tales como en la producción de alcohol, levaduras, ácido cítrico y aminoácidos. También es empleada como fuente de energía en alimentación animal, ya que mejora la textura, palatibilidad y valor calórico. Además, puede usarse para la unión física o química de partículas y aglomerados debido a su alta viscosidad y propiedades adhesivas. Cada uso de la melaza tiene sus propios requisitos de calidad.

La composición química de la melaza y por ende su calidad depende de las prácticas agrícolas de la caña de azúcar: suelo, irrigación, fertilización, clima, modo de cosecha, etc. Además, influyen en su composición y calidad la eficiencia del agotamiento en la fábrica, ya que afecta el contenido de sacarosa y las condiciones fabriles que resultarán en la eliminación o generación de compuestos no azúcares (Rein, 2017).

En Tucumán, el principal uso de la melaza es para la producción de etanol vía fermentación, por lo que es muy importante no solo conocer su composición sino también determinar compuestos que puedan influir negativamente en este proceso, disminuyendo los rendimientos.

OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es analizar la calidad de las melazas que se obtienen en los ingenios azucareros de nuestra provincia. En esta primera parte se analizaron los principales compuestos azúcares y algunos cationes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizaron 29 muestras de melazas procedentes de cuatro ingenios azucareros de la provincia, tres de ellos cuentan con destilería y el cuarto sólo produce azúcar. En esta primera parte se estudiaron los sólidos disueltos (brix), cenizas, compuestos azúcares y los cationes sodio, potasio, calcio, magnesio y plomo.

Los grados brix densimétricos se determinaron mediante brixómetro con termómetro incorporado y los refractométricos mediante un refractómetro KEM RA-600.

Pol se analizó mediante un polarímetro SCHMIDT+HAENSCH modelo Saccharomat NIR W2, empleando un método basado en ICUMSA GS1/2/3/ 9– 1.

Pol Clerget o pol aparente en melaza por doble polarización se determinó mediante ICUMSA GS4/7-1 (2015).

Azúcares reductores directos y totales se determinaron mediante las metodologías de ICUMSA GS4-3 (2007) y GS4-7 (2015) respectivamente.

Sacarosa, glucosa y fructosa se analizaron mediante cromatografía líquida, empleando una bomba e inyector Alliance e2695 de Waters, un detector de índice de refracción Waters 2414 y columna SugarPak de Waters. Las condiciones cromatográficas fueron: caudal 0,5mL/min, temperatura de columna 85°C, volumen de inyección 20µL y como fase móvil se empleó una solución de la sal de ácido etilendiamintretaacético en forma cálcica. Los resultados fueron obtenidos con el software Empower 3 de Waters.

Para los azúcares infermentescibles se empleó la técnica dada por AOAC (AOAC, 1984) y para las cenizas conductimétricas el método ICUMSA GS1/3/4/7/8-13 (1994).

En la determinación de los cationes, se utilizó una metodología basada en ICUMSA GS9-1. Para la cuantificación de calcio, magnesio, potasio, plomo y sodio se realizó una digestión húmeda de la muestra de melaza al 50% con HNO_3 concentrado a una temperatura entre 100 y 120ºC. El análisis de calcio, magnesio y sodio se determinó por la metodología de absorción atómica mientras que el de potasio fue por emisión atómica, en un equipo de absorción atómica Perkin Elmer Analyst 100 con una llama aire-acetileno. Para plomo se usó un equipo con horno de grafito modelo PinAAcle 900 T con lámparas de cátodo hueco y de descarga sin electrodos (EDL).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados promedio, mínimos y máximos de los parámetros determinados en las melazas analizadas, procedentes de cuatro ingenios de la provincia, se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados promedio, mínimos y máximos de las melazas analizadas, procedentes de cuatro ingenios de la provincia.

	Promedio	Mínimo	Máximo
Brix densimetrico (%)	86,88	82,06	93,36
Brix refractométrico (%)	83,03	77,20	89,60
Pol (%)	43,48	36,40	52,64
Pol Clerget (%)	47,39	41,53	55,30
Sacarosa (%)	46,83	40,32	55,32
Relación Pol/Sacarosa	0,94	0,88	0,99
Relación Pol Clerget/Sacarosa	1,01	0,98	1,06
Pureza aparente (%)	50,11	40,22	58,95
Pureza real (%)	56,18	46,67	62,00
Glucosa (%)	2,53	1,44	3,52
Fructosa (%)	4,04	2,48	5,08

Relación F/G	1,66	1,16	2,69
ARD (%)	10,67	6,46	15,89
ART (%)	60,39	55,13	67,62
Infermentescibles (%)	2,49	1,43	3,93
Cenizas Conductimétricas (%)	12,24	10,01	15,28
Ca (g/kg)	5,9	3,3	8,2
K (g/kg)	38,7	24,0	56,0
Mg (g/kg)	1,7	1,0	2,5
Na (mg/kg)	412	61	1260

Sólidos solubles (°brix):

Los sólidos disueltos contenidos en la melaza se analizan por refractometría, aunque los determinados empleando un hidrómetro son los más usuales. En Lousiana (USA) y en Sudáfrica, los valores encontrados en bibliografías comprenden entre 78° y 85° (Rein, 2017) levemente inferiores a los determinados en las melazas producidas en Tucumán, esto se debería a la diferente agotabilidad de las melazas por parte de la industria.

Pol:

Es menor que la concentración real de sacarosa ya que su valor está influido por los compuestos ópticamente activos presentes en la melaza. Durante la campaña 2022, se encontraron valores entre 36,40°Z y 52,64°Z.

Pol Clerget:

Algunas industrias usan este parámetro llamado también de doble polarización para obtener una mejor estimación del contenido de sacarosa, pero también está influenciado por el contenido de otros compuestos ópticamente activos y de los agentes clarificantes usados en su determinación. En este caso, se encontraron valores comprendidos entre 41,53°Z y 55,30°Z, mayores a los determinados por Pol.

Sacarosa:

De acuerdo a Rein (2017), los valores normales de Sacarosa en melaza varían entre 30% y 36%, mientras que los encontrados en Tucumán durante este último año fueron entre 40,32% y 55,32%, principalmente por la baja agotabilidad de las melazas tucumanas ya que se destinan principalmente para la producción de bioetanol. Es de interés observar la relación entre Pol y Sacarosa dado que, como se mencionó anteriormente, el primero determina tanto sacarosa como otros compuestos ópticamente activos. Rein (2017) determinó un promedio para esta relación durante las zafras comprendidas entre los años 2001 y 2004 de 0,83, en ingenios de Louisiana, y de 0,93, en ingenios de Sudáfrica. En Tucumán esta relación comprende valores mayores, entre 0,88 y 0,99 con un promedio de 0,94. Más interesante aún es observar la relación entre Pol Clerget y Sacarosa que se igualan en promedio a la unidad y comprenden un rango entre 0,98 y 1,06. Estos resultados concuerdan con los determinados por Torres *et. al.* (2020) donde se demostró buena correlación (con $r^2 = 0,992$) entre ambas metodologías.

Azúcares reductores:

El contenido de azúcares reductores totales es el criterio de calidad más importante tanto en la producción de etanol como para su comercialización. Este valor dependerá estrechamente del agotamiento de la melaza. Los valores encontrados en los ingenios tucumanos son más bajos a los reportados en la bibliografía ya que en promedio, se determinó un contenido de 4,04% de fructosa y de 2,53% de glucosa, mientras que los ingenios de Louisiana reportan un contenido de 8,1% de fructosa y de 5,9% de glucosa y, en Sudáfrica se encontró 7,3% y 5,3% de fructosa y glucosa respectivamente. Esto podría deberse a diversos factores que incluyen tipo de cosecha, variedad de caña y de suelo.

Con respecto a los valores totales de glucosa y fructosa, se encontró un 6,57% de estos componentes, determinados por la metodología de HPLC, que resultó menor al 10,67% de azúcares reductores directos determinados por la metodología de Lane y Eynon. Esta diferencia se puede explicar por la presencia de compuestos capaces de reducir el cobre presente en la solución.

En el año 2020 Torres y colaboradores realizaron una correlación entre los azúcares totales obtenidos por HPLC y los obtenidos por el método de Lane y Eynon y verificaron una conclusión análoga a la que se presenta en este trabajo. Las metodologías para determinar azucares reductores, tanto directos como totales, por medio de una titulación que utiliza el reactivo de Fehling, arrojan resultados mayores que los encontrados por cromatografía líquida. Esto es debido a la presencia de otros compuestos no azúcares capaces de reducir al cobre, llamados no-azúcares reductores. En esta oportunidad se puede observar que el porcentaje de azucares reductores totales, de 60,39%, es mayor a lo calculado como azucares totales, 55,82%, con datos obtenidos por HPLC.

Relación F/G:

Esta relación entre fructosa y glucosa es interesante de analizar ya que la última es utilizada con mayor velocidad en la reacción de Maillard y en las reacciones relacionadas que ocurren durante el procesamiento, principalmente en aquellas que involucran temperatura y tiempo. De acuerdo a Rein (2017), esta relación está comprendida, en promedio, entre 1,3 y 1,4. En las melazas analizadas en este trabajo, este factor estuvo comprendido entre 1,16 y 2,69, con un promedio de 1,66. Esto significaría que se produjo una mayor cantidad de estos compuestos por las reacciones mencionadas, que no fermentan durante la elaboración de etanol y son detectados como azúcares infermentescibles.

Azúcares infermentescibles:

Estos compuestos no azúcares se denominan así porque no son fermentables por microorganismos y en general son compuestos derivados de reacciones de glucosa con aminoácidos y otros compuestos nitrogenados. Aunque no pueden ser empelados en las industrias de producción de levadura o alcohol, son usados por los rumiantes en su nutrición (van der Poel *et. al*., 1998). En este trabajo se determinó un contenido de azucares infermentescibles comprendido entre 1,43% y 3,93%.

Cenizas conductimétricas

En general, las melazas contienen una cantidad variable de compuestos minerales o cenizas, dependiendo de los tratamientos de fertilización realizados en la caña como así también del tipo de cosecha y composición del suelo. En las melazas analizadas en este trabajo, las concentraciones de cenizas estuvieron comprendidas entre 10,01% y 15,28%, y son acordes a valores encontrados en otros países.

Cationes

En los ingenios de Tucumán se verificó la tendencia citada en la bibliografía. Se encontró que el catión presente en mayor proporción fue el K con un contenido de 38,7 g/kg, seguido por el Ca y el Mg con un contenido mucho menor de 5,9 g/kg y 1,7 g/kg respectivamente y, finalmente, el Na, compuesto minoritario, con un contenido de 412 mg/kg, aunque en algunos casos se observó una cantidad que superaba el gramo por unidad de kg de melaza.

El potasio varía ampliamente en los diferentes orígenes de la melaza de caña, dependiendo de la variedad de caña, del contenido salino del suelo y del agua de irrigación. No se remueve durante la producción de azúcar ya que sus sales son solubles y se acumulan en la melaza final, mientras que durante la clarificación se precipitan mayores cantidades de sales de calcio y magnesio.

En el caso del plomo, no se encontraron cantidades significativas y mayormente no fue detectado en las 29 melazas analizadas. Solo en dos casos se observó un contenido detectable de Pb, 0,25 mg/kg cuyo contenido fue menor al límite de 0,3 mg/kg, dispuesto de forma tentativa de acuerdo a los limites de mieles establecido en el reglamento técnico Mercosur sobre límites máximos de contaminantes inorgánicos en alimentos, el cuál fue adoptado mediante resolución GMC 12/11. También se encontró un caso particular con 0,50 mg/kg que pudo deberse a particularidades indeterminadas de la producción.

CONCLUSIONES

En esta primera etapa del análisis de las melazas producidas por cuatro fábricas azucareras de Tucumán se analizaron los principales compuestos mayoritarios: sólidos solubles, azúcares y compuestos minerales.

Las mayores diferencias encontradas, dadas por los valores mínimos y máximos, se determinaron en los sólidos solubles y compuestos azúcares, lo que podría deberse a que tres de estas fábricas la emplean como materia prima para producir alcohol, por lo que agotan menos la melaza.

BIBLIOGRAFÍA

AOAC. Official Methods of Analysis (1984). Association of Official Analytical Chemists, 14Th Edition.

ICUMSA. International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis. Method Books (2019). Verlag Dr. Albert Bartens KG. Berlin, Germany.

Rein, P. 2017. Cane Sugar Engineering, 2ndEdition. Verlag Dr. Albert Bartens KG. Berlin, Germany.

Torres, R; E. Figueroa; S. Medina; S. Zossi y M. Ruiz. 2020. El uso de la cromatografía de alta resolución (HPLC) en la industria azucarera. Comparación de métodos analíticos para determinar sacarosa y azúcares reductores totales en melaza. Rev. Ind. y Agríc.,97 (2): 1 – 4.

Van der Poel, P. W.; H. Schiweck and T. Schwartz. 1998. Sugar Tecnology. Beet and Cane Sugar Manufacture. Verlag Dr. Albert Bartens KG. Berlin, Germany.

https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-12-2011-197045/texto

DESARROLLO DE *CANDIDA utilis* EN VINAZAS

Scheuermann, V; Valdeón D, Albarracín P.
Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán San Miguel de Tucumán. Avda. Independencia 1800.
virgischeuermann@gmail.com; dvaldeon@herrera.unt.edu.ar , palbarracin@herrera.unt.edu.ar

INTRODUCCIÓN

Tucumán es el mayor productor de bioetanol a partir de caña de azúcar en Argentina. El principal efluente del proceso de obtención de etanol es la "vinaza". La producción de las destilerías tucumanas, en 2020, fue de 312 millones de litros de bioetanol según el IPPAT (Instituto de Promoción de Azúcar y Alcohol en Tucumán) y teniendo en cuenta que se produce de 13 a 15 litros del efluente por cada litro de etanol (Saura *et al*., 2006), se habría generado alrededor de 4 mil millones de litros de vinaza.

Tucumán posee 15 ingenios azucareros y 10 destilerías de etanol, que según el secretario de Medio Ambiente de la Provincia reportan por día 20.000 m^3 de vinazas producidas.(Lencina, 2017).

La principal limitante de la disposición de los efluentes líquidos de la industria sucro-alcoholera es su gran volumen, sus características ácidas, corrosivas y el elevado contenido de agua, lo que provoca costos económicos y medioambientales en el manejo y transporte de estos.

Como un aporte a esta problemática se plantea transformar parte de las vinazas producidas en subproductos y con ello aumentar su valor agregado y disminuir la contaminación ambiental que ellos producen.

En este trabajo se plantea la producción de una levadura, Cándida utilis, usando como sustrato la vinaza.

Cándida utilis, es una levadura que puede metabolizar varios de los componentes presentes en las vinazas como: etanol residual, glicerol y el resto de los azúcares no consumidos en los procesos de fermentación, sin que le afecte significativamente la concentración de ácidos orgánicos presentes en las mismas (Valeiro *et al.,* 2017).

Según Saura *et al.,* (2011) en el proceso de producción de Cándida utilis en vinaza, se genera un producto proteico con alto valor nutricional que podría ser usado como materia prima para alimentación animal y a la vez se produce una remoción directa de más de 60 % de la demanda química de oxígeno (DQO) del efluente. Por tanto, es una opción a tener en cuenta considerando que en los próximos años se incrementará la producción de alcohol y la generación de vinaza, pues el etanol se adiciona a las naftas en Argentina, actualmente a una concentración de 12,5% por porcentaje que va a aumentar.

El objetivo general del trabajo es la producción de levadura *Candida utilis* en vinazas de destilerías de alcohol para generar proteína unicelular. Se realizó la propagación de levadura utilizando un reactor tipo "Batch", con la finalidad de transformar este residuo, aumentando su valor agregado y reduciendo la contaminación de los efluentes.

Palabras claves: efluente, levadura, propagación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos se realizaron en el laboratorio de Química Orgánica y de Microbiología General en la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, UNT.

La vinaza fue suministrada por un ingenio azucarero de Tucumán, que utiliza jugo de caña como materia prima para la producción de etanol. La levadura Cándida utilis utilizada en este trabajo fue aislada de muestras recolectadas y aisladas en proyectos anteriores. Se utilizó un reactor "Batch" usando un dispenser de jugos adaptado para los ensayos.

Se realizaron 6 fermentaciones en el reactor a escala laboratorio. Para adaptar la levadura se prepararon 6 medios de cultivos distintos formado por: Papa Dextrosa (PD) y

vinaza en proporciones 70-30% y 50-50% respectivamente. Luego de esta adaptación la Cándida utilis se llevó a medios de soluciones acuosas de vinaza de diferentes concentraciones: 10%, 25%, 40%, 50%.

Se seleccionó para sustrato las soluciones acuosas de vinaza al 50%, como las indicadas para usar en el reactor Batch. Una concentración mayor del efluente inhibe el crecimiento de la levadura y se descartaron las soluciones más diluidas porque se trató de usar la mayor cantidad de vinaza posible. El sustrato se usó sin agregado de nutrientes para el desarrollo de la levadura, pues el efluente tiene los azúcares, sales y componentes necesarios para el crecimiento de *Cándida utilis.*

Cada ensayo consistió en fermentaciones de una duración de 24h., a temperatura ambiente, en las cuales se tomaron muestras cada 2 horas, desde el inicio hasta el final de cada ensayo.

En cada uno de los ensayos, se midió la propagación de *Candida utilis* a través de parámetros cinéticos: conteo de número de células por cámara de Neubauer y determinación de peso seco. También se estudiaron al inicio y al final de los ensayos: azúcares reductores totales (ART), nitrógeno en vinaza, demanda química de oxígeno (DQO), pH, conductividad del medio y potasio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos obtenidos en los ensayos realizados en el reactor se promediaron y graficaron.

Con los datos de concentración celular y contenido de materia seca se elaboró la cinética de desarrollo de Cándida utilis en vinaza, Figura N° 1. Se estableció como tiempo de crecimiento de la levadura 21 horas.

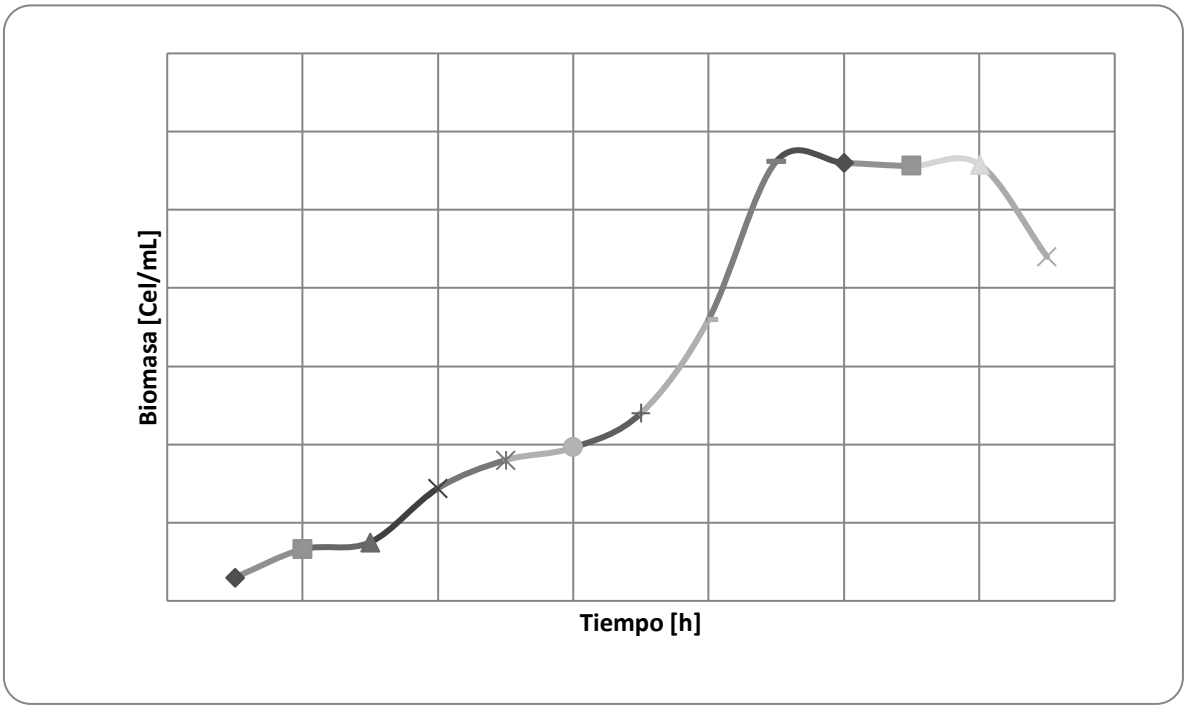


Figura N°1: Curva de crecimiento de *Cándida utilis* en solución acuosa de vinaza al 50% expresada como concentración de levadura, X (Cel/mL), vs tiempo (horas).

Se observa en la curva de crecimiento 3 (tres) fases bien definidas, fase “lag” que en nuestro caso dura un promedio de 4 horas, una fase de crecimiento logarítmico o

exponencial que termina en promedio a las 16 horas de iniciada la fermentación y una fase estacionaria que en el ensayo duró hasta las 22h de iniciado proceso fermentativo. Un trabajo realizado en Brasil obtuvo también un crecimiento diaúxico por parte de *Candida utilis* en vinaza pura (Reis et al., 2020).

Con los datos de los 6 ensayos realizados se construyó la Tabla N°1, promediando los valores obtenidos.

Tabla N° 1: Resultados promedios de los parámetros medidos en ensayos realizados: pH, conductividad, ART, DQO, nitrógeno y potasio al inicio y al final del tratamiento en medio de vinaza 50% con desarrollo de *Cándida utilis.*

Parámetro	Inicial	Final
pH	4,83	4,90
Conductividad	9,34 mS	8,50 mS/cm
ART	4,89 g/L	2,47 g/L
DQO	76938 mg 0_2/L	34123 mg 0_2/L
Proteína	876,20 mg/L	1538,16 mg/L
Potasio	7168 ppm	5399 mg/L

La variación en los datos obtenidos antes y después del tratamiento nos indica un consumo del 49,48% en los azúcares reductores totales, un aumento del 75,55% de proteína, una remoción del 56% de DQO, un aumento de 1,30% de pH, una disminución del 9% en conductividad y una disminución del 24,67% de potasio.

CONCLUSIONES

Fue posible desarrollar *Cándida utilis* en solución acuosa de vinaza al 50% y a la vez se observó que el tratamiento ocasiona una disminución de contaminación, reflejada en el descenso de DQO, los valores de pH y la disminución de potasio y conductividad.

La producción de proteína unicelular obtenida a partir de la vinaza abre la posibilidad de que el producto obtenido podría ser incorporado a otros productos, aumentando sus propiedades nutricionales.

El tratamiento de desarrollo de *Cándida utilis* en solución acuosa de vinaza al 50% podría ser considerado tratamiento alternativo del problema medioambiental generado por la producción de etanol en la Provincia de Tucumán.

BIBLIOGRAFIA

Instituto de promoción del azúcar y alcohol de Tucumán (2020) https://www.ipaat.gov.ar/wp-content/uploads/2021/03/TOTALES%20HASTA%202DA%20QUINCENA%20FEBRERO%202021.pdf

Lencina, F. (2017). Monitoreo del desarrollo de *Candida utilis* en residuos agroindustriales. En cumplimiento de los requisitos de graduación en Ingeniería Biomédica. Facultad de ciencias exactas y tecnología, UNT.

Reis, M. L. F.; de Meira Pires, J. R.; Grazziotti, P. H.; Nelson D. L.; Pinto, N. A. V. D.; dos Reis, A. B. y Oliveira, D. C. S. (2020). Potencial de crescimento da *Candida Utilis* em vinhaça de bioetanol enriquecida. *Brazilian Journal of Development*, *6*(11).

Saura Laria, G., Otero Rambla, M. A., Martínez-Valdivieso, J. A., Garrido Carralero, N. y Pérez Bermúdez, I. (2011).” Producción de levadura forrajera a partir de vinazas de destilería. Una solución Ambiental”. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).

Valeiro A. Portocarrero R.; Ullivarri E. y Vallejo J. (2017). “Los Residuos de la Industria Sucro-Alcoholera Argentina. INTA” - EEA Famaillá. *Serie: Gestión de residuos de la industria sucro-energética argentina*. Tucumán, Argentina.