

LIBRO DE RESÚMENES

XXIII Reunión Nacional
de Técnicos de la caña de
azúcar.

30 y 31 de julio de
2024, Yerba Buena,
Tucumán.



SOCIEDAD ARGENTINA
DE TÉCNICOS DE LA
CAÑA DE AZÚCAR

XXIII Reunión Nacional de Técnicos de la caña de azúcar.

TRABAJOS

ÁREA AGRÍCOLA



USO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS DE EFICIENCIA MEJORADA EN CAÑA DE AZÚCAR

Alonso, L.; Fernández González, P.; Romero, E.R. y Leggio, M.F.

Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) - Av. Williams Cross 3150, Las Talitas (4101), Tucumán; Argentina. Email: lgalonso@eeaoc.org.ar

Palabras clave: urea, urea protegida, rápida disponibilidad

Introducción

La fertilización nitrogenada en el cultivo de caña de azúcar es una práctica necesaria para la obtención de rendimientos rentables. El nitrógeno (N) forma parte de numerosos compuestos orgánicos, por lo que su déficit puede afectar severamente el crecimiento y desarrollo de los cañaverales (Romero *et al*, 2009).

El fertilizante nitrogenado más utilizado mundialmente es la urea (46% de N). Diferentes estudios demuestran que presenta importantes pérdidas de N por volatilización (amoníaco), cuando no es debidamente incorporado en el suelo y también pérdidas por lixiviación a capas más profundas (Cantarella *et al.*, 2008; Mariano *et al.*, 2012). Actualmente, están siendo evaluadas nuevas fuentes de fertilizantes nitrogenados que buscan mejorar la eficiencia en el uso de los mismos, y como consecuencia, aumentar la producción de la caña de azúcar y favorecer la sustentabilidad del sistema productivo. Las mismas se basan en el uso de fuentes que contienen formas químicas de rápida asimilación o recubiertas con inhibidores enzimáticos que ralentizan la hidrólisis de la urea. Entre ellas, el nitrato de amonio calcáreo que presenta una concentración de N del 27%, en dos formas químicas de rápida disponibilidad para el cultivo (nitrato y amonio), siendo también un producto de baja volatilidad, por lo que no es necesario incorporarlo al suelo (Leggio *et al*, 2018).

Otra fuente alternativa es la urea con inhibidores MCDHS (mono carbamida de hidrógeno sulfato). La misma contiene 34% de N, 4,2% de azufre (S) y trazas de magnesio (Mg) y calcio (Ca). Este inhibidor presenta la ventaja de ralentizar la entrega de nitrógeno al suelo, por lo que disminuye la pérdida de nitrógeno por volatilización y por lixiviación (Fernandez *et al*, 2022).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el uso de estas dos fuentes alternativas de fertilizantes nitrogenados (con menor contenido de N), siendo comparados con la urea tradicional. Se determinó el efecto sobre los componentes del rendimiento cultural durante tres años consecutivos y la eficiencia en el uso de nitrógeno.

Materiales y métodos

Durante las campañas 2020-2021, 2021-2022 y 2022-2023, se llevó adelante un ensayo en la localidad de Leales, Tucumán, en la variedad LCP 85-384, siendo la edad del cañaveral soca 1, 2 y 3. Se trabajó en un suelo de textura franco arcillosa, contenido de materia orgánica de 2,0%, la concentración de fósforo varió entre 84 a 132 ppm (Bray Kurtz II) y el pH entre 6,4 y 7,7.

El diseño experimental fue en bloques completamente aleatorizados, con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Cada parcela estuvo constituida por cuatro surcos de 125 metros de largo y distanciados a 1,60 metros, abarcando una superficie de 800 m². Los tratamientos evaluados fueron: urea 250 kg/ha (115 kg/ha N), nitrato de amonio calcáreo (CAN) 250 kg/ha (68 kg/ha N), fertilizante nitrogenado con MCDHS (FN34) 200 kg/ha (68 kg/ha N) y un testigo sin fertilizar. Las aplicaciones se realizaron con equipo fertilizador-cultivador para abonos sólidos de dos surcos, colocando el fertilizante en ambos costados del surco, cuando fueron incorporados al suelo (urea), y con las

mangueras de los bajadores sobre la línea del surco cuando se aplicaron en superficie (CAN y FN34). Las mismas se efectuaron en cada año desde inicio de noviembre hasta inicio de diciembre, período recomendado para la fertilización nitrogenada. Durante los tres años se trabajó sobre las mismas parcelas con el objeto de determinar la repetitividad del efecto de dosis de nitrógeno menores a la tradicional (urea) en un mismo cañaveral.

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.

La eficiencia en el Uso del Nitrógeno (EUN), se estimó con el incremento obtenido por cada tratamiento respecto al testigo, en relación a la cantidad de nitrógeno aplicado en cada caso (Dobermann, 2007).

Se realizó análisis de la varianza y el test de comparación de medias fue LSD de Fisher, nivel de significancia 5%. Se utilizó el software InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2014).

Resultados

En la Tabla 1, se muestra el comportamiento de la población de tallos para cada tratamiento en las campañas evaluadas. En general, todos los tratamientos aplicados presentaron mayores poblaciones que el testigo, sin observarse diferencias significativas entre los mismos. Los incrementos estuvieron entre el 15 al 20%.

Tabla 1. Población de tallos, variedad LCP 85-384. Leales, Tucumán.

Tratamientos	Población (tallos/metro)			
	2020-2021	2021-2022	2022-2023	Promedio
Testigo	14,86 A	15,25 B	16,61 B	15,57 B
Urea 250 kg/ha	16,04 A	17,19 AB	20,44 AB	17,89 A
CAN 250 kg/ha	17,11 A	17,77 AB	21,18 A	18,68 A
FN34 200 kg/ha	16,81 A	18,62 A	20,27 AB	18,57 A

En la Tabla 2, se detalla el comportamiento del peso por tallo para las tres campañas evaluadas. Los valores alcanzados en los tratamientos fertilizados, con respecto al testigo, fueron positivos siempre, y solo significativos en la campaña 2020-2021. Los incrementos observados en el peso de tallos, estuvieron entre el 15 - 20%.

Tabla 2. Peso individual de tallos (kg), variedad LCP 85-384. Leales, Tucumán.

Tratamientos	Peso unitario (kg)			
	2020-2021	2021-2022	2022-2023	Promedio
Testigo	0,614 B	0,495 A	0,460 B	0,523 B
Urea 250 kg/ha	0,699 A	0,582 A	0,603 A	0,628 A
CAN 250 kg/ha	0,680 A	0,586 A	0,540 AB	0,602 A
FN34 200 kg/ha	0,727 A	0,569 A	0,565 AB	0,620 A

En la Figura 1 se presentan los rendimientos culturales estimados para las tres campañas evaluadas.

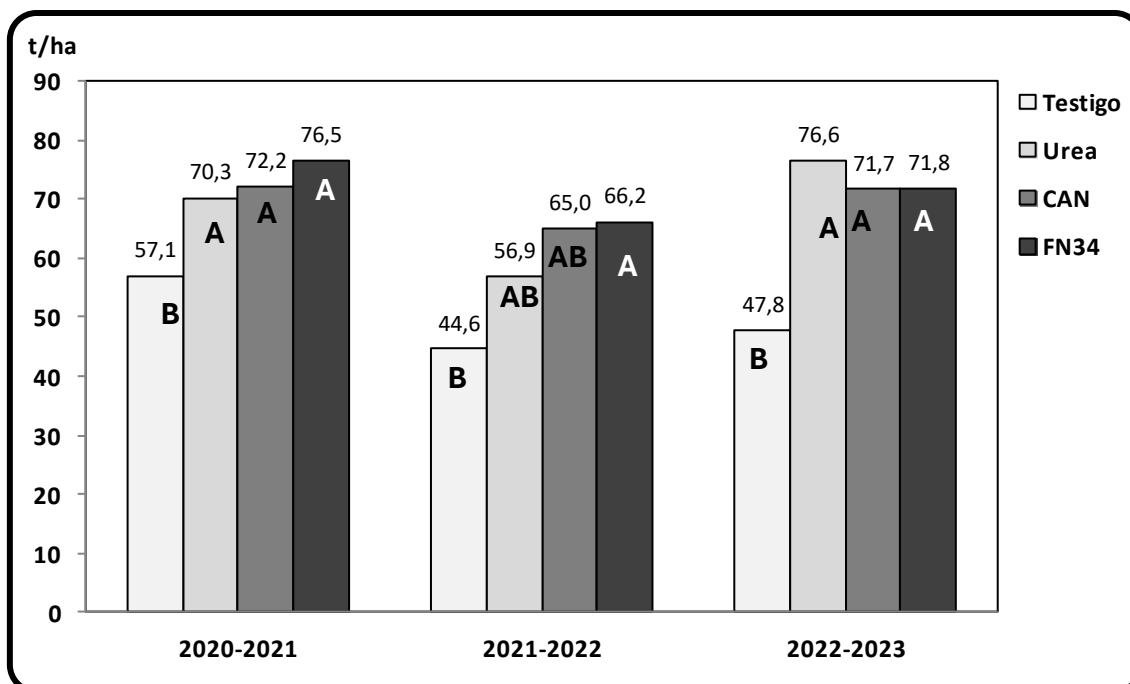


Figura 1. Rendimiento cultural estimado para las tres campañas evaluadas, LCP 85-384. Leales, Tucumán.

En la primera campaña, todos los tratamientos presentaron diferencias significativas con respecto al testigo pero sin diferencias entre ellos. Los incrementos de rendimientos fueron entre 23% y 34%, siendo la aplicación de FN34 la de mayor producción de caña. En la segunda campaña, la tendencia fue similar, pero con rendimientos más bajos que en la anterior. Los aumentos de la producción estuvieron en el orden del 27% al 48%, aunque solo FN34 presentó diferencias significativas con el testigo pero sin diferencias entre las fuentes nitrogenadas. Cabe aclarar que esta campaña inició con un importante déficit hídrico primaveral y luego durante los meses de diciembre y enero, lo que afectó el crecimiento y desarrollo de los cañaverales. Además las temperaturas medias registradas fueron superiores a los valores normales. Esta situación descripta podría explicar los menores rendimientos culturales obtenidos en esta campaña.

En la campaña 2022-2023, los rendimientos de los tratamientos con fertilizantes nitrogenados presentaron diferencias significativas con respecto al testigo y sin diferencias entre ellos. Los incrementos fueron de 50% al 60%.

Por lo tanto, en ninguna de las tres campañas se evidenciaron diferencias de significación entre el tratamiento tradicional y las nuevas alternativas de fertilización nitrogenada.

Estos resultados demuestran que con la aplicación de CAN y FN34 se obtuvieron rendimientos culturales similares a los obtenidos con urea, empleando el 60% del nitrógeno por hectárea del utilizado en la dosis tradicional de urea durante tres campañas consecutivas.

El análisis de la eficiencia en el uso del nitrógeno (EUN), que se muestra en la Figura 2, destaca que los fertilizantes utilizados con un menor contenido de nitrógeno por unidad de superficie, presentaron los valores de EUN más altos.

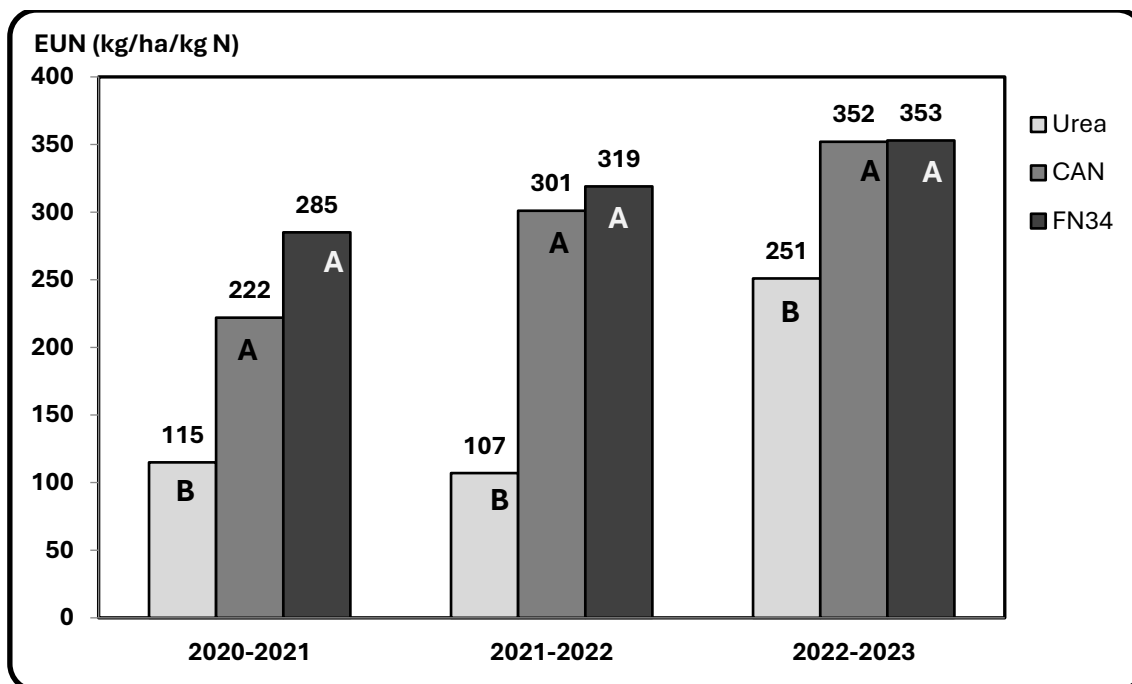


Figura 2. Eficiencia en el uso de nitrógeno en las tres campañas, LCP 85-384. Leales, Tucumán.

Esto indica que por cada unidad de nitrógeno aplicada se obtuvieron incrementos de rendimiento más elevados y por lo tanto, son considerados como fuentes nitrogenadas de mayor eficiencia que la urea. Durante las tres campañas las diferencias fueron significativas entre los tratamientos CAN y FN34 con respecto al uso de urea.

Conclusiones

La aplicación de fuentes nitrogenadas más eficientes durante tres campañas consecutivas, permitieron obtener rendimientos similares a los que se obtienen con urea, con un 40% menos de unidades de N por ha, permitiendo lograr una mayor eficiencia en el uso de este nutriente.

Además, estas fuentes pueden ser aplicadas en superficie, por lo que los costos y tiempos operativos serían menores a los que implica la aplicación con urea, la cual debe ser incorporada.

Bibliografía

Cantarella, H.; P. C. Ocheuze Trivelin; T. L. Michelucci Contin; 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.

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>.

Dobermann, A. 2007. Nutrient use efficiency. Measurement and management. In: Kraus, A., Isherwood, K. and Heffer, P., Eds., *Fertilizers Best Management Practices. Proceeding of International fertilizer Industry Association*, Brussels, Belgium, 7-9 March 2007, pp. 1 - 22.

Fernández González, P.; Alonso, L.; Barcelo, M.F.; Leggio, M.F. y Romero E.R. 2022. Nueva alternativa de fertilización nitrogenada en caña de azúcar: Fertilizante con inhibidor MCDHS. Avance Agroindustrial 43-4.

Leggio Neme, M. F., Alonso, L. G., Fernández González, P. G., Luque, B., Quintana, D., Paredes, V., & Romero, E. R. (2018). Evaluación del nitrato de amonio calcáreo como fertilizante nitrogenado en caña de azúcar en Tucumán, Argentina. In Libro resúmenes de XI Congreso Atalac-Tecnicaña 2018.

Mariano, E.; P. C. O Trivelin; M. X. Vieira; J. M. Leite.; R. Otto and H. C. J. Franco. 2012. Ammonia losses estimated by an open collector from urea applied to sugarcane straw. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa 36: 411-419.

Romero, E. R., & Digonzelli, P. A. (2009). Manual del cañero. Las Talitas: Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres.

DICLOSULAM: NUEVA ALTERNATIVA PARA EL MANEJO PRE EMERGENTE DE MALEZAS PROBLEMÁTICAS EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR EN TUCUMÁN, ARGENTINA.

M. F. Barceló¹; A. Sánchez Ducca^{1y2}; P. D. Vargas, S. Sabaté¹, E. R. Romero^{1y2}

¹Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) Tucumán-Argentina.

²Facultad de Agronomía y Zootecnia – UNT.

fbarcelo@eeaoc.org.ar

Palabras claves: herbicida, mecanismo de acción, *Sicyos polyacanthus*, *Tithonia tubaeformis*, *Urochloa plantaginea*.

INTRODUCCIÓN

La principal estrategia con que cuenta el cañaveral para competir con las malezas, es la de limitar el nivel de radiación solar disponible para ellas, mediante la velocidad y la magnitud con que desarrolla su canopeo. Por ello, las medidas para el control de las malezas, deben ser efectuadas durante el período en que la caña de azúcar no puede competir eficientemente. Este período comienza antes de la brotación y culmina con el cierre del cañaveral (Sánchez Ducca *et al.*, 2015). Para nuestra región, Arévalo (1977) determinó que el mismo inicia con la brotación del cultivo y continúa hasta los 90 a 120 días posteriores.

Este período crítico de competencia coincide con la sequía primaveral que caracteriza a la región, debido a su régimen monzónico de precipitaciones. En condiciones de secano, esa particularidad limita el empleo de la mayoría de los herbicidas pre-emergentes utilizados en Tucumán.

La combinación de atrazina con acetoclor, tratamiento herbicida pre-emergente más utilizado en Tucumán, muchas veces ve afectada su eficiencia por el período seco. Esta combinación se viene utilizando en forma continua desde hace muchos años en la provincia (Sánchez Ducca *et al.*, 2020), por lo que su uso extensivo y repetitivo podría facilitar la selección de biotipos resistentes a dicha mezcla. Con ella tampoco se logra un control de excelencia de las principales malezas anuales que afectan los cañaverales tucumanos como *Sicyos polyacanthus*, nombre común tupulo, *Tithonia tubaeformis* (n.c: pasto cubano) y *Urochloa plantaginea*. Por ello, disponer de nuevas alternativas de herbicidas que sean eficientes sobre estas y otras malezas y, además, posean un mecanismo de acción distinto al tratamiento convencional y a lo más utilizados actualmente, resulta muy importante.

Diclosulam es un herbicida interesante para evaluar en el cultivo de caña de azúcar en nuestra provincia ya que cuenta con registro en Brasil donde es ampliamente utilizado. Además, está disponible en nuestro país ya que se encuentra registrado para su uso en los cultivos de soja y maní. Este herbicida actúa inhibiendo la enzima acetolactato sintasa (ALS), y tiene amplio espectro de control, tanto en latifoliadas como gramíneas anuales.

OBJETIVO

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto herbicida (EH) y la toxicidad visual sobre el cultivo de caña de azúcar del herbicida diclosulam, en comparación con los tratamientos pre-emergentes más utilizados en la provincia de Tucumán para el control de *Sicyos polyacanthus*, *Tithonia tubaeformis* y *Urochloa plantaginea*.

MATERIALES Y METODOS

En campos comerciales de caña de azúcar en la provincia de Tucumán (Argentina), se realizaron tres experiencias que incluyeron los siguientes tratamientos descritos en la Tabla 1.

Tabla 1. Tratamientos evaluados en los tres ensayos.

Tratamientos	Dosis comercial g o cm ³ .ha ⁻¹
T1 Testigo sin herbicida	-
T2 Atrazina 90% + acetoclor 90%	2000+2000
T3 Diclosulam 84%	60
T4 Isoxaflutole 45% + indaziflam 15%	300
T5 Amicarbazone 70%	1000
T6 Flumetsulam 12%	1500

Las experiencias se agruparon de acuerdo al siguiente detalle:

Ensayo I: evaluación de efecto herbicida (EH) sobre *S. polyacanthus* y toxicidad visual sobre el cultivo. El lote se encontraba en la localidad de Taco Palta, Dpto. Burruyacú y el cultivar implantado era TUC 06-7, en la edad de caña planta. La aplicación se realizó el 4 de octubre de 2023, en preemergencia de las malezas y post emergencia temprana del cultivo.

Ensayo II: evaluación de EH sobre *Tithonia tubaeformis* y toxicidad visual sobre el cultivo. El lote se encontraba en la localidad de La Ramada, Dpto. Burruyacú y el cultivar implantado era LCP 85-384 en la edad de caña planta. La aplicación de los tratamientos se realizó el 8 de noviembre de 2022, en preemergencia de las malezas y post emergencia temprana del cultivo.

Ensayo III: evaluación de EH sobre *Urochloa plantaginea* y toxicidad visual sobre el cultivo. El lote se estaba ubicado en el Dpto. Leales. El cultivar implantado era LCP 85-384 en la edad de caña planta. La aplicación de los tratamientos se realizó el 20 de octubre de 2021, en pre-emergencia de las malezas y post-emergencia temprana del cultivo.

El diseño de los ensayos fue de bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones. La unidad experimental fue una parcela de 4,8 m de ancho y 8 m de largo. Se aplicaron 3 m dejando el resto de la parcela como testigo. Todos los

ensayos fueron aplicados con mochila de CO₂ con volumen de aplicación entre 130 y 147 l/ha. Se utilizaron boquillas XR11002 distanciadas a 50 cm.

Para la evaluación de EH y fitotoxicidad en forma visual 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. Los resultados son presentados en su escala original. Para realizar la comparación de medias se utilizó el test a posteriori con la prueba DGC, $\alpha=0,05$ de probabilidad.

RESULTADOS

1. Sobre el control de *S. polyacanthus* (Figura 1), a los 16 días después de la aplicación (DDA), los tratamientos 5 y 6 lograron un excelente efecto herbicida, que se mantuvo a lo largo de todas las evaluaciones (hasta los 55 DDA). Los tratamientos T3 y T4 tuvieron un muy buen control de esta maleza durante todo el periodo evaluado. El tratamiento convencional, atrazina más acetoclor (T2), solo tuvo buen EH en la primera evaluación, disminuyendo hasta niveles no satisfactorios, con diferencias significativas con el resto de los tratamientos para todos los momentos evaluados.

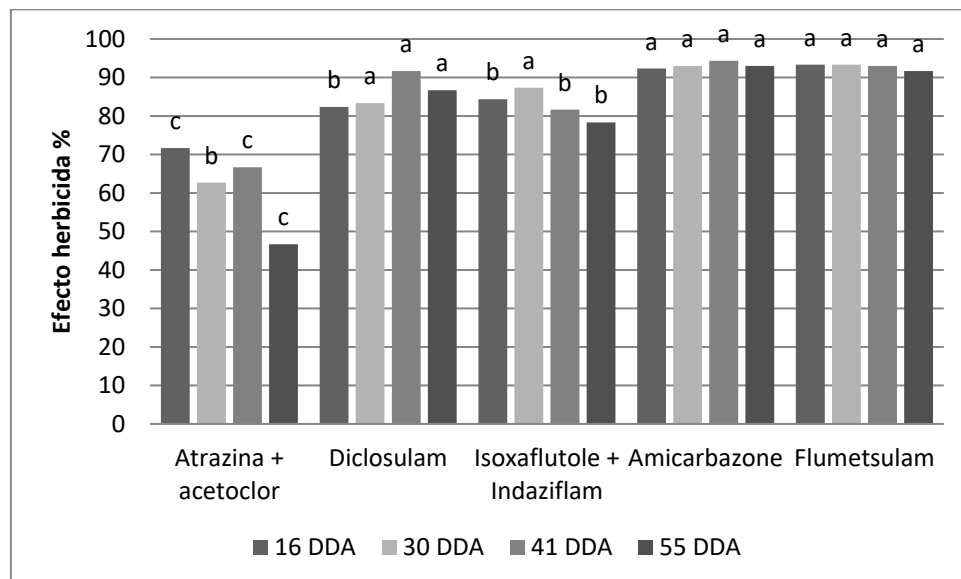


Figura 1. Efecto herbicida de los diferentes tratamientos sobre *Sicyos polyacanthus*. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

2. El EH observado para *Tithonia tubaeformis* se presenta en la Figura 2. Los tratamientos T3, T4, T5 y T6 presentaron un excelente control desde la primera hasta la última evaluación a los 58 DDA, diferenciándose

significativamente del tratamiento convencional (atrazina + acetoclor), el cual presentó un EH insuficiente en todas las evaluaciones.

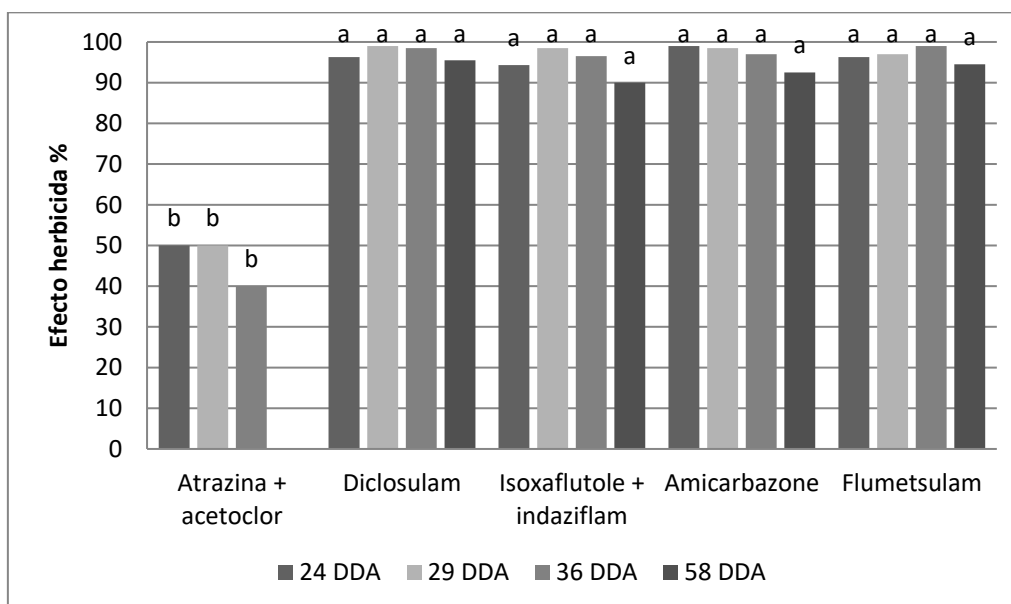


Figura 2. Efecto herbicida de los diferentes tratamientos sobre *Tithonia tubaeformis*. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

3. Sobre *Urochloa plantaginea*, diclosulam (T3) e isoxaflutole más indaziflam (T4) lograron niveles de excelencia de EH a lo largo del periodo evaluado, con diferencias significativas con el resto de los tratamientos. En cuanto a T2 y T6, estos mostraron un control muy bueno para esta gramínea hasta los 55 DDA. Por último, amicarbazone tuvo muy buen control hasta los 42 DDA, disminuyendo a bueno a los 55 DDA (Figura 3).

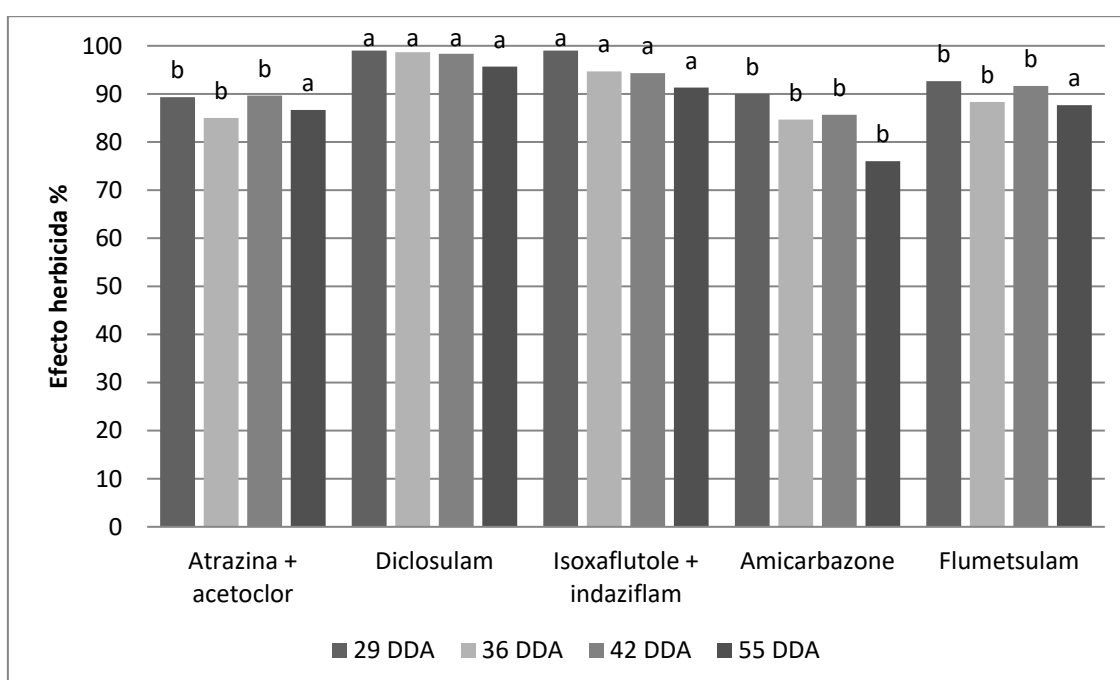


Figura 3. Efecto herbicida de los diferentes tratamientos sobre *Urochloa plantaginea*. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

Los tratamientos herbicidas evaluados no presentaron toxicidad observable sobre el cultivo en ninguno de los tres ensayos realizados.

CONCLUSIONES

Todos los tratamientos evaluados tuvieron un mejor efecto herbicida que el tratamiento convencional para el control de *S. polyacanthus* y *T. tubaeformis*.

Diclosulam 84% se destacó porque fue el único tratamiento que tuvo alta eficiencia para las tres malezas evaluadas. Flumetsulam y amicarbazone fueron eficientes sobre *Sicyos polyacanthus* y *Tithonia tubaeformis* pero no en *Urochloa plantaginea*, mientras que isoxaflutole + indaziflam fue eficaz para *U. plantaginea* y *T. tubaeformis*, y no así para *Sicyos polyacanthus*. Por último, atrazina más acetoclor solo tuvo muy buen control para *U. plantaginea*.

En las condiciones que se realizaron los ensayos, no se observaron daños evidentes de fitotoxicidad en ninguno de los cultivares evaluados. Para tener certezas de la selectividad observada en estos ensayos es preciso hacer ensayos específicos para esta variable considerando los diferentes componentes del rendimiento cultural.

Podemos concluir que diclosulam es una herramienta química promisorio, que podría ser incorporada a los sistemas productivos de caña de azúcar. Para ello es necesario continuar con las experiencias que permitan evaluar dosis, compatibilidad en posibles mezclas con otros herbicidas y selectividad en diferentes condiciones del cultivo. Esta información es fundamental para terminar de identificar el potencial de este activo e impulsar su registro para utilizarlo en el cultivo de caña de azúcar. En este último aspecto, es fundamental contar con el apoyo de las empresas fabricantes de agroinsumos y el interés de los productores para impulsar dicho proceso.

BIBLIOGRAFIA

Arévalo, R. A.; Cerrizuela, E. A.; Olea, I. 1977. Período crítico de competencia de comunidades naturales de malezas en caña de azúcar. R. Agron. Nor. Argentino, v. 14, n. 1-4, p. 83-99.

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.

Sánchez Ducca, A; Digonzelli, P. A.; Romero, E. R.; Leggio Neme, M. F.; Giardina, J.; Sabaté, S. y Cainzo, F. 2015. Manejo de malezas con herramientas químicas. En P. A. Digonzelli; E. R. Romero; J. Scandaliaris (Editores). Guía técnica del cañero (pp. 96- 113). Tucumán, Argentina: Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes.

Sánchez Ducca, A; Vargas, P. D; Sabaté, S; y Romero E. R. 2020.
Relevamiento sobre el manejo de malezas en caña de azúcar en la provincia
de Tucumán, encuesta 2018. Avance Agroindustrial 40 – 1. p. 24 -28. Disponible
en: <https://www.avance.eeaoc.gob.ar/wp-content/uploads/2020/03/malezas>

Análisis del estado sanitario de los cañaverales de Tucumán, Argentina, durante las campañas 2022/2023 y 2023/2024. Evolución del carbón en las últimas campañas agrícolas.

Bertani, R.P.¹; Lobo, J.A.¹; Huvieme, L.G.¹; Funes, C.¹; Monachesi, M.A.²; Joya, C. M.²; González, V.¹.

¹Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). Av. William Cross 3150, C.P. T4101XAC, Las Talitas, Tucumán, R. Argentina.

²Instituto 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: bertaniromina@gmail.com

Palabras Clave: comportamiento varietal, carbón, roya marrón, estría roja, RSD

Introducción

Al momento de ser liberada una variedad para su cultivo comercial, se da a conocer su comportamiento fitosanitario; dicho comportamiento puede sufrir modificaciones a lo largo del tiempo. Un claro ejemplo es lo que sucedió con LCP_85-384 en Tucumán (Ramallo *et al.*, 2005); esta variedad se liberó al cultivo comercial en la Argentina en 1999, con un comportamiento resistente a la roya marrón y en el 2005 quebró la resistencia convirtiéndose en uno de los problemas fitosanitarios de caña de azúcar más serios de la región.

A partir de la campaña 2020/2021, el carbón de la caña de azúcar (*Sporisorium scitamineum*) incrementó su prevalencia en los cañaverales de Tucumán, posicionándose, junto a la roya marrón, como una de las principales enfermedades del cultivo. Esto se fundamentó, en el cambio en la resistencia de LCP 85-384, la principal variedad cultivada en la provincia (Henriquez *et al.*, 2023), a la sequía y las altas temperaturas ocurridas durante la primavera del año 2020. Esta enfermedad había ocasionado una epifitía en la Argentina en la década del 1940, donde se debieron reemplazar las variedades susceptibles por resistentes.

Por otra parte, la roya marrón (*Puccinia melanocephala*) se destaca, desde el 2005, como una enfermedad de elevada prevalencia en los cañaverales de Tucumán (Bertani *et al.*, 2021; 2022). Debido a la elevada presión de inóculo de dicho patógeno, algunas variedades que presentaban un buen comportamiento frente a esta enfermedad al momento de ser liberadas, como por ejemplo TUCCP 77-42, TUC 97-8 y TUC 95-37, mostraron un comportamiento susceptible en las dos campañas precedentes (2020/2021 y 2021/2022) (Bertani *et al.*, 2021; 2022).

En cuanto a las enfermedades bacterianas que afectan a los cañaverales, la estría roja (*Acidovorax avenae* subsp. *avenae*) ha adquirido relevancia en los últimos años en las zonas cañeras de la Argentina y otras partes del mundo. La misma puede afectar tallos molibles de caña de azúcar y consecuentemente provocar una disminución del rendimiento cultural y fabril. En la campaña 2021/2022 se realizó la primera prospección de estría roja en la provincia (Bertani *et al.*, 2022), confirmando su amplia distribución en el área cañera.

Por último, una de las enfermedades sistémicas que ocasiona los mayores daños económicos a nivel mundial es el raquitismo de las cañas socas (RSD) (*Leifsonia xyli* subsp. *xyli*). Para detectarla, es necesario realizar un diagnóstico apropiado de la “caña semilla” que se destinará a futuras plantaciones, teniendo en cuenta la propagación agámica del cultivo. El

Laboratorio de la Sección Fitopatología de la EEAOC dispone del servicio de detección de RSD en muestras de tallos de caña de azúcar.

En este trabajo se evaluó el estado sanitario de la caña de azúcar en Tucumán durante las campañas 2022/2023 y 2023/2024, a partir del monitoreo de lotes comerciales y el servicio de diagnóstico de RSD, para conocer el comportamiento varietal frente a las principales enfermedades que afectan al cultivo.

Materiales y métodos:

Prospección de enfermedades en el área cañera de Tucumán

Se evaluaron lotes comerciales distribuidos en el área cañera de la provincia. Las variedades monitoreadas 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. Las edades de corte monitoreadas fueron: caña planta y socas 1 a 6.

En la Figura 1 se indica, cronológicamente, el momento de evaluación de cada enfermedad.

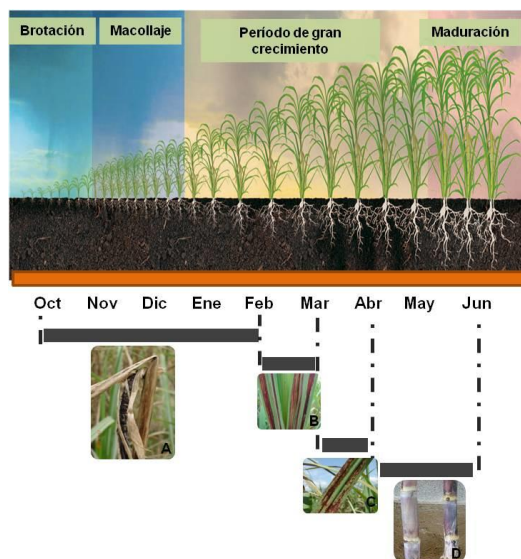


Figura 1. Época de evaluación de las principales enfermedades que afectan al cultivo de la caña de azúcar en Tucumán. **A)** Carbón (*Sporisorium scitamineum*), **B)** Estría roja (*Acidovorax avenae* subsp. *avenae*), **C)** Roya marrón (*Puccinia melanocephala*) y **D)** Raquitismo de las cañas socas (RSD) (*Leifsonia xyli* subsp. *xyli*).

Evaluación de la incidencia y prevalencia del carbón de la caña de azúcar

Para conocer la prevalencia e incidencia del carbón (Figura 1A) se evaluaron 126 y 115 lotes, en las campañas 2022/2023 y 2023/2024, respectivamente. Los mismos estaban distribuidos en los departamentos de Burruyacú, Cruz Alta, Famaillá, Graneros, Juan Bautista Alberdi, Leales, Lules, Río Chico, Río Seco, Simoca y Tafí Viejo. En cada lote se determinaron cuatro sitios de evaluación por hectárea evaluada; cada uno constituido por un surco de 5 m lineales. Se contaron tallos totales y tallos enfermos; se calculó la incidencia de la enfermedad (porcentaje de tallos enfermos) y la prevalencia de la misma (porcentaje de lotes enfermos).

Prospección de estría roja de la caña de azúcar

En los meses de febrero y marzo de 2023 y 2024 (Figura 1B), se realizó la prospección de estría roja en el área cañera de la provincia. Se evaluaron 54 y 76 lotes, respectivamente, ubicados en los departamentos de Juan Bautista Alberdi, Burruyacú, Cruz Alta, Famaillá, Leales, Monteros, Río Chico, Simoca y Tafí Viejo.

En cada lote se seleccionaron puntos al azar y se determinó la incidencia de la enfermedad evaluando 5 m lineales, discriminando entre tallos con estría roja en hojas (ER) y tallos afectados por polvillo (P).

Monitoreo de roya marrón

Entre marzo y abril del 2023 (Figura 1C) se realizó la evaluación de los cañaverales para conocer la severidad de roya marrón; sin embargo, la enfermedad no fue detectada dicho periodo. Respecto a la campaña 2023/2024, se comenzaron a detectar lotes afectados con roya marrón desde octubre, por lo que el monitoreo se realizó en el periodo octubre-marzo. Se evaluaron 71 lotes, ubicados en los departamentos de Burruyacú, Cruz Alta, Famaillá, Graneros, La Cocha, Leales, Lules, Monteros, Río Chico y Simoca. En cada lote se seleccionaron 20 puntos al azar y se determinó la severidad de roya marrón mediante el uso de una escala diagramática de 1 a 9 (Amorin *et al.*, 1987), basada en el porcentaje de área foliar afectada.

Diagnóstico del raquitismo de la caña soca (RSD) en lotes comerciales destinados a caña semilla

La Sección Fitopatología recomienda para la plantación de lotes comerciales utilizar como caña semilla aquellos lotes cuyas muestras presentan un valor de infección de RSD menor al 5% (Joya *et al.*, 2019). Por tal motivo, resulta imprescindible conocer previamente el estado sanitario de los lotes que serán destinados a semilleros.

A partir de abril de 2023 y 2024 (Figura 1D), se recibieron en el laboratorio muestras de tallos provenientes de lotes comerciales para la detección de *Leifsonia xyli* subsp. *xyli*. El diagnóstico se realizó empleando la técnica serológica TBIA (Tissue Blot Immunoassay). Se procesaron 716 y 703 muestras, en el 2023 y 2024, respectivamente, conformadas por el tercio basal de aproximadamente 20 tallos. Se calculó el porcentaje de incidencia (n° tallos enfermos/ n° total de tallos x 100) para cada muestra. Las mismas se agruparon por rangos de incidencia de la enfermedad.

Resultados

El carbón de la caña de azúcar fue la enfermedad de mayor prevalencia en Tucumán

El carbón de la caña de azúcar presentó una elevada prevalencia en los cañaverales de Tucumán: 51,6% y 50,4%, en las campañas 2022/2023 y 2023/2024, respectivamente. La variedad más afectada continúa siendo LCP 85-384, con una prevalencia del 92,2% (Figura 2A) y 87,0% (Figura 2B), respectivamente; alcanzando un 53,8% de incidencia máxima en Burruyacú y Cruz Alta (2022/2023) (Figura 3A) y un 52,0% en Leales (2023/2024) (Figura 3B). En general, los cultivares TUC desarrollados por el 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 o solo presentaron trazas de carbón en las prospecciones, con algunas excepciones observadas en lotes puntuales. Este

Cabe resaltar que el número de lotes evaluados de las variedades TUC 06-7, TUC 02-22 y TUC 00-65 es menor a 10 (Figura 2), debido a que por su reciente liberación aún representan un porcentaje menor al 1,5% del área cañera cultivada (Aybar Guchea *et al.*, 2020).

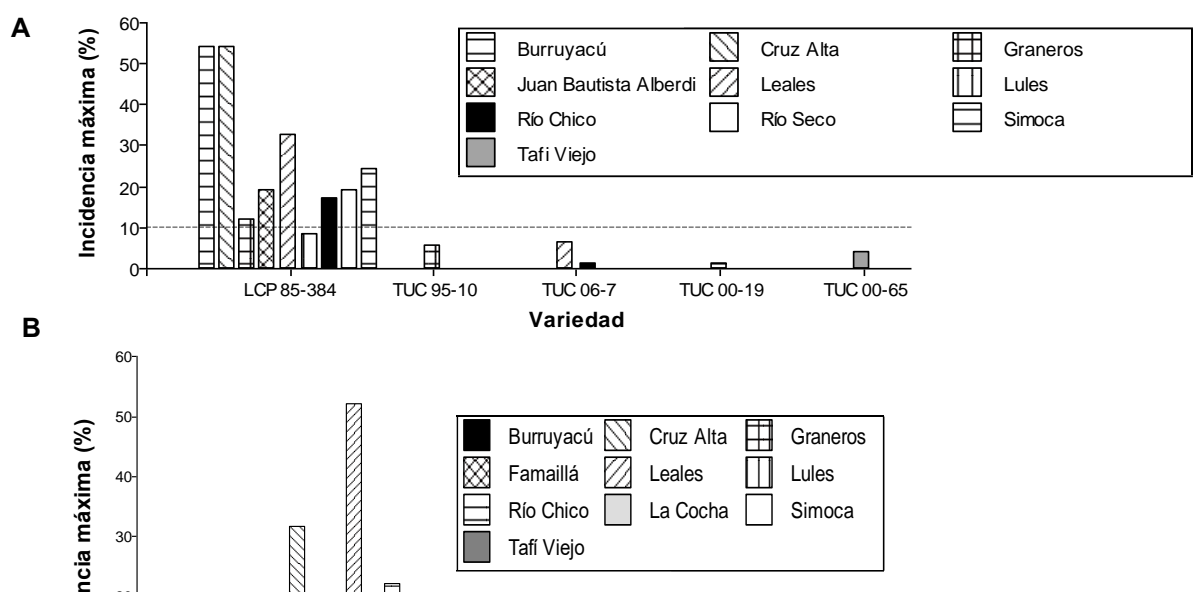
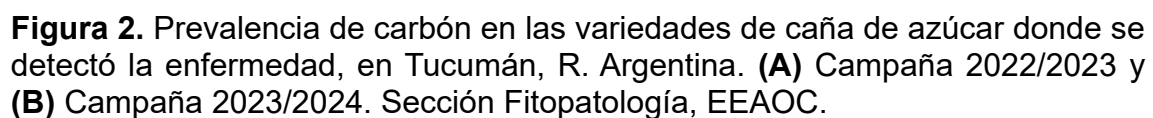


Figura 3. Valores máximos puntuales de incidencia de carbón, en variedades comerciales de caña de azúcar donde se detectó la enfermedad, en diferentes localidades de Tucumán, R. Argentina. **(A)** Campaña 2022/2023. **(B)** Campaña 2023/2024. Sección Fitopatología, EEAOC. (----) la línea indica un valor de incidencia del 10%.

El carbón de la caña de azúcar fue la enfermedad de mayor prevalencia en Tucumán por tercera y cuarta campaña consecutiva; esto se condice con lo observado en las campañas 2020/2021 y 2021/2022 (Bertani *et al.*, 2023), donde se registró un 47,8% y 80,1% de lotes enfermos, respectivamente. LCP 85-384, continúa presentando una elevada susceptibilidad al carbón; alcanzando prevalencias de 87,0%, 92,2%, 94,5% y 85,2% en las campañas 2023/2024, 2022/2023, 2021/2022 y 2020/202, respectivamente.

Las condiciones de alta temperatura y sequía retrasaron la aparición de roya marrón en la campaña 2022/2023

Durante la campaña 2022/2023, se registraron en Tucumán temperaturas que superaron el umbral de la normalidad (Forciniti *et al.*, 2023). Esto, sumado a la pronunciada sequía que se extiende en el tiempo desde varias campañas hacia atrás debido al fenómeno de “La Niña”, tuvo una influencia directa en la manifestación de la roya marrón, la cual no fue detectada en los cañaverales de Tucumán hasta mayo del 2024.

Detección temprana de roya marrón en la campaña 2023/2024

La prevalencia de roya marrón en la campaña 2023/2024 fue de 67,6% en la provincia de Tucumán; 62,5% en la zona norte, 74,2% en la zona centro y 62,5% en la zona sur. se detectó una manifestación temprana de la roya marrón durante los primeros días del mes de octubre. Se evaluaron 71 lotes, distribuidos en la zona norte, centro y sur del área cañera tucumana. En general, la variedad que alcanzó los mayores valores de severidad fue LCP 85-384 (Figura 4), presentando valores de severidad máxima superiores a 7 en cinco de los departamentos evaluados. TUC 06-7 y TUC 95-10 mostraron valores de severidad superiores a 5 en Burruyacú, Leales, Lules y Simoca y Burruyacú, Famaillá, Leales y Monteros, respectivamente. El resto de las variedades TUC tuvieron un comportamiento resistente a la enfermedad en todas las localidades evaluadas.

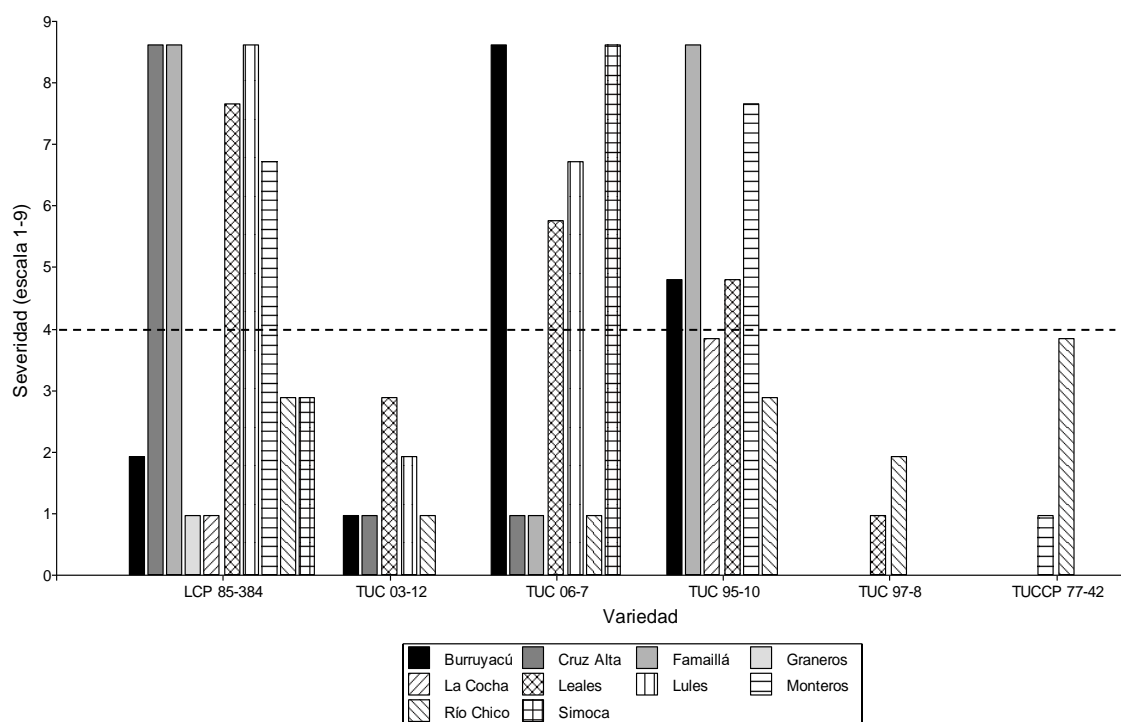


Figura 4. Valores máximos puntuales de severidad de roya marrón, en variedades comerciales de caña de azúcar donde se detectó la enfermedad, en diferentes localidades de Tucumán, R. Argentina. Campaña 2023/2024. Sección Fitopatología, EEAOC. (----) la línea para un valor de escala de 4 indica el cambio de reacción de resistente a susceptible.

La estría roja continúa presente en los cañaverales de Tucumán

La prevalencia de estría roja en Tucumán en las campañas 2022/2023 y 2023/2024 fue de 27,8% y 11,8%, respectivamente; todos los lotes enfermos presentaron síntomas en hojas, pero solo un 12,9% y un 10,5% de ellos presentó polvillo, en ambas campañas, respectivamente. En la campaña 2021/2022, el 51% de lotes evaluados estaban afectados (Bertani *et al.*, 2022).

Por otro lado, los valores de incidencia promedio de la enfermedad no superaron el 11% (Figura 5A) y el 2% (Figura 5B) para ambas campañas, respectivamente. La variedad más afectada en la campaña fue TUC 00-19, con una prevalencia de 85,7% (2022/2023) y 66,7% (2023/2024) e incidencia máxima para ER y P de 18,8% y 17,7% (2022/2023) y 5,3% y 6,0 (2023/2024), respectivamente (Figura 5).

La segunda variedad más afectada en ambas campañas fue TUC 06-7, que presentó un 54,6% y 14,3% de lotes enfermos, respectivamente, con valores más elevados de incidencia máxima de ER (54,5% y 18,4%), pero menores valores de incidencia máxima de P (8,1% y 10,6%).

Por su parte, TUC 03-12 y TUC 02-22 presentaron 20% y 12,5% de lotes afectados en la campaña 2022/2023 y 12,5% y 10,0% en la campaña 2023/2024, respectivamente.

A

B

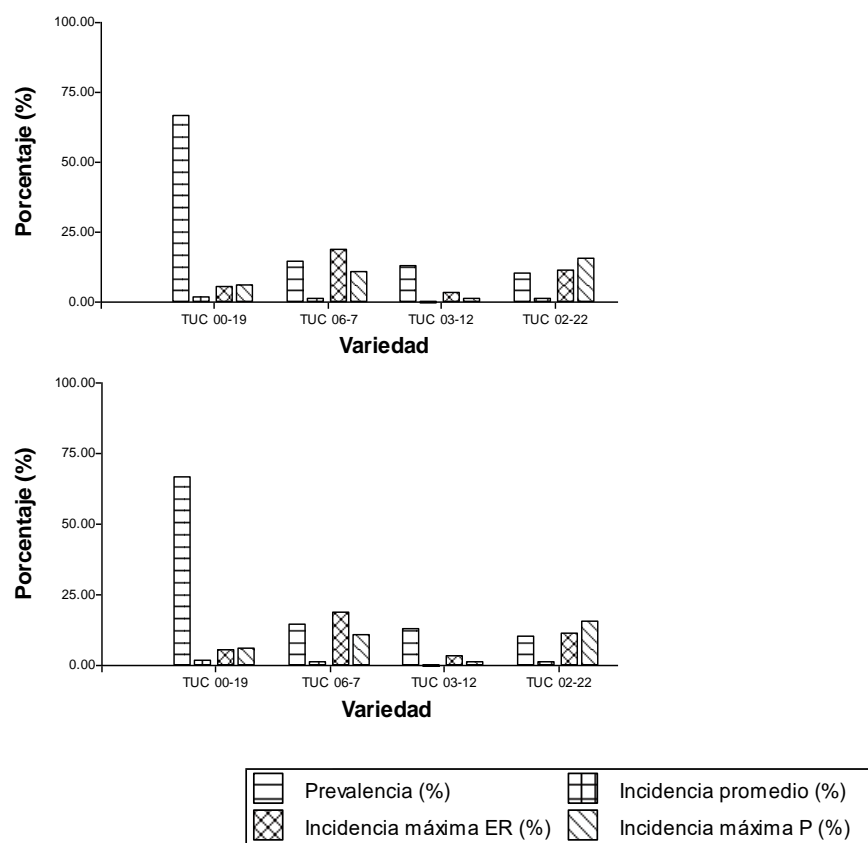


Figura 5. Prevalencia, incidencia promedio e incidencia máxima de estría roja en las variedades de caña de azúcar donde se detectó la enfermedad, en Tucumán, R. Argentina. **(A)** Campaña 2022/2023. **(B)** Campaña 2023/2024. Sección Fitopatología, EEAOC. ER: estría roja en lámina foliar; P: polvillo.

Diagnóstico de RSD en muestras de lotes destinados a caña semilla

En el 71,4% y 84,5% de las muestras evaluadas en el laboratorio durante el 2023 y 2024, respectivamente, no se detectó la bacteria causal del RSD. Por otro lado, un alto porcentaje de muestras analizadas (77,4% y 90,5%, respectivamente) resultaron aptas para su empleo como “caña semilla” en las nuevas plantaciones (incidencia $\leq 5\%$) (Tabla 1), resaltando la eficiencia del esquema de producción y multiplicación de semilla de alta calidad.

Tabla 1. Incidencia del raquitismo de las cañas socas (RSD) de muestras de lotes comerciales procesadas en el laboratorio de la Sección Fitopatología-EEAOC durante los años 2023 **(A)** y 2024 **(B)**.

Incidencia (%)	2023		2024	
	Nº muestras	Muestras RSD positivas (%)	Nº muestras	Muestras RSD positivas (%)
0	511	71,4	594	84,5
> 0 \leq 5	43	6,0	42	6,0
> 5 \leq 10	46	6,4	32	4,5
> 10	116	16,2	35	5,0

Total	716	-	703	-
--------------	------------	----------	------------	----------

Conclusiones

Durante las campañas 2022/2023 y 2023/2024 se destacó la prevalencia, en primer lugar, del carbón de la caña de azúcar.

En cuanto a carbón, se presentó de manera generalizada en la provincia, mostrando, por tercera y cuarta campaña consecutiva, un elevado porcentaje de lotes afectados. La variedad más susceptible continúa siendo LCP 85-384.

Los cultivares TUC desarrollados por el SMGCA-EEAOC presentan en general un buen comportamiento frente a carbón. En el caso de TUC 06-7, TUC 00-65 y TUC 02-22, los valores de prevalencia de la enfermedad superaron el 20%; sin embargo, sólo se observaron lotes puntuales que alcanzaron incidencias máximas que no superaron el 10%, el resto de los lotes afectados solo presentaba trazas de la enfermedad. Respecto a TUC 95-10, la prevalencia fue muy baja en ambas campañas analizadas, presentando lotes puntuales con incidencias menores al 10%.

Debido a las condiciones climáticas reinantes en la campaña 2022/2023, hasta el mes de mayo no se observaron síntomas de roya marrón en los sitios evaluados.

De manera inusual, en la campaña 2023/2024 se detectó roya marrón a partir del mes de octubre, en estadios fisiológicos tempranos de la caña de azúcar. Si bien LCP 85-384 continúa presentando un comportamiento susceptible, en dicha campaña también se detectaron lotes de TUC 95-10 y TUC 06-7 afectados por roya marrón.

La prospección de estría roja en la provincia mostró un 27,8% y un 11,8% de lotes afectados durante las campañas 2022/2023 y 2023/2024, respectivamente. La variedad más susceptible fue TUC 00-19, seguida de TUC 06-7, TUC 03-12 y TUC 02-22.

Por otro parte, más del 77% de las muestras analizadas en el laboratorio de la Sección Fitopatología en el 2023 y 2024, resultaron aptas para su empleo como “caña semilla” por presentar incidencia de RSD inferior al 5%.

Los monitoreos continuos realizados en el área cañera de Tucumán, ponen en evidencia al carbón y a la roya marrón como una amenaza actual para el sector, resaltando la necesidad de diversificación varietal en la provincia, de manera de evitar el quiebre de resistencia por parte de variedades de buen comportamiento sanitario.

Citas bibliográficas

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

- 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 Agroindustrial, 195: 1-11. <https://www.eeaoc.gob.ar/wpcontent/uploads/2020/08/RA-195.pdf>.

- Bertani, R.P.; Funes, C.; Lobo, J.A. and Chaves, S. 2023. Reaction of commercial sugarcane varieties against smut disease in Tucumán, Argentina during the 2020/2021 and 2021/2022 seasons. Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists, volume 31, 379-384.

- Bertani, R.P.; Funes, C.; Joya, C.M.; Lobo, J.A.; Chaves, S.; Monachesi, M.A. y González, V. 2022. Panorama sanitario del cultivo de la caña de azúcar en Tucumán durante la campaña 2021/2022. Reporte Agroindustrial 265: 1-10, <https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=panorama-sanitario-del-cultivo-de-la-cana-de-azucar-en-tucuman-durante-la-campana-2021-2022>.

- 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. Estado sanitario del cultivo de la caña de azúcar en Tucumán durante

la campaña 2020/2021. Reporte Agroindustrial, 230: 1-9, <https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=estado-sanitario-del-cultivo-de-la-cana-de-azucar-en-tucuman-durante-la-campana-2020-2021>.

- Forciniti, J.; Soulé Gómez, M.L.; Leal, A.M. y Medina, J.M. 2023. Condiciones Agrometeorológicas del período Julio 2022 - Febrero 2023 en Tucumán. Reporte Agroindustrial, 273: 1-17, <https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=condiciones-agrometeorologicas-del-periodo-julio-2022-febrero-2023-en-tucuman>.

- Henríquez, D.D.; Medina, P.; Aybar Guchea, M.; Figueroa, M. F.; Costilla, D.D.; Díaz J.V.; Díaz Romero, C. y Ostengo, S. 2023. Relevamiento de la distribución varietal y del uso de otras tecnologías en el cultivo de caña de azúcar en la provincia de Tucumán: campaña 2022/2023. Reporte Agroindustrial 282: 1-12, <https://www.eeaoc.gob.ar/wp-content/uploads/2023/08/RA-282.pdf>

- Joya, C.M.; Bertani, R.P.; Funes, C.; Chaves, S.; Henríquez D.D.; Perera, M.F.; Noguera, A.S.; González, V.; Castagnaro, A.P. and Digonzelli, P.A. 2019. Diagnosis and sanitary status of sugarcane propagation material in different stages of the Vitroplantas Project during 2014/2018. Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists, 30: 470–475.

- Ramallo, J. C.; Ploper, L. D.; Brito, E. y Giardina, J. 2005. Distribución y severidad de la roya marrón de la caña de azúcar en la variedad LCP 85-384 en Tucumán. Revista Avance Agroindustrial, 26(1):9-11.

OBTENCION DE LINEAS TRANSGENICAS DE CAÑA DE AZÚCAR QUE EXPRESAN PROTEINAS INSECTICIDAS PARA *DIATRAEA SACCHARALIS*

Budeguer F.¹; Enrique R.¹; Rodriguez D.B.²; Hernandez D.A.²; Ostengo S.^{1,2}; Castagnaro A.P.¹; Noguera A.S.^{1,2}; Perera M.F.¹ y Racedo J.¹

¹Instituto 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.

²Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC), Las Talitas, Tucumán, R. Argentina, T4101XAC. florbudeguer88@gmail.com

Palabras claves: barrenador de la caña de azúcar, toxinas Bt, organismo genéticamente modificado

Introducción

La Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) lleva a cabo desde sus inicios un intenso trabajo de investigación y desarrollo tecnológico para mejorar integralmente la agroindustria azucarera 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 de Tucumán. 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 (<https://www.eeaoc.gob.ar/articulo/tuc-03-12/>). Sin embargo, como la mayoría de las variedades de caña de azúcar, es susceptible al gusano perforador *Diatraea saccharalis* (<https://www.eeaoc.org.ar/productos/35/TUC-03-12.html>). Para la región del Noroeste Argentino (NOA), la principal plaga del cultivo durante todo su ciclo de crecimiento es el gusano barrenador *D. saccharalis*, la cual ocasiona pérdidas de azúcar estimadas en 58.105 toneladas por año (Pérez, 2023).

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, bacterias, etc. (Budeguer *et al.*, 2021). Entre 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). 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).

Para que un cultivar transgénico sea exitoso, es necesario que el mismo presente alta expresión de la proteína Bt, además de disponer de una estrategia de manejo integrado de plagas que incluya el uso de refugios. La expresión en alta dosis depende de varios factores, siendo fundamental incorporar promotores constitutivos fuertes en las construcciones genéticas. Otro factor clave, es que los transgenes se integren en un sector del genoma de la planta que contribuya a su alta expresión. Además, con el objetivo de aumentar la vida útil de los

cultivos Bt y retrasar la aparición de poblaciones de insectos resistentes, se sugiere el desarrollo de cultivos Bt piramidados, que incorporan una combinación de dos o más genes de *B. thuringiensis* con diferentes mecanismos de acción.

Con relación a los eventos de caña de azúcar transgénica, existen varios estudios realizados en distintos lugares del mundo que lograron incorporar exitosamente genes que expresan las toxinas Cry1Ab, Cry2Ab o Cry1Ac para el control de *D. saccharalis* (Budeguer *et al.*, 2021). Sin embargo, es importante destacar que actualmente solo existen cuatro variedades de caña de azúcar transgénicas en el mundo aprobadas para su comercialización en Brasil, denominadas CTC20BT, CTC9001BT, CTC7515BT y CTC9003BT. Las cuatro variedades expresan una sola toxina de la familia del gen *cry*, que confiere resistencia a lepidópteros. Actualmente no existe en el mercado a nivel mundial una variedad transgénica de caña de azúcar con genes Bt apilados con distintos mecanismos de acción. El uso de genes Bt piramidados se ha adoptado rápidamente en otros cultivos transgénicos y se espera que esta estrategia se utilice con más frecuencia en el futuro, incluso en la caña de azúcar.

Objetivo

Obtener líneas transgénicas de caña de azúcar de la variedad TUC 03-12 que expresen toxina/s Bt y que sean resistentes a *D. saccharalis*.

Materiales y métodos

Material vegetal, construcción genética y transferencia de genes

Se obtuvieron callos embriogénicos de la variedad TUC 03-12 para el bombardeo, siguiendo lo descrito por Bower y Birch (1992). Se utilizaron tres plásmidos portadores de los genes *cry*, *vip* y *nptII* para la transformación genética mediante co-bombardeo. Los genes *cry* y *vip* codifican para proteínas que confieren resistencia a *D. saccharalis* y el gen *nptII* codifica para una proteína que otorga resistencia al antibiótico genetecina, utilizado como agente de selección. Los plásmidos purificados fueron precipitados en 1,8 mg de microproyectiles de oro (BioRad), siguiendo el protocolo descrito por Altpeter y Sandhu (2010). El bombardeo se realizó utilizando un acelerador de micropartículas, bajo una condición de vacío de 675 mmHg, con una presión de helio de 1.200 psi.

Condiciones de selección, regeneración y micropropagación

La selección de los callos transformados se llevó a cabo en un medio de cultivo descrito por Budeguer *et al.* 2020, con 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), conteniendo el agente selectivo geneticina, bajo un régimen de luz de 16 h (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 tejido foliar de líneas potencialmente transgénicas resistentes a la geneticina, de maíz comercial Bt con ambos genes apilados *cry* y *vip* (control positivo) y de plantas no

transgénicas (control negativo), utilizando el método descrito por Aljanabi *et al.* (1999). La cantidad y la calidad del ADN fue determinada midiendo la absorbancia a 260 nm (A260) en un espectrofotómetro y mediante electroforesis en gel de agarosa (1% p v⁻¹). La presencia de los genes *cry* y *vip* se detectó mediante PCR utilizando los cebadores específicos. 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% p v⁻¹) y se calculó la eficiencia de transformación como el número de callos transformados en función de la totalidad de líneas transgénicas para al menos 1 gen de interés.

Detección de proteínas Bt mediante ensayo con tiras reactivas

Para detectar la presencia de la proteína Cry y Vip en los eventos transgénicos de caña de azúcar se utilizó un kit de detección de flujo lateral tipo ELISA. La tira reacciona específicamente con la posible presencia de la proteína Bt, según el principio de inmunocromatografía. Se hizo un pool de hojas por cada línea transgénica y se colocaron en 1 ml de buffer de extracción provisto por el fabricante. Se procedió la molienda con varilla hasta disgregar la totalidad del tejido vegetal. Se sumergieron las tiras en cada uno de los tubos durante 10 min y se registraron los resultados. Como control positivo se usó una variedad comercial de maíz Bt con ambos genes apilados *cry* y *vip*, resistente a *D. saccharalis*.

Evaluación de la resistencia de líneas transgénicas de caña de azúcar frente a *D. saccharalis* en condiciones controladas

Para determinar la resistencia de las líneas transgénicas de caña de azúcar frente a *D. saccharalis* se realizaron ensayos en condiciones controladas en placas de Petri. Para ello, se tomaron dos porciones de hojas de cada línea transgénica de 4 cm de longitud y se colocaron en placa de Petri. Para mantener la humedad del tejido en estudio, se colocó agar (4% p v⁻¹) previamente esterilizado en las placas de Petri de 5 cm de diámetro. Previo a solidificar se agregó ácido ascórbico (0,16 g l⁻¹) y estreptomicina (0,16 g l⁻¹) para evitar contaminación. Una vez solidificado el agar, se colocó un papel de filtro estéril, y sobre éste se dispuso el tejido en estudio infestado con 5 larvas neonatas de *D. saccharalis*. Luego de cinco días se evaluó el número de larvas vivas y muertas. Se realizaron de 5 a 8 repeticiones por cada línea evaluada. Como control negativo se usó una planta de la variedad parental no transgénica TUC 03-12 y como control positivo una variedad de maíz comercial Bt resistente a *D. saccharalis*. Los datos de proporción de mortalidad larval en cada línea transgénica se analizaron con el programa Navure 1.2.0 mediante un modelo lineal generalizado bajo distribución binomial con función de enlace logit. Se utilizó el test a Posteriori DGC (Navure, 2023). Por último, mediante el cálculo del porcentaje de eficacia de Abbot se clasificaron las líneas transgénicas en resistentes (>90%), moderadamente resistentes (90-50%) y susceptibles (<50%) (Abbot 1925).

Resultados

Transformación y selección de líneas transgénicas

Un total de 4185 callos de la variedad TUC 03-12 fueron co-bombardeados con los 3 plásmidos. Se seleccionaron 600 líneas resistentes a la geneticina, las cuales fueron multiplicadas para poder realizar los ensayos moleculares y posteriormente los ensayos fenotípicos. De las 600 líneas obtenidas, se chequearon por PCR un total de 374 líneas para los genes *cry* y *vip*, siendo positivas para el gen *cry* un total de 229 líneas y para los genes *vip* y *cry* un total de 18 líneas (Figura 1). Un total de 101 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*.

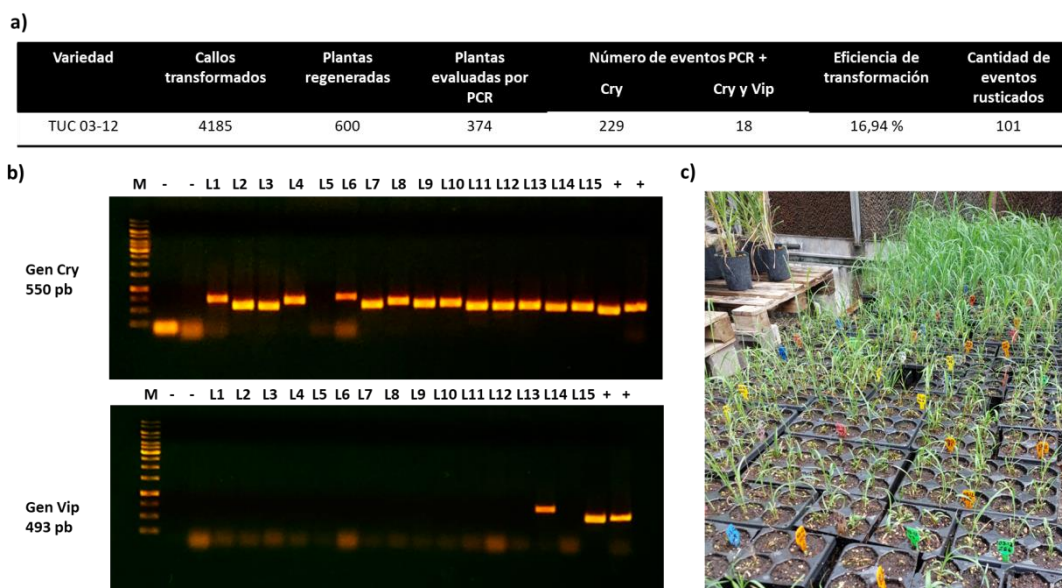


Figura 1. Transformación genética, regeneración y rusticación de la variedad TUC 03-12. a) Descripción del n° de callos transformados, plantas regeneradas y rusticadas, n° de eventos PCR + para cada gen. b) Identificación de líneas TUC 03-12 PCR+ para el gen *cry* y *vip*. M, Marcador de peso molecular 1 kb (Fermentas); (-), Controles negativos; L, eventos transgénicos evaluados; (+), Controles positivos. c) Líneas transgénicas rusticadas en condiciones controladas.

Líneas transgénicas que expresan genes Bt

La presencia de la proteína Cry fue detectada en 77 de las 93 líneas transgénicas evaluadas (78,5%). Por otro lado, no se detectó la presencia de la proteína Vip en ninguna de las 10 líneas transgénicas evaluadas (Figura 2).



Figura 2. Ensayo para detectar presencia de proteínas Bt en las líneas transgénicas mediante tiras reactivas. a) Macerado de hojas de cada línea transgénica en buffer de extracción. b) Detección de la

expresión de la proteína Cry y Vip en caña de azúcar transgénica. El maíz Bt se utilizó como control, mostrando resultado positivo para ambas proteínas (dos bandas). La línea cinco mostró resultados negativos para ambas proteínas (una banda). En la línea 8 se observó expresión de la proteína Cry (dos bandas) pero no así de la proteína Vip (una banda).

Evaluación de la resistencia de líneas transgénicas de caña de azúcar frente a *D. saccharalis* en condiciones controladas

Los resultados de la evaluación de la resistencia de las líneas transgénicas de la variedad TUC 03-12 se observan en la Figura 3, destacándose un total de siete líneas con una mortalidad larval significativamente diferente ($p<0,05$) a las línea control (TUC 03-12 no transgénica). Cabe destacar, que la línea 1 presentó la misma proporción de mortalidad larval (0,97) que el maíz Bt comercial. En lo que respecta al análisis mediante el porcentaje de eficacia de Abbot, se destacaron las líneas 24, 8 y 157 como susceptibles, las líneas 82, 7, 25 y 30 como moderadamente resistentes y la línea 1 como resistente con un 95,14% de porcentaje de eficacia de Abbot.

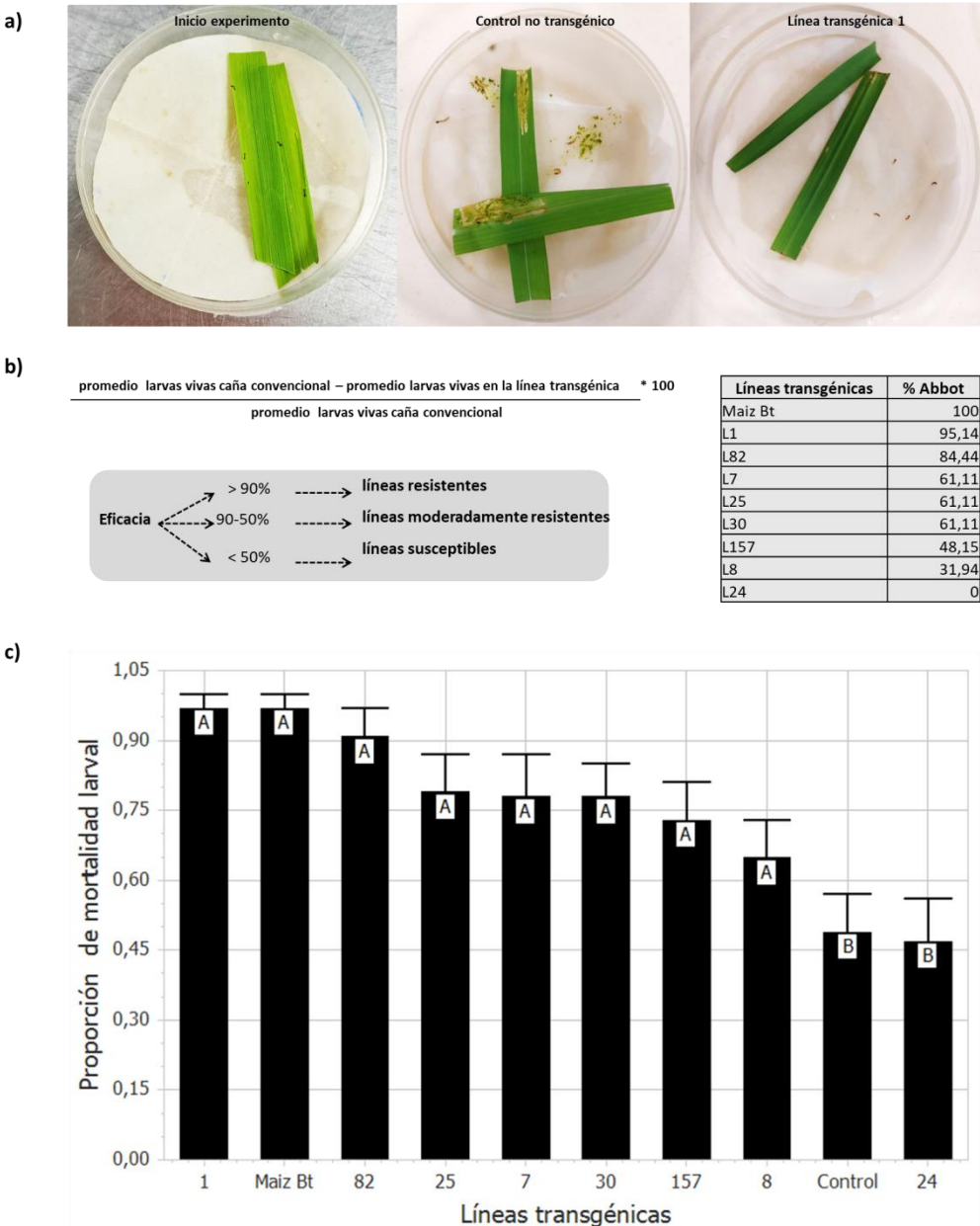


Figura 3. Ensayos fenotípicos en condiciones controladas para evaluar la resistencia de las líneas transgénicas obtenidas frente a *D. saccharalis*. a) Segmentos de hojas de caña de azúcar al inicio del

experimento, y de una planta control no transgénica vs una línea transgénica resistente al cabo de cinco días. b) Fórmula para el cálculo del porcentaje de eficacia de Abbot, criterio de clasificación y porcentaje de cada línea transgénica evaluada. c) Proporción de mortalidad larval evaluadas en cada una de las líneas transgénicas de la variedad TUC 03-12.

Conclusiones

Se logró la inserción de genes Bt en más de 200 plantas de caña de azúcar de la variedad TUC 03-12, con una eficiencia de transformación del 16,94%. Un total de 77 líneas transgénicas de caña de azúcar expresaron la proteína Cry. Hasta el momento, sólo se evaluaron en ensayos fenotipos en condiciones controladas un total de ocho líneas transgénicas que expresaron la proteína, de las cuales siete líneas mostraron diferencias significativas comparadas al control parental no transgénico. La línea 1 presentó un comportamiento similar al maíz Bt comercial, demostrando además que la expresión de la proteína Cry utilizada es eficiente para controlar el daño provocado por poblaciones locales de *D. saccharalis*. Se continuarán los estudios moleculares y fenotípicos de las líneas transgénicas restantes a fin de detectar eventos con genes *cry* y *vip* apilados que permitan prolongar la vida útil de esta tecnología para contribuir al incremento de la productividad y sostenibilidad económica, ambiental y social del cultivo de la caña de azúcar.

Agradecimientos

A nuestro personal de apoyo María Josefa Luna por su dedicación y constante apoyo en las tareas de laboratorio. A la Dra. Andrea Peña Malavera por el análisis estadístico realizado.

Financiamiento

Este proyecto contó con el apoyo financiero de la EEAOC, y los proyectos PIP 2021-2023 GI (11220200101941CO01 del CONICET) y PICT 2020 (00091 del MINCyT).

Bibliografía

- Abbott W.S. (1925) A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.* 18(2), 265-267.
- 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.
- 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, Enrique RA, Perera MF, *et al.* 2021. Genetic transformation of sugarcane, current status and future prospects. *Frontiers in Plant Science* 2467.
- 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.
- 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
- 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.
- Navure Team (2023). Navure (1.2.0): A data-science-statistic oriented application for making evidence-based decisions. URL <http://www.navure.com>

- 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 N°40 Proyecto Vitroplantas: producción de caña semilla de alta calidad Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC), Las Talitas.
- Pérez, M. L. D. P., Easdale, C., Iovane, R. J., Scandaliaris, P., Isa, R. B., Rodríguez, D., ... & Goebel, F. R. (2023). Sugar Tech, 25(3), 610-618.

IMPACTO DE UN MANEJO ALTERNATIVO DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR EN LAS EMERGENCIAS DE *TITHONIA TUBIFORMIS*

Cabrera, D.C.; Rodríguez, S.I.; Ginel, I.; Digonzelli, P.A

Facultad de Agronomía, Zootecnia, y Veterinaria, UNT, Florentino Ameghino s/n.
debora.cabrera@faz.unt.edu.ar

Palabras clave: Cultivo de servicio; Maleza, Pasto cubano; Vicia.

Introducción

La elaboración de azúcar y sus derivados a partir del cultivo de caña de azúcar se concentra en Tucumán, Salta y Jujuy. Tucumán participa con el 60-65% de la producción nacional de azúcar, con una superficie neta cosechable de 278.410 ha (Fandos *et al.*, 2023).

Las malezas constituyen uno de los principales componentes del agroecosistema cañero que interfieren en la productividad del cultivo, por ello se invierten muchos recursos, especialmente agroquímicos, para su control (Kleffmann, 2012).

Actualmente, se busca desarrollar paquetes tecnológicos que favorezcan la sustentabilidad del sistema productivo de la caña de azúcar. Por ello, desde 2004, en Tucumán está prohibida la quema del cañaveral. La cosecha en verde del cañaveral deja sobre el suelo 7 a 18 t de RAC/ha (Digonzelli *et al.*, 2016). El RAC, como cobertura sobre el suelo aporta materia orgánica, permite el reciclado de nutrientes, mejora el balance hídrico del suelo, reduce la erosión, favorece la microflora y microfauna benéfica del suelo y ayuda al control de malezas, entre los efectos más importantes (Digonzelli *et al.*, 2011; Cabrera *et al.*, 2013). El control químico es el método más utilizado por los productores cañeros para limitar la competencia de malezas. Sin embargo, con miras a un sistema productivo más sustentable es conveniente combinar herramientas de manejo, sumando prácticas mecánicas y culturales. Dentro de estas últimas, el mantenimiento del RAC como cobertura sobre el suelo constituye una alternativa interesante. La cobertura de RAC afecta la germinación y crecimiento de las malezas. Estos efectos no son generalizados para todas las especies de malezas, ni el comportamiento es igual en todas las zonas (Cabrera *et al.*, 2015 y Chauhan, 2012). Por otra parte, hay experiencias donde, además de la cobertura con RAC, se siembran cultivos de invierno en las costillas del surco de caña de azúcar, estos se conocen como cultivos de servicio. Su finalidad es aportar MO, mejorar la estructura del suelo, reducir compactación, minimizar la lixiviación de nitratos, incrementar el contenido de carbono y nitrógeno del suelo, evitar la erosión y constituirse en un impedimento para las malezas (Rufo y Parsons, 2004).

Estudios realizados en Tucumán contabilizan unas 35 especies de malezas en los cañaverales (Cabrera *et al.*, 2020). *Tithonia tubiformis* (Jacq.) Cass es la maleza emergente que genera mayor preocupación (Sánchez Ducca *et al.*, 2020). Esta maleza anual, debido a su plasticidad y capacidad reproductiva se ha dispersado enormemente (Juárez y Cazon, 2003). *T. tubiformis*, en infestación alta, registra pérdidas de producción del 36% (Chaila, 2002). Por ello el objetivo de este trabajo fue estudiar, el efecto de diferentes cantidades de RAC, de vicia y de vicia

y RAC asociados en la emergencia de semillas de *Tithonia tubiformis* enterradas a diferentes profundidades.

Materiales y métodos

Se emplearon semillas maduras, cosechadas manualmente en junio de 2023, en Santa rosa, depto. Leales, Tucumán, Argentina (27°07'55.1"S 65°15'07.5"W). Las semillas se limpiaron y fueron almacenadas a temperatura ambiente ($18 \pm 2^\circ\text{C}$) y humedad relativa baja (15%), hasta el momento de su empleo. El experimento inició en noviembre en invernáculo. El diseño experimental fue factorial con 4 repeticiones, donde los factores fueron Profundidad de entierro equivalente a 0, 6 y 7,5 cm; Residuo agrícola de cosecha (RAC) equivalente a 0, 8 y 18 t/ha (RAC); y biomasa seca de vicia equivalente a 0 y 4 t/ha. De la combinación de los factores mencionados se evaluaron 18 tratamientos.

La unidad experimental fueron bandejas plásticas de 30 cm ancho por 40 cm ancho por 9 cm de alto con fondo perforado, que contenían una mezcla de arena (25%) y mantillo (75%), previamente tamizada y esterilizada en estufa. Por cada Bandeja se sembraron 50 semillas. El ensayo se regó periódicamente. Durante 160 días se registró emergencia de plántulas de forma diaria, separándose las plántulas emergidas en cada conteo. A los 16, 32, 48, 72, 111 y 150 días desde inicio de ensayo (DDI) se calculó emergencia en porcentaje y para los 16, 32 y 48 DDI, Índice de Velocidad de Germinación/emergencia (IVE). El IVE 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): $\text{IVE} = (G1/N1) + (G2/N2) + \dots + (Gn/Nn)$

Dónde: IVE: 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.

Al finalizar el ensayo se extrajo biomasa de cada bandeja, se dispuso en bolsas de papel debidamente etiquetadas y se llevaron a estufa hasta obtener peso constante. Con estos pesos se estimó indirectamente degradación de la biomasa a través de la disminución en peso y en porcentaje. Los resultados de porcentaje de emergencia e IVE se analizaron estadísticamente mediante el análisis de la varianza. Se analizaron las interacciones de los factores y las diferencias entre las medias de los tratamientos a través del test DGC (Di Rienzo, Guzman y Casanoves), $P = 0.05$. Para la biomasa pesada al final de ensayo se presentaron valores medios, mínimos y máximos y error estándar. Se utilizó el paquete estadístico Infostat.

Resultados

Para porcentaje de emergencia, a los 16, 32, 48, 72, 111 y 150 días y para IVE a los 16, 32 y 48 DDI, la interacción Cobertura de RAC-Cobertura de Vicia-Profundidad de Entierro no fue significativa ($p > 0,05$). Por lo tanto se analizaron las otras interacciones.

Para porcentaje de emergencia, en todas las instancias evaluadas la interacción Profundidad de Entierro-Cobertura de RAC fue significativa ($p < 0,05$). A los 16, 32, 48, 72,

111 y 150 DDI, la interacción que generó menor porcentaje de emergencia y fue significativamente diferente al resto para casi todas las instancias evaluadas fue 7,5 cm de profundidad-18 t de RAC. Las interacciones 0 cm de profundidad-18 t de RAC; 6 cm de profundidad con 8 y 18 t de RAC; y 7,5 cm de profundidad con 0 y 8 t de RAC registraron niveles de emergencia superiores a la anterior, quedando en una situación intermedia. Por último las interacciones 0 cm de profundidad con 0 y 8 t de RAC y 6 cm de profundidad con 0 t de RAC registraron porcentajes de emergencia significativamente mayores que las demás (Figura 1 A). En cuanto al IVE también la interacción fue significativa para todas las instancias evaluadas ($P < 0,05$). Al igual que para porcentaje de germinación, el IVE más bajo fue para 7,5 cm de profundidad-18 t de RAC y también para las interacciones 0 y 6 cm de profundidad con 18 t de RAC y 7,5 cm de profundidad-8 t de RAC. Con diferencias significativas para algunas instancias y valores intermedios de IVE se ubicaron 0 cm de profundidad-8 t de RAC y 6 cm de profundidad-8 t de RAC. Por último, las interacciones 0 y 6 cm de profundidad con 0 t de RAC registraron valores de IVE estadísticamente superiores al resto (Figura 1 B).

La interacción Cobertura de Vicia-Profundidad de Entierro solo fue significativa a los 16 y 48 DDI ($P < 0,05$). Porcentajes de emergencia inferiores al 10% solo se registraron en 7,5 cm de profundidad con 0 y 4 t de vicia. En una situación intermedia se ubicaron 0 y 6 cm de profundidad con 4 t de Vicia. Porcentajes de emergencia estadísticamente superiores se registraron en las interacciones de 0 y 6 cm de profundidad con 0 t de vicia. En cuanto al IVE, las interacciones fueron significativas para las 3 instancias evaluadas (Figura 2 A). Al igual que para porcentaje de emergencia los IVE significativamente más bajos fueron para 7,5 cm de profundidad con 0 y 4 t de vicia. Valores de IVE significativamente superiores para todas las evaluaciones se registraron a 0 cm de profundidad-0 t de vicia, con diferencias leves le siguieron 6 cm de profundidad-0 t de vicia y 0 cm de profundidad-4 t de vicia (Figura 2 B).

Por último, analizando la interacción Cobertura de RAC-Cobertura de Vicia, el porcentaje de emergencia fue significativa a los 16, 32, 48 y 150 DDI del ensayo ($P < 0,05$). 18 t de RAC con 0 y 4 t de vicia registraron los menores porcentajes de emergencia con valores que no superaron el 11%. En tercer lugar la interacción con mayor supresión fue 8 t de RAC-4 t de Vicia. Mientras que, los mayores porcentajes de germinación fueron para 0 t de RAC-0 t de Vicia con un porcentaje final de emergencia del 66%. 0 t de RAC-4 t de Vicia le siguió al anterior con diferencias significativas solo para los 16 y 48 DDI. 8 t de RAC-0 t de Vicia solo registró diferencias significativas con los anteriores a los 32 y 48 DDI (Figura 3 A). Con respecto al IVE, la interacción Cobertura de RAC-Cobertura de Vicia fue significativa para las 3 instancias evaluadas ($P < 0,05$). 18 t de RAC con 0 y 4 t de Vicia, registraron los IVE significativamente más bajos. En cuanto a los mayores valores de IVE, fueron para 0 t de RAC-0 t de Vicia difiriendo de 0 t de RAC-4 t de Vicia solo a los 16 y 48 DDI. Por último nuevamente 8 t de RAC-0 t de vicia se ubicó en una situación intermedia entre los tratamientos recientemente mencionados y los de menor emergencia (Figura 3 B).

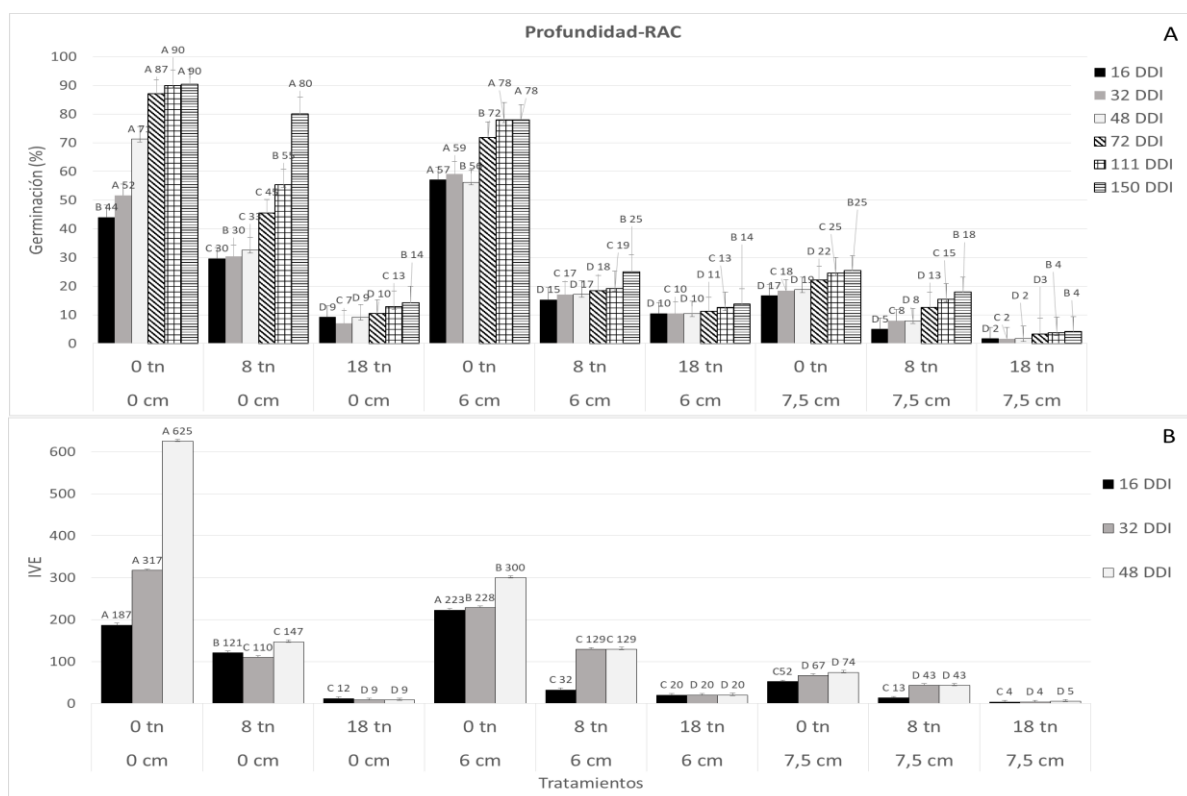


Figura 1: Emergencia en porcentaje (A) a los 16, 32, 48, 72, 111 y 150 días desde inicio del ensayo (DDI) e Índice de Velocidad de emergencia (IVE) (B), a los 16, 32 y 48 días DDI, para semillas de *Tithonia tubiformis* enterradas a 0, 6 y 7,5 cm de profundidad y con 0, 8 y 18 t de RAC. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). Las comparaciones se realizaron para cada instancia de evaluación.

Tabla 1: Materia seca de RAC y Vicia al inicio y al fin del ensayo

Cobertura de RAC (tn/ha)	Cobertura de VICIA (tn/ha)	FIN Tn de materia seca/ha				Disminucion en porcentaje
		Materia seca	E.E.	Mín	Máx	
0	0	-	-	-	-	-
8	0	5,58	0,25	4,39	6,83	30,22
18	0	12,45	0,73	10,27	17,61	30,86
0	4	1,62	0,14	0,98	2,44	59,35
8	4	7,10	0,37	5,37	8,78	40,83
18	4	12,60	0,77	9,29	17,6	42,72

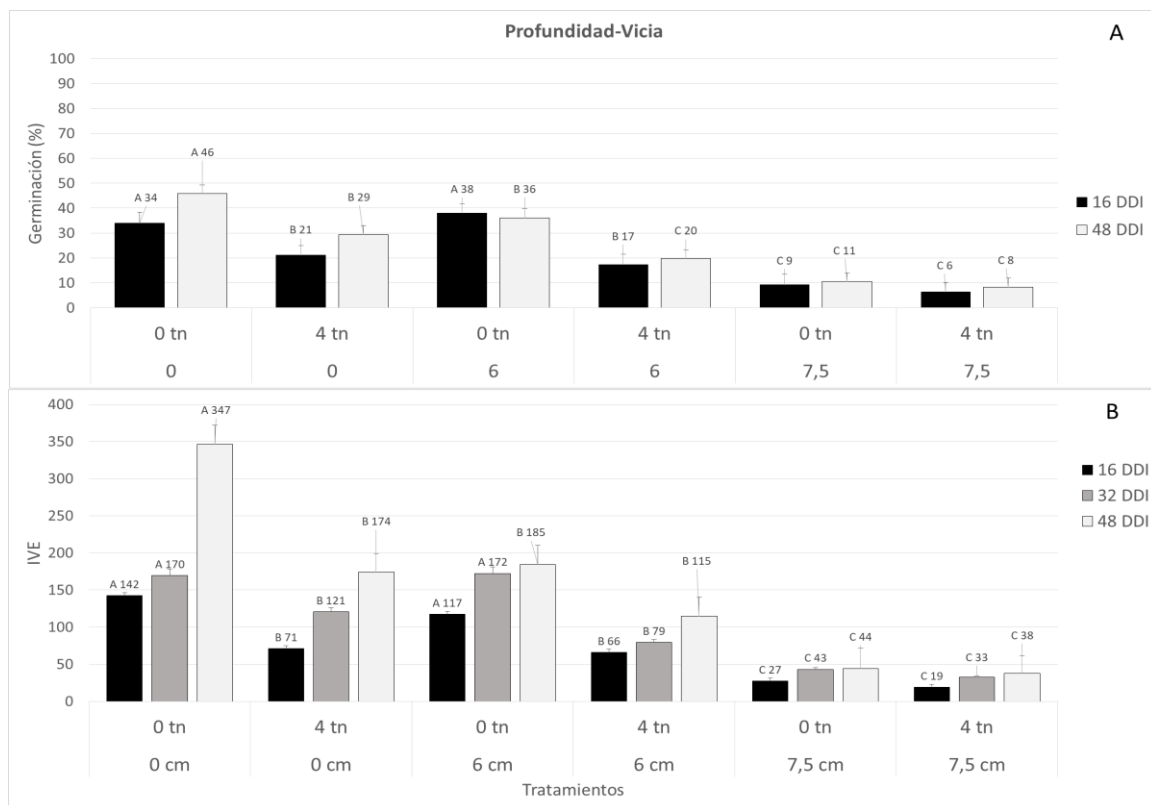


Figura 2: Emergencia en porcentaje (A) a los 16 y 48 días desde inicio del ensayo (DDI) e Índice de Velocidad de emergencia (IVE) (B), a los 16, 32 y 48 días DDI, para semillas de *Tithonia tubiformis* enterradas a 0, 6 y 7,5 cm de profundidad con y sin biomasa seca de Vicia. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). Las comparaciones se realizaron para cada instancia de evaluación.

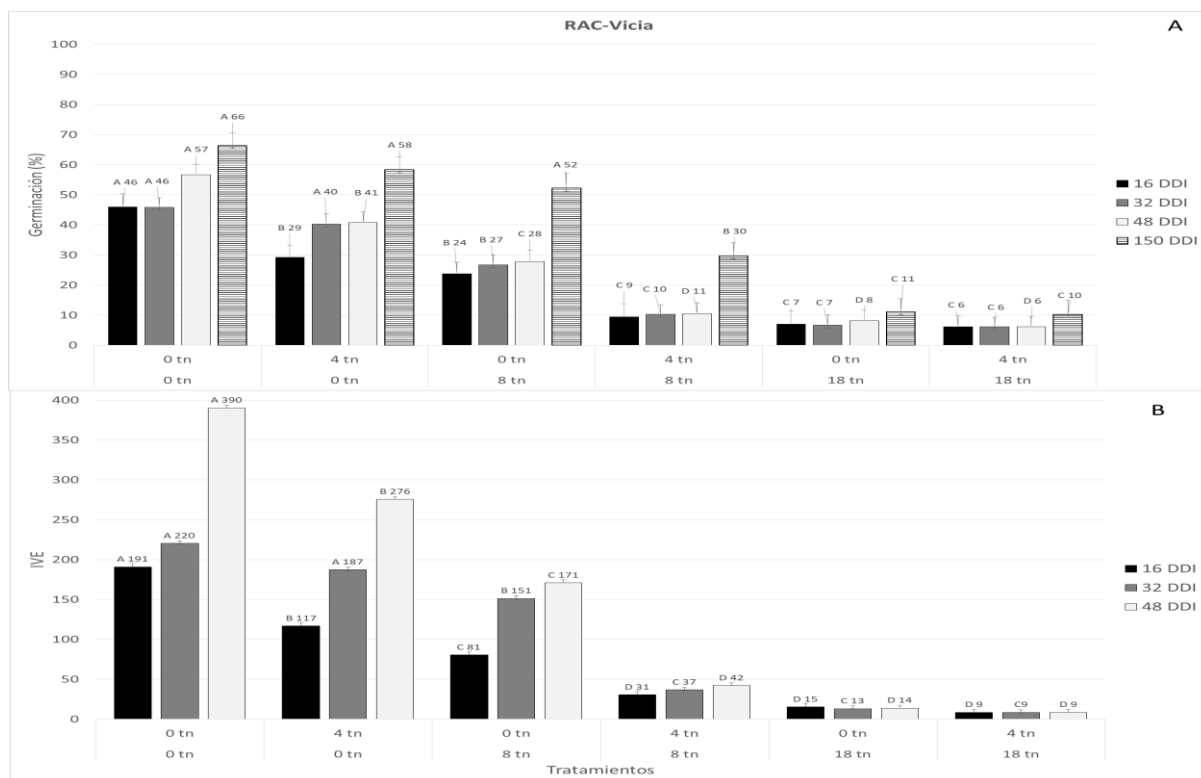


Figura 3: Emergencia en porcentaje (A) a los 16, 32, 48 y 150 días desde inicio del ensayo (DDI) e Índice de Velocidad de emergencia (IVE) (B), a los 16, 32 y 48 días DDI, para semillas de *Tithonia tubiformis* y con 0, 8 y 18 t de RAC y con y sin biomasa seca de Vicia. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). Las comparaciones se realizaron para cada instancia de evaluación.

En un periodo de 150 días la disminución de la materia seca de vicia fue del 59,35%, mientras que la del RAC estuvo entre 30,22% y 30,86%. En la combinación de ambos la materia seca disminuyó entre un 40,72% a un 40,83%. Estos valores reflejan la descomposición de la cobertura siendo mayor en vicia que en el RAC, tal como era de esperar considerando las características de cada una de estas coberturas vegetales (Tabla 1).

Conclusiones

- ✓ Para semillas sobre la superficie del suelo, y para las enterradas a 6 cm la cobertura juega un rol fundamental en la supresión de la emergencia.
- ✓ Semillas enterradas a 7,5 cm no emergen por la profundidad más que por la cobertura.
- ✓ Con respecto a la cobertura de RAC, con 18 t/ha y 8 t/ha disminuyeron significativamente las emergencias de *T. tubiformis*.
- ✓ La cobertura de Vicia, produce disminuciones significativas de las emergencias de *T. tubiformis* solo hasta los 48 DDI y solo para semillas en superficie o enterradas a 6 cm.
- ✓ La cobertura de RAC es más significativa en la disminución de las emergencias que la Vicia. 18 t/ha de RAC con o sin Vicia tienen el mismo efecto supresor. Sin embargo, 8 t de RAC cuando son combinadas con Vicia tienen mayor efecto supresor que sin ella.
- ✓ Para vicia a los 160 DDI se registran disminuciones de la biomasa en superficie del 60%, indicando una degradación marcada de la misma. Para el RAC esos valores rondan el 30% indicando menor degradación y un papel más importante en el bloqueo de las emergencias tardías de *T. tubiformis*.
- ✓ El efecto supresor de la biomasa de Vicia y el RAC se refleja más en el IVE que en el porcentaje de emergencia.

Apoyo financiero: Proyecto PIUNT AZ 712.

Bibliografía

- Cabrera, D.C., et al., 2013. Efecto de los residuos de caña de azúcar en la emergencia de *Panicum maximum* Jacq. Evento: XXI Congreso de la ALAM/XXXIV Congreso de la ASOMECIMACancún, Quintana Roo, México. 11 al 15 de Noviembre de 2013. Trabajo completo.
- Cabrera DC, et al., 2015. Germinación y emergencia de *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs var. *Maximus*. *Planta Daninha* 33 (4): 663-670. ISSN: 1806-9681.
- Cabrera, DC; et al. (2020). Análisis de la comunidad de malezas en dos edades de corte del cultivo de caña de azúcar. D.C. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino*. Vol. 40 Núm. 1 (2020): Junio
- Chaila, S. 2002. Competencia permanente de *Tithoniatubaeformis* (Jacq.) Cass. en caña de azúcar Cv. FAM 81-77. Asociación de Biología de Tucumán, Ediciones del Rectorado. Universidad Nacional de Tucumán, 64-69.
- Chauhan, B.S. Weed ecology and weed management strategies for dry-seeded rice in Asia. *Weed Technol.*, v. 26, n. 1, p. 1-13, 2012
- Digoncelli, P. A., et al., 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.
- Digoncelli, P.; et al., J. (2011). Assessing a sustainable sugar cane production system in Tucumán, Argentina. Part II: soil water and thermal regime, stalks population dynamics and sugarcane production. *Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán* 88(2): 1-10. ISSN 0370-5404
- Fandos, C., et al., (2023). Área cosechable y producción de caña de azúcar para la zafra 2023 en Tucumán. Reporte Agroindustrial N° 278. Disponible en: <https://www.eeaoc.gob.ar/wp-content/uploads/2023/06/RA-278-Final.pdf>. Consulta: agosto 2023.
- Juárez, V. D.; Cazón, A. V. 2003. Autotoxicidad en *Tithoniatubaeformis* como un posible mecanismo de control a la invasión. *Ecol. Austral*. 13 (2): 133-138.

Kleffmann Group. 2012. Mercado Argentino de Productos Fitosanitarios 2012. Disponible en: <http://www.casafe.org/publicaciones/estadisticas/>. Consulta: Junio 2024.

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

Rufo, M.; A. Parsons. 2004. Cultivos de cobertura en sistemas agrícolas. IMPOFOS informaciones agronómicas del cono sur, nº 21. Pag: 13-15

Sánchez Ducca, A; et al., 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>.

TOLERANCIA DE CALLOS EMBRIOGÉNICOS DE CAÑA DE AZÚCAR (CV. INTA CP 98-828) A AGENTES DE ESTRÉS ABIÓTICO

Canseco, M.A; Di Pauli, V.; Zalazar, N.O.; Felipe, A.; Erazzú, L.E.; Fontana, P.D.
Estación Experimental Agropecuaria Famaillá, INTA, Argentina. *canseco.myrian@inta.gob.ar

Palabras clave: cultivo de tejidos, biotecnología, heladas, sequía, salinidad.

INTRODUCCIÓN

Frente a los retos actuales en la agricultura, los cuales abarcan aspectos ambientales y ecológicos en el cultivo de caña de azúcar, resulta esencial contar con variedades que enfrenten y se adapten proactivamente a las transformaciones en el sistema productivo, además de explorar territorios no convencionales para el cultivo (Di Pauli *et al.*, 2019).

En un escenario de cambio climático, la necesidad de variedades de caña de azúcar mejoradas desde el punto de vista agronómico, con una alta tolerancia a estrés bióticos y abióticos, adquiere una relevancia crucial. Aunque los cultivos tolerantes al estrés biótico y abiótico han sido seleccionados por programas de mejoramiento convencionales, acelerar el ritmo de mejoramiento es esencial para desarrollar variedades mejoradas (Nikam *et al.*, 2015). En este sentido, la mutagénesis inducida y el cultivo *in vitro* se han utilizado ampliamente en muchos cultivos para obtener características deseables (Snyman *et al.*, 2011; Suprasanna *et al.*, 2012). Además, durante la etapa *in vitro* los cultivos pueden someterse a una presión de selección, simulando diferentes tipos de estrés, lo cual permite acelerar el proceso de mejora.

Entre los factores abióticos que pueden afectar la productividad de la caña de azúcar se encuentran las bajas temperaturas, la salinidad de los suelos y la falta de disponibilidad de agua durante el desarrollo del cultivo. La sequía impone estrés osmótico que afecta el crecimiento, la productividad y los metabolitos secundarios en las plantas (Ramakrishna y Ravishankar, 2011). El estrés salino interrumpe la homeostasis en el potencial hídrico y la distribución de iones tanto a nivel celular como la distribución de toda la planta (Munns *et al.*, 2002; Zhu, 2001). La tolerancia al frío depende en gran medida del cultivar y se observan lesiones tan graves como el agrietamiento del tallo después de varias horas de temperaturas bajo cero, seguidas del deterioro del jugo (Hale *et al.*; 2022).

El objetivo de este trabajo fue desarrollar y optimizar sistemas de selección *in vitro* para estreses abióticos aplicados sobre callos embriogénicos del genotipo INTA CP 98-828 del Programa de Mejoramiento Genético de Caña de Azúcar (PMGCA) de INTA.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los callos embriogénicos del cultivar INTA CP 98-828 se sometieron a los agentes de selección: NaCl: 50, 100, 150 y 250 mM durante ocho semanas (estrés salino) y Manitol: 100, 150, 200, 350 mM durante 12 semanas (estrés hídrico). Para el estrés térmico (tolerancia a bajas temperaturas) se realizaron diferentes tratamientos de incubación a 4 °C y -20 °C con un periodo de recuperación de ocho semanas: T1, T2, T3, T4) los callos se incubaron a 4 °C y luego a -20 °C por 30 min; 1 h; 4 h y 16 h, respectivamente; T5) dos incubaciones a -20 °C por 30 min; T6) -20 °C por 48 h; T7) -20 °C por una semana; T8) ciclos de congelamiento y descongelamiento a -20 °C por 24 h con incubaciones de 1 h a 28 °C por tres días consecutivos. Para cada estrés se incluyó un tratamiento control sin agente selectivo.

Se utilizaron cinco unidades experimentales en cada tratamiento. La unidad experimental estuvo representada por la caja de Petri con 14 explantes. Se registró el peso fresco de los callos (PF) al inicio y final del tratamiento. Se calcularon las siguientes variables:

- Tasa de crecimiento relativo de los callos (RGR) = $[(PF \text{ final} - PF \text{ inicial}) / PF \text{ inicial}] \times 100$

- Índice de tolerancia de los callos (INTOL) = $RGR \text{ tratamiento} / RGR \text{ control}$.

Para los casos de estrés salino y estrés hídrico, se calculó las dosis letales DL50 y DL90, definidas como las dosis de una sustancia que resultan en la reducción del 50 % y el 90 % de los individuos expuestos respecto al control no tratado, para determinar las concentraciones óptimas para la selección *in vitro*, mediante regresión lineal, utilizando la fórmula:

$$y = \beta \pm \alpha x.$$

donde x es la concentración de agente de selección e y la tasa de crecimiento relativo de callos (RGR).

RESULTADOS

Tasa de crecimiento relativo de los callos (RGR)

En el caso de manitol, en ausencia del agente (control), los callos embriogénicos exhibieron la RGR más alta, aumentando cuatro veces su peso inicial. A partir de las concentraciones más bajas de manitol evaluadas (100 mM), hubo un efecto significativo del agente de selección, reduciendo la tasa de crecimiento de los callos a la mitad, $RGR = 221,90 \%$, y hasta una $RGR = 70,42 \%$ a la mayor concentración utilizada (350 mM) (Figura 1).

Para el agente de selección NaCl, no se observaron diferencias significativas entre el control y las concentraciones más bajas evaluadas (50 y 100 mM). Bajo estas condiciones, los callos no se vieron afectados en su crecimiento normal. A

medida que se incrementaron las concentraciones de NaCl a 150 mM, la RGR disminuyó considerablemente a 69,22 %. Finalmente, en concentraciones de NaCl a 250 mM, los callos experimentaron el efecto más pronunciado del agente de selección, con un crecimiento de sólo el 24,21 % respecto a su peso inicial (Figura 2).

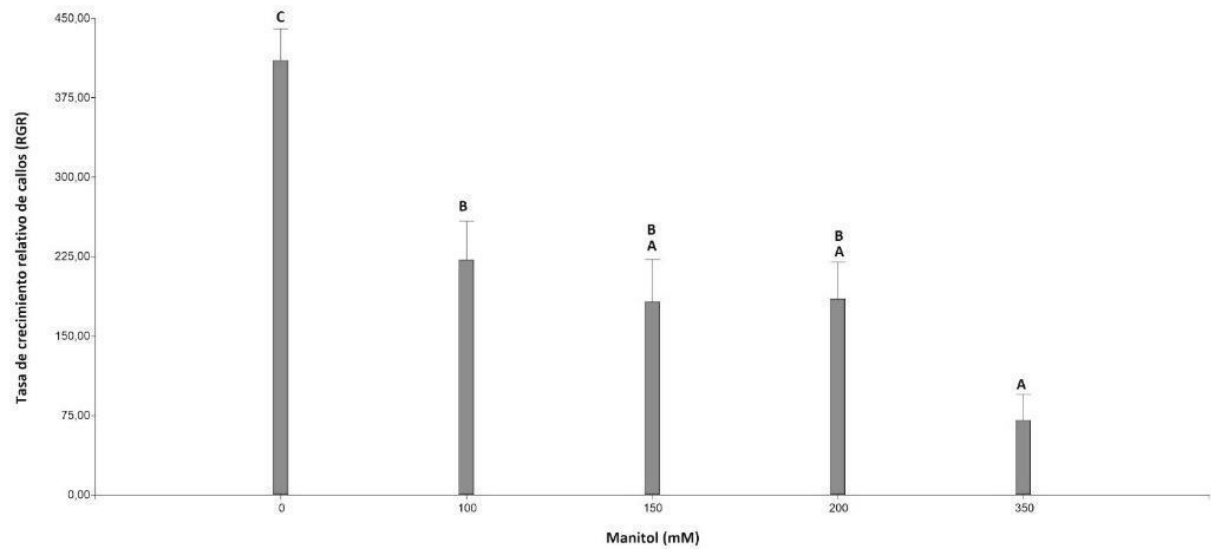


Figura 1: Tasa de crecimiento relativa de los callos (RGR) del genotipo INTA CP 98-828 a distintas concentraciones de manitol, para inducir estrés hídrico. Test LSD de Fisher. Diferentes letras indican diferencias significativas entre los tratamientos ($\alpha = 0,05$). Se muestran medias y error estándar.

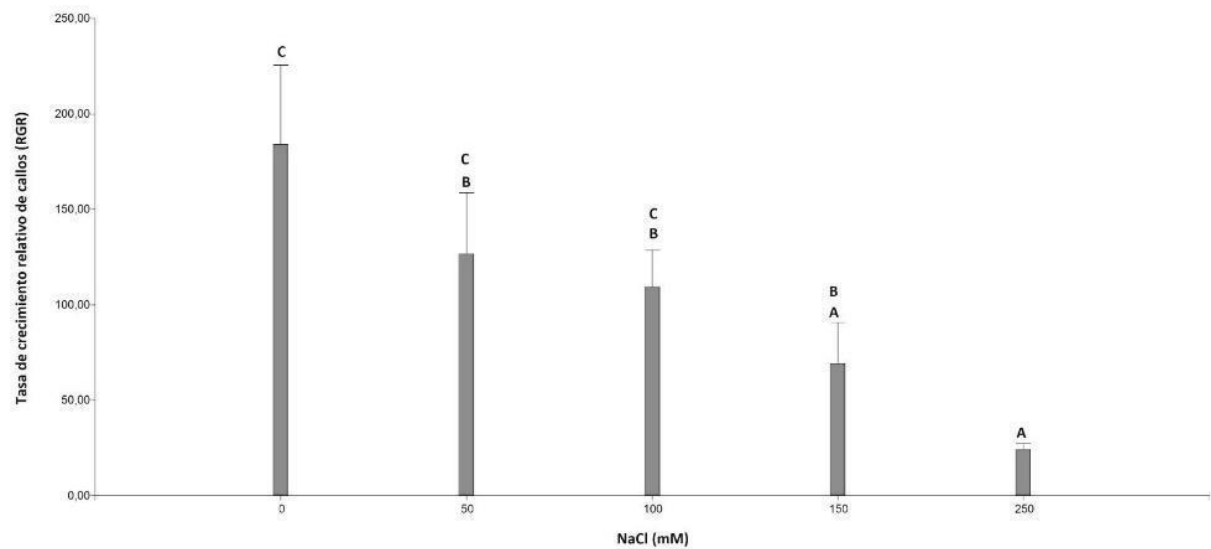


Figura 2: Tasa de crecimiento relativa de los callos (RGR) del genotipo INTA CP 98-828 a distintas concentraciones de NaCl, para inducir estrés salino. Test LSD de Fisher. Diferentes letras indican diferencias significativas entre los tratamientos ($\alpha = 0,05$). Se muestran medias y error estándar.

Índice de tolerancia de los callos (INTOL)

En los cuadros 1 y 2 se muestran los valores del INTOL, calculado a partir de los valores de RGR obtenidos para los agentes manitol y NaCl, respectivamente. Esta métrica de tolerancia permite obtener una medida cuantitativa de la respuesta de los cultivares a los agentes de selección, lo que facilita la comparación entre distintas condiciones experimentales y genotipos. Los valores de este índice serán útiles para comparar la tolerancia con otros cultivares o bajo diferentes dosis de mutágeno, ya que elimina las diferencias inherentes al RGR del genotipo o la dosis. Como se esperaba debido a que se trata del mismo genotipo, INTOL presentó el mismo comportamiento que RGR cuando se compararon las medias.

TRATAMIENTO CON MANITOL	MEDIAS INTOL
350 mM	0,17 A
200 mM	0,44 AB
150 mM	0,45 AB
100 mM	0,54 B
0 mM	1,00 C

Cuadro 1: Medias y errores estándar de RGR de los callos embriogénicos del genotipo INTA CP 98-828 para distintos tratamientos de manitol. Resultados del Test LSD de Fisher.

TRATAMIENTO CON NaCl	MEDIAS INTOL
250 mM	0,13 A
150 mM	0,38 AB
100 mM	0,59 BC
50 mM	0,69 BC
0 mM	1,00 C

Cuadro 2: Medias y errores estándar de RGR de los callos embriogénicos del genotipo INTA CP 98-828 para distintos tratamientos de NaCl. Resultados del Test LSD de Fisher

En cuanto a los tratamientos a baja temperatura, los resultados de INTOL se muestran en la Figura 3. El tratamiento T8, que involucró ciclos de congelamiento y descongelamiento, mostró la mayor agresividad sobre los callos al reducir el INTOL a valores negativos, lo que equivale a una reducción del 74 % en comparación con el control. Siguiéndole los tratamientos T6 y T7 que se llevaron a cabo durante 2 y 7 días a temperatura de congelamiento (-20 °C) y luego los tratamientos T3 y T4 que fueron expuestos durante 4 y 16 h a 4 °C. Los tratamientos T1, T2 y T5, de menor tiempo de exposición, no se diferenciaron

estadísticamente del control. Claramente, el tiempo de exposición fue un factor que incrementó la agresividad del tratamiento de temperatura.

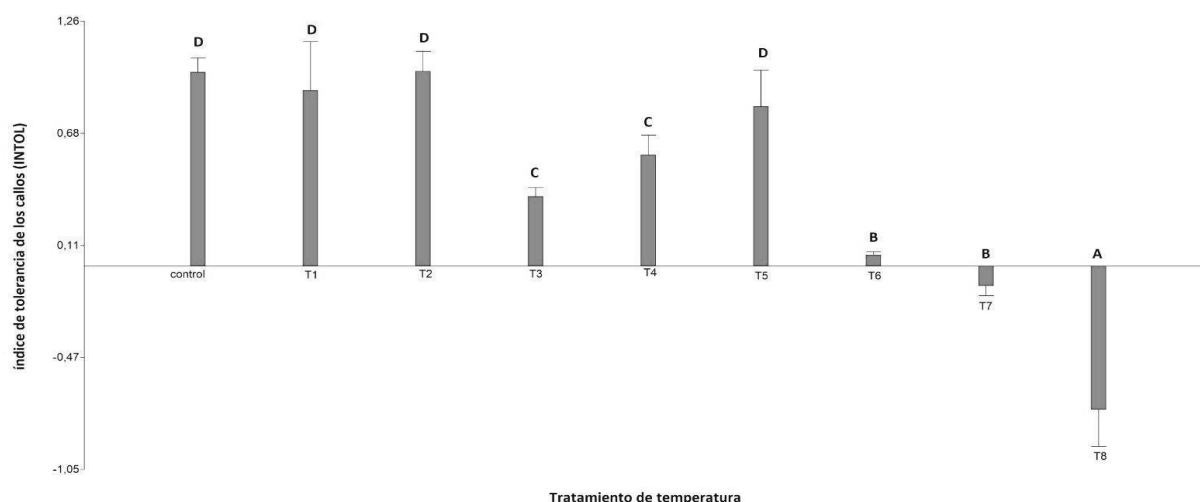


Figura 3: Respuesta del Índice de tolerancia de los callos del genotipo INTA CP 98-828 a distintos tratamientos de temperatura. Test LSD de Fisher. Diferentes letras indican diferencias significativas entre los tratamientos ($\alpha = 0,05$). Se muestran medias y error estándar.

Determinación de la dosis letal (DL50 y DL90)

Las dosis letales para las concentraciones de manitol y NaCl, que inhibieron la supervivencia de los callos en un 50 % (DL50) y en un 90 % (DL90), resultaron ser de 165,72 mM y 338,39 mM para el manitol, y 126,56 mM y 245,27 mM para el NaCl, respectivamente.

Las DL50 de 165,72 mM y 126,56 mM indica que la mitad de los callos expuestos a esta concentración no sobrevivieron, mientras las DL90 de 338,39 Mm y 245,27 mM indica que el 90 % de los callos expuestos a estas altas concentraciones no lograron sobrevivir.

Durante la selección *in vitro*, es de suma importancia establecer una concentración óptima del agente de selección, los valores obtenidos de DL son fundamentales para aplicar la presión de selección deseada sobre los callos.

CONCLUSIÓN

Este trabajo proporciona información valiosa para aplicar una presión de selección adecuada en condiciones *in vitro* en ensayos de mutagénesis y así mejorar la tolerancia al estrés abiótico en el cultivar INTA CP 98-828 de caña de azúcar. A partir de las fórmulas de regresión encontradas, pueden calcularse otras dosis letales para la presión de selección deseada por el mejorador. Asimismo, los

valores de INTOL obtenidos resultarán útiles para comparar la tolerancia entre cultivares y/o dosis del mutágeno en estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Di Pauli, V., Fontana, P. D., Lewi, D. M., Arturo, F., & Erazzú, L. E. (2019). Somatic embryogenesis response in Argentinian sugarcane genotypes for *in vitro* mutagenesis application. *Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists*, 30, 522–529.
- Hale, A. L., Tood, J., Pan, Y.-B., Tew, T. L., Veremis, J. C., White, W., Dufrene, E. O., Grisham, M. P., Gravois, K. A., Jackson, W., Dalley, C. D., Spaunhorst, D., Duet, M., Landry, C., & Verdun, D. (2022). Registration of Ho 07-613 sugarcane. *Journal of Plant Registrations*, 16, 351–362.
- Munns, R., Husain, S., Rivelli, A. R., James, R. A., Condon, A. G., Lindsay, M. P., Lagudah, E. S., Schachtman, D. P., & Hare, R. A. (2002). Avenues for increasing salt tolerance of crops, and the role of physiologically based selection traits. *Plant and Soil*, 247(1), 93–105. <https://doi.org/10.1023/A:1021119414799>
- Nikam, A. A., Devarumath, R. M., Ahuja, A., Babu, H., Shitole, M. G., & Suprasanna, P. (2015). Radiation-induced *in vitro* mutagenesis system for salt tolerance and other agronomic characters in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *Crop Journal*, 3(1), 46–56. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2014.09.002>
- Ramakrishna, A., & Ravishankar, G. A. (2011). Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant Signaling and Behavior*, 6(11), 1720–1731. <https://doi.org/10.4161/psb.6.11.17613>
- Snyman, S. J., Meyer, G. M., Koch, A. C., Banasiak, M., & Watt, M. P. (2011). Applications of *in vitro* culture systems for commercial sugarcane production and improvement. *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*, 47(2), 234–249. <https://doi.org/10.1007/s11627-011-9354-7>
- Suprasanna, P., Jain, S. M., Ochatt, S. J., Kulkarni, V. M., & Predieri, S. (2012). Applications of *in vitro* Techniques in Mutation Breeding of Vegetatively Propagated Crops. In Q. Shu, B. Forster, & H. Nakagawa (Eds.), *Plant Mutation Breeding and Biotechnology* (pp. 371–385). Plant Breeding and Genetics Section, Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture, International Atomic Energy Agency. <https://doi.org/10.1079/9781780640853.0000>
- Zhu, J. K. (2001). Plant salt tolerance. *Trends in Plant Science*, 6(2), 66–71. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(00\)01838-0](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(00)01838-0).

FRECUENCIA Y DIMENSIÓN TERRITORIAL DE LA QUEMA DE CAÑAVERALES EN LA PROVINCIA DE TUCUMÁN, ARGENTINA, DURANTE EL PERIODO 2014 A 2023

Carreras Baldrés J I; Fandos C; Soria F J; Scandaliaris P.; Fernández de Ulivarri, J.

Estación Experimental Agroindustrial "Obispo Colombres"

Avenida William Cross 3150, C.C. N° 9 (T4101XAC), Las Talitas, provincia de Tucumán, Argentina

E-mail: jcarrears83@eeaoc.org.ar

Palabras clave: TIG, cicatrices de quema, dinámica espacial

Introducción

A lo largo de la historia, en los países productores de caña de azúcar, se utilizó la quema como herramienta asociada a la cosecha en los cañaverales. Sin embargo, en los últimos años, la concientización sobre el impacto de la misma en el ámbito socio-ambiental, ha generado importantes críticas, lo que ha marcado un nuevo escenario en donde la tendencia hacia la erradicación de ésta práctica ha aumentado exponencialmente a nivel mundial. En nuestro país, debemos sumar a este contexto general, la incorporación de la Ley N° 6253, que declara que la práctica de la quema de la caña de azúcar está prohibida.

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.

En este contexto, proveer de información para factibles escenarios de planificación presente y futura se torna una tarea indispensable. 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. La Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) realiza anualmente su monitoreo en la provincia de Tucumán mediante estas metodologías.

El objetivo del trabajo fue analizar la frecuencia y la dinámica de quemas de cañaverales en la provincia de Tucumán, en el periodo comprendido entre las zafas 2014 y 2023.

Materiales y Métodos

El área de estudio es la provincia de Tucumán, Argentina. Se encuentra localizada entre los paralelos 26° y 28° de latitud Sur y los meridianos 64° 30' y 66° 30' de longitud Oeste. El área específica de análisis abarca las regiones agrológicas de pedemonte y llanura, en las cuales se desarrolla el cultivo de caña de azúcar (Figura 1).

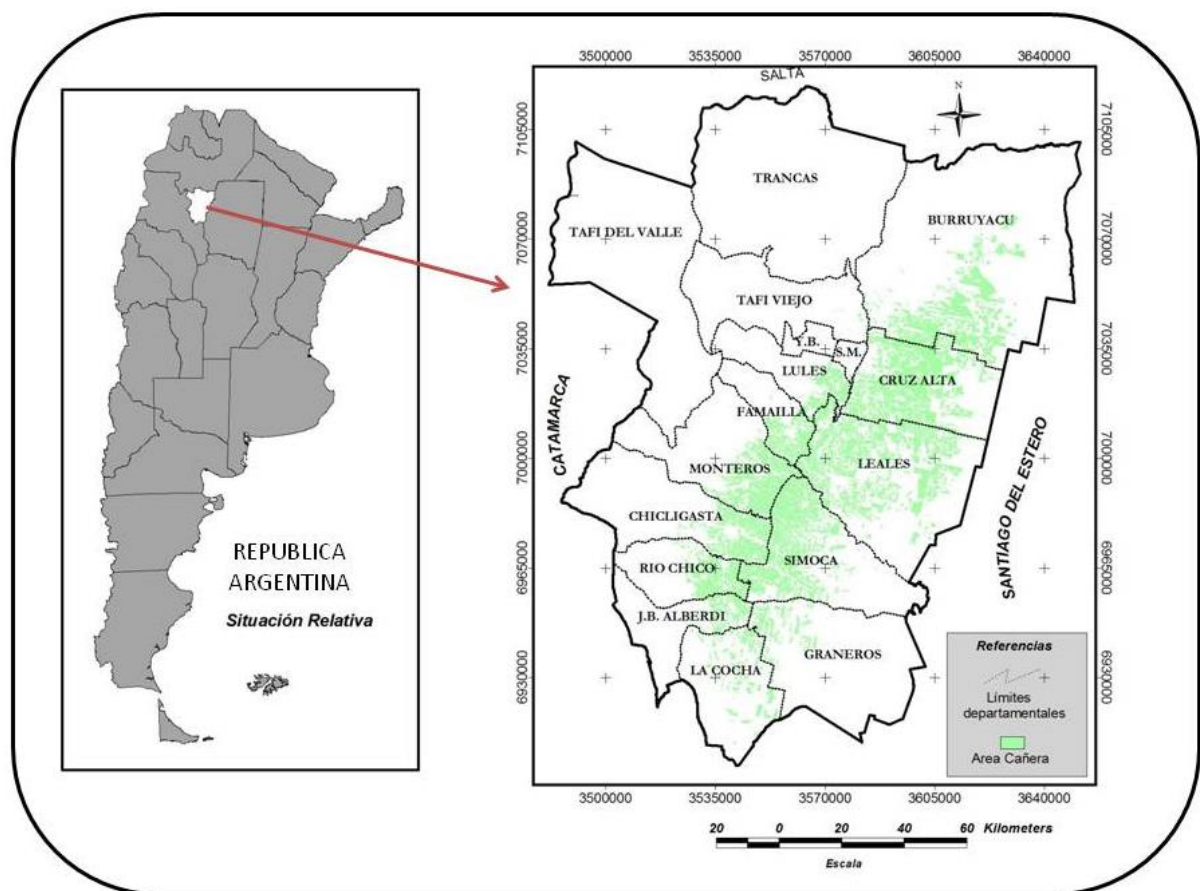


Figura 1. Área de estudio.

El trabajo se realizó mediante un análisis multitemporal de imágenes categorizadas, en conjunto con análisis visual y empleando técnicas de SIG. Se superpusieron las coberturas de quema de cañaverales para los años 2014, 2015, 2016, 2018, 2020, 2021, 2022 Y 2023, mencionadas en Carreras Baldrés *et al.*, 2022 y Carreras Baldrés *et al.*, 2023, generando como resultado la capa resumen de quema de caña.

Se utilizaron los softwares ERDAS Imagine, versión 8.4. y QGIS versión 3.28.12.

Resultados

La Figura 2, expone la distribución geográfica de la frecuencia de quema de caña considerando el periodo 2014-2023 y las rutas, municipios y comunas. Se constata mayor frecuencia de quema en los alrededores de centros poblados y rutas, especialmente en los departamentos Leales, Simoca, Cruz Alta y Río Chico.

En el caso del departamento Cruz Alta, la mayor frecuencia de quemas se dio en los alrededores de las localidades de la Banda del Río Salí y Alderetes, con otros enclaves de importancia en las proximidades de Ranchillos entre la ruta provincial 302 y la ruta nacional 9.

En cuanto al departamento Leales la concentración de las frecuencias de quemas se concentraron en cercanías de la localidad de Bella vista entre la ruta provincial 306 y la ruta nacional 157. Esta área manifiesta una continuidad hacia el sur por la ruta nacional 157, llegando hasta la localidad cabecera del departamento Simoca.

Por su parte la zona correspondiente a los sectores próximos a la localidad de Santa Ana en el departamento Río Chico, manifiesta una importante concentración de quemas y frecuencia de quemas durante el periodo analizado.

En cuanto a las hectáreas que conforman a cada rango de análisis, se obtuvo que los lotes con 0 a 1 año de quema durante el período estudiado sumaron un 69% de la superficie, mientras que los lotes con 2 y 3 años de quema concentraron el 25%. Por último los lotes con 4 a 8 años de quema representaron un 6% de la superficie quemada.

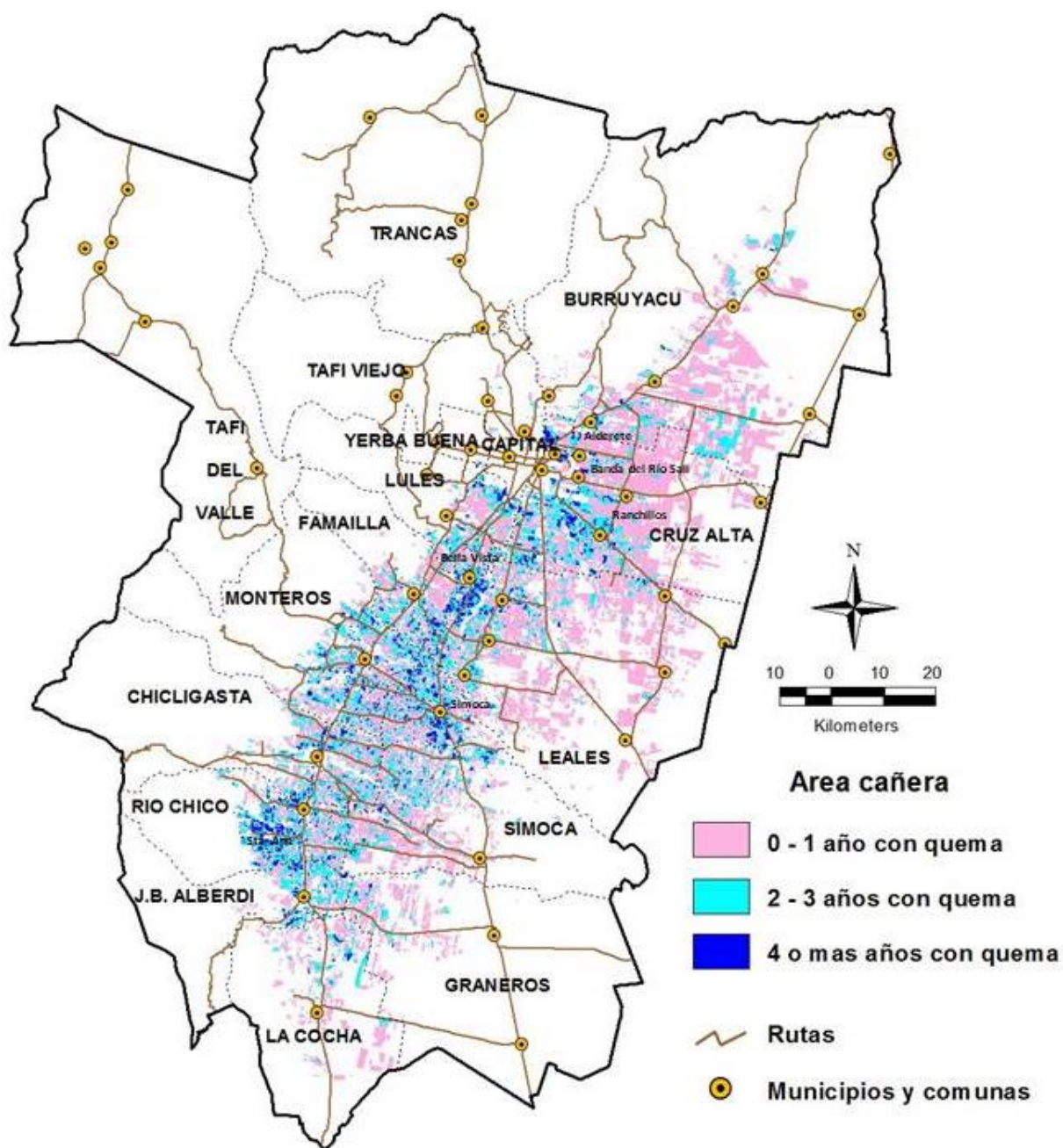


Figura 2. Frecuencia de quema de cañaverales.
Periodo considerado 2014-2023. Tucumán. Argentina.

Conclusiones

Las áreas con mayor frecuencia de quemas durante el periodo 2014 a 2023 se manifestaron en los departamentos de Leales, Simoca, Cruz Alta y Río Chico.

Esta dinámica está asociada espacialmente a zonas cercanas a las principales localidades de estos departamentos, donde la concentración poblacional es de importancia.

Estos enclaves tienen concordancia con su cercanía a las vías de comunicación, rutas y caminos.

Por último los lotes de 0 a 1 año de quema sumaron el 69%, los lotes de 2 y 3 años de quema sumaron 25%, y por último el rango de lotes de 4 a 8 años conformó el 6%.

La metodología empleada puede servir de base para análisis posteriores que incluyan otras variables de tipo ambiental, agronómico o económico y generar escenarios de planificación presentes y futuras en el marco de la producción sustentable.

Bibliografía

Carreras Baldrés, J.; Fandos C.; F. Soria y P. Scandaliaris. 2023. Relevamiento de la superficie quemada en el área productiva de la provincia de Tucumán durante la campaña 2023. Reporte Agroindustrial 297 (EEAOC). <https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=relevamiento-de-la-superficie-quemada-en-el-area-productiva-de-tucuman-durante-la-campana-2023>

Carreras Baldrés, J.; Fandos C.; F. Soria y P. Scandaliaris. 2022. Relevamiento de la superficie quemada en el área productiva de la provincia de Tucumán durante la campaña 2022. Reporte Agroindustrial 266 (EEAOC). <https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=relevamiento-de-la-superficie-quemada-en-el-area-productiva-de-tucuman-durante-la-campana-2022>

Romero E. R.; Scandaliaris, J.; Digonzelli, P. A.; Tonatto, J.; Fernández de Ullivarri, 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.

ESTIMACIÓN POTENCIAL DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS DE COSECHA DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN TUCUMAN (2021-2023). PRACTICAS DE ENFARDADO.

Casen S.; Digonzelli P.; Romero E.; Alonso L.G. y Fernández de Ullivarri J.

Proyecto Cultivos Energéticos. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, W. Cross 3150. Las Talitas, Tucumán. Email: scasen@eeaoc.org.ar

INTRODUCCIÓN

La cosecha de la caña de azúcar sin el empleo de la quema (cosecha en verde) constituye una práctica cada vez más extendida en las diferentes zonas cañeras del mundo. En Argentina, la legislación y las políticas de gobierno exigen producir sin quemar, principalmente por demanda de la sociedad y la creciente concientización de los beneficios agronómicos de los residuos agrícolas de la cosecha (RAC).

El manejo de la caña de azúcar sin el empleo de la quema da origen a un nuevo sistema productivo con menor impacto ambiental y de mayor sustentabilidad, favoreciendo la mejor conservación de los recursos naturales.

El manejo del cañaveral manteniendo sobre el suelo la cobertura de RAC presenta importantes ventajas agronómicas: mejora la conservación de la humedad en el perfil del suelo, previene la erosión hídrica y eólica, aporta materia orgánica al suelo y en el largo plazo mejora las condiciones de fertilidad física, química y biológica de los suelos. También favorece el control de malezas y de algunas plagas (por ej: *Elasmopalpus lignosellus*) permitiendo un manejo agronómico con menores requerimientos de operaciones de cultivo (Digonzelli *et al.*, 2006).

Por otro lado, cuando las condiciones agroecológicas no permiten conservar el RAC sobre la superficie del suelo, por ejemplo en zonas con exceso de humedad, se puede enfardar y retirarlo del campo para darle otros usos. En la actualidad, resulta muy importante el uso industrial de estos fardos de RAC, ya que es una alternativa tecnológica factible para la cogeneración de energía (combustibles sustentables alternativos) en los ingenios azucareros de la provincia.

Palabras clave: bioenergía, residuos de cosecha, recolección, caña de azúcar

OBJETIVO

El objetivo de este trabajo fue analizar la cantidad potencial de RAC aprovechable en las tres últimas zafras en la provincia de Tucumán y evaluar las tecnologías disponibles para el enfardado de estos residuos, luego de la cosecha en verde del cañaveral.

MATERIALES Y MÉTODOS

Estimación del volumen de RAC en Tucumán

Para poder estimar el volumen de RAC aprovechable, es importante destacar que el área cañera de la provincia de Tucumán presenta 3 zonas agroecológicas bien definidas: Llanura Chaco-Pampeana, Llanura Deprimida y Pedemonte. Las características de suelo y clima van a condicionar el aprovechamiento agronómico del RAC y el porcentaje máximo de recolección del mismo. Así, las limitantes de cada una de estas zonas determinan la cantidad de RAC que puede recolectarse sin afectar negativamente el cañaveral ni el ambiente. En el Pedemonte, debido a la topografía y a la presencia de algunos suelos de texturas gruesas y en la Llanura Chaco-Pampeana, debido a los déficit hídricos primaverales y a los problemas de fertilidad química de los suelos, es agronómicamente conveniente mantener al menos el 70% de los residuos como cobertura sobre el suelo. De esta manera se podrán aprovechar los beneficios de la cobertura (control de erosión hídrica y eólica, conservación de la humedad edáfica, aporte de materia orgánica (MO) y reciclado de nutrientes, entre otros), los cuales contribuyen a subsanar las limitantes de estas regiones agroecológicas. En la Llanura Deprimida, los excesos de humedad ocasionados por problemas en la evacuación de las aguas superficiales y por la presencia de una capa freática cercana a la superficie, condicionan la emergencia y crecimiento del cañaveral. En estas condiciones mantener el RAC sobre la superficie del suelo agrava los problemas mencionados, por ello es recomendable recolectar el 70% del residuo que queda después de la cosecha en verde del cañaveral.

La cantidad de RAC seco factible de ser recolectado en el área cañera de Tucumán para las zafra 2021, 2022 y 2023 se estimó considerando los porcentajes de recolección recomendados para cada región agroecológica. Para el cálculo se utilizó la información sobre superficie cañera cosechable en cada una de las regiones agroecológicas y sobre el rendimiento cultural promedio de la provincia que fuera suministrada por la sección de Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográfica de la EEAOC (Fandos *et al.*, 2023). Para la estimación se usó el coeficiente de biomasa residual promedio entre variedades de 151 kg RAC/t caña, determinado para nuestras condiciones por (Romero *et al.*, 2008).

Prácticas de recolección con megaenfardadora

Las evaluaciones se realizaron en la localidad de Lules, Tucumán, en campos de un productor cañero. Estos estudios se realizaron en un cañaveral de plantación convencional a 1,6 m de distancia entre surcos e implantado con la variedad LCP 85-384 que es la más cultivada en la provincia y ocupa el 62,5% del área cañera (Henríquez *et al.*, 2023). Para estas mediciones se utilizó la enfardadora Massey Ferguson 2250 (Figura 1). Se determinó el peso, las dimensiones y la cantidad promedio de fardos realizados por ha. Se trabajó con 4 repeticiones (total de 4 hectáreas). Se cuantificó además la eficiencia de recolección luego de realizar el enfardado, pesando el RAC antes y después de operar la máquina.



Figura 1. Megaenfardadora de RAC. Massey Ferguson 2250

En este ensayo, previo al paso de la enfardadora, se usaron rastrillos hileradores modificados (Figura 2). Este implemento permite incrementar el volumen de RAC en la línea de recolección, así se consigue acopiar los residuos de las trochas y depositarlos sobre el surco, donde luego serán recogidos por la enfardadora (Casen, *et al.*, 2015).



Figura 2. Rastrillo hilerador para el acondicionamiento del residuo de la cosecha previo al paso de enfardadoras.

RESULTADOS

Conforme al análisis realizado, el área cañera tucumana habría dispuesto en las zafas 2021, 2022 y 2023 de 1.277.037, 1.119.157 y 1.230.995 toneladas de RAC recolectable seco, respectivamente (Tabla 1, 2 y 3). Esto representa un valor energético importante para los ingenios de la provincia.

Tabla 1. Estimación del RAC seco factible de recolectar (sin considerar la quema) en cada zona agroecológica del área cañera tucumana durante la zafra 2021 (Superficie Total Cosechada: 276.400 has).

Región agroecológica	Zafra 2021		
	Sup.cosechable (ha)	Rto cultural provincial (t caña/ha)	RAC recolectable
Pedemonte	63.572	55,8	159.629
Llanura Chaco pampeana	174.132	55,8	1.020.239
Llanura deprimida	38.696	55,8	97.166
Total Tucumán RAC seco (t/año)			2.313.468
Total Tucumán RAC recolectable seco (t/año)			1.277.034

Tabla 2. Estimación del RAC seco factible de recolectar (sin considerar la quema) en cada zona agroecológica del área cañera tucumana durante la zafra 2022 (Superficie Total Cosechada: 269.400 has).

Región agroecológica	Zafra 2022		
	Sup. cosechable	Rto cultural provincial (t caña/ha)	RAC recolectable
Pedemonte	61.962	53,4	148.895
Llanura Chaco pampeana	169.722	53,4	951.631
Llanura deprimida	37.716	53,4	90.632
Total Tucumán RAC seco (t/año)			2.157.894
Total Tucumán RAC recolectable seco (t/año)			1.191.157

Tabla 3. Estimación del RAC seco factible de recolectar (sin considerar la quema) en cada zona agroecológica del área cañera tucumana durante la zafra 2023(Superficie Total Cosechada: 278.410 has).

Región agroecológica	Zafra 2023		
	Sup. cosechable	Rto cultural provincial (t caña/ha)	RAC recolectable
Pedemonte	64.034	53,4	153.874
Llanura Chaco pampeana	175.398	53,4	983.458
Llanura deprimida	38.977	53,4	93.662
Total Tucumán RAC seco (t/año)			2.230.064
Total Tucumán RAC recolectable seco (t/año)			1.230.995

En la Tabla 4 se muestran los resultados promedios del ensayo de enfardado de RAC utilizando la megaenfardadora Massey Ferguson 2250.

El rendimiento cultural promedio del lote de caña de azúcar evaluado fue de 61 toneladas por hectárea de tallos molibles, con un promedio potencial de RAC de 7 t/ha (base seca).

En la experiencia de enfardado, se recolectó en promedio, el 70 % del RAC que estaba en el campo (eficiencia de la recolección).

La megaenfardadora Massey Ferguson 2250, es considerada como la más apropiada, entre las que se encuentran en el mercado, de acuerdo al diseño de plantación de la caña de azúcar utilizado en Tucumán.

El desempeño operativo de las enfardadoras (eficiencia de recolección) está asociada a los diferentes niveles de producción del cañaveral, la planialtimetría del terreno, la variedad de caña de azúcar, el número de días transcurridos desde la cosecha, el contenido de humedad de la maloja, etc. Además, es producto de una adecuada regulación del cabezal recolector, del acondicionamiento de los residuos principalmente.

Tabla 4. Desempeño agronómico de la megaenfardadora Massey Ferguson 2250.

Modelo	Promedio Fardos/ha	Dimensiones del Fardo (AxAxL en cm)	% RAC remanente	% RAC recolectado
Massey Ferguson 2250	25	80x90x250	30	70

En concordancia a lo expresado por Digonzelli *et al.*, 2006, es necesario continuar investigando nuevas técnicas de henificación, ya que el enfardado de los residuos de la cosecha en verde constituye una alternativa válida de manejo y con un valor agregado en la actividad cañera de Tucumán.

CONCLUSIONES

El desafío de cosechar en verde los cañaverales de la provincia requiere continuar con estudios de alternativas de manejo para los residuos de cosecha generados por esta práctica. Además, este tipo de cosecha, tiene como beneficio proporcionar un valor agregado a este residuo.

Al no quemar los cañaverales la Provincia de Tucumán, cuenta con un volumen de RAC recolectable importante aunque variable en cada zafra dependiendo de la producción de biomasa de los cañaverales, las características del ciclo productivo, las variedades cultivadas, la eficiencia de la cosecha y la regulación del equipo de cosecha entre los aspectos más importantes. Este combustible sustentable alternativo permitiría un ahorro de gas para los ingenios de la provincia y la cogeneración de energía eléctrica.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Agr. Adolfo Torres Bugeau, quien facilitó las maquinarias necesarias para llevar a cabo esta experiencia.

REFERENCIAS

Casen, S.; Romero, E.; Leggio, F.; Torres Bugeau; A.; Perez, D. y Paredes, V. 2015. Manejo de los residuos agrícolas de la cosecha de caña de azúcar: disponibilidad potencial y alternativas de enfardado. *Avance agroindustrial* 36 (4):20-26.

Digonzelli, P.; Alonso, L.; Casen, S.; Giardina, J.; Romero, E.; Leggio Neme, F.; Scandaliaris, J.; Alonso, J.; Fernández de Ullivarri, J. y Tonatto, J. 2006. Manejo de los residuos de la cosecha en verde de la caña de azúcar: evaluación preliminar de máquinas enfardadoras. *Avance Agroindustrial*. 27 (4).14-18

Fandos C., J. Scandaliaris, P. Scandaliaris, F. Soria y J. Carreras Baldrés. 2022. Área cosechable y producción de caña de azúcar para la zafra 2022 en Tucumán. *Reporte Agroindustrial*. EEAOC. Boletín (282).

Henríquez, D.; Medina, P.; Aybar Guchea, M.; Figueroa, M.; Costilla, D.; Díaz, J.; Díaz Romero; C. y Ostengo, S. 2023. Relevamiento de la distribución varietal y del uso de

otras tecnologías en el cultivo de caña de azúcar en la provincia de Tucumán: campaña 2022/2023. Reporte Agroindustrial. EEAO. Boletín (82). ISSN 2346-9102.

Romero, E. R; Scandaliaris ,J; Digonzelli,P; Alonso, L;. Leggio Neme,F; Giardina, J; Casen, S; Tonatto, J y Fernández de Ullivarri,J. 2008. Effect of yielding and variety on sugarcane potential trash. Revista Industrial y Agrícola de Tucumán (RIAT) 85 (1). ISSN 0370-5404.

AVANCES Y DESAFÍOS EN LA PRODUCCIÓN DE VITROPLANTAS DE CAÑA DE AZÚCAR. UN ENFOQUE DE MEJORA CONTINUA EN LA EEAOC

Díaz, M. E., Peña Malavera A. N., Cerviño, A. M., Paz, N.V, Insaurralde, M. P., Ovejero, S. N., Digonzelli, A.P.; Perera, M. F. y 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. Las Talitas, Tucumán, R. Argentina, T4101XAC.

mediazmicales@eeaoc.org.ar

Palabras clave: sistema de gestión de calidad, tasa de multiplicación, pérdidas, permanencia.

Introducción

El Proyecto Vitroplantas de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) se inició en el 2001 para satisfacer la demanda de “caña semilla” de alta calidad, por parte del sector productivo. Esta “caña semilla” debe ser sana, vigorosa y tener identidad genética garantizada.

Las herramientas biotecnológicas empleadas para lograr la caña semilla de alta calidad, son diversas (Pérez Ponce, 1998). Las técnicas utilizadas en el proceso de obtención de vitroplantas de caña de azúcar en el Laboratorio de la Sección Biotecnología de la EEAOC, incluyen la hidrotermoterapia (tratamiento con agua caliente para disminuir la presencia de bacterias fitopatógenas), el cultivo de meristemas (tejido vegetal en activa división celular con nula o mínima presencia de microorganismos patógenos), la micropropagación como así también diferentes técnicas moleculares para garantizar la sanidad y la pureza genética (Díaz *et al.*, 2019).

En 2016, la implementación de la norma ISO 9001 consolidó el proceso de producción de vitroplantas de caña de azúcar de la EEAOC como consecuencia de la incorporación del concepto “Sistema de Gestión de la Calidad” (SGC) que alcanza a todas las etapas del proceso en el laboratorio. Esta implementación implica disponer de registros de procesos, procedimientos, instructivos de trabajo estandarizados, planes de capacitación, etc. La documentación registrada es la evidencia que permite mantener controladas todas las etapas y aspectos del ciclo de producción y tomar decisiones informadas para corregir, mejorar o prever posibles riesgos que impidan cumplir con los objetivos planteados. La evaluación de eficacia en cada etapa constituye un factor de gran impacto sobre el proceso productivo, lo que permite hacer un uso eficiente tanto de los recursos humanos como de los recursos materiales. Considerando lo expuesto anteriormente, en este trabajo se propone analizar la eficiencia productiva de vitroplantas de caña de azúcar en el laboratorio de la Sección Biotecnología de la EEAOC en el año 2023.

Materiales y métodos

Producción de vitroplantas

La obtención de vitroplantas consta de cinco etapas que se describen brevemente a continuación:

Etapa 0: Preparación del material vegetal de partida o donante, esta etapa se desarrolla en invernadero donde se cultivan y acondicionan las “plantas madres” de donde se extraerán los meristemas.

Etapa 1: Establecimiento del cultivo *in vitro* o introducción, consiste en la implantación de los meristemas en medio de cultivo adecuado para el desarrollo del brote.

Etapa 2: Multiplicación, en esta fase se transfiere el material a un medio de cultivo que promueve la activación de las yemas adventicias para lograr la formación de los macollos que serán subdivididos (subcultivos) en grupos de 4-5 plántulas y transferidos periódicamente a medio de cultivo fresco para la generación de mayor cantidad de plantas (Fig. 1 A y B). Cada subcultivo se identifica con la letra M, desde M₀ hasta M₇ como máximo, antes de ser transferidos a medio de enraizamiento.

Etapa 3: Enraizamiento (E), en esta etapa se estimula la generación de raíces para la posterior adaptación de las vitroplantas a las condiciones *ex vitro* (Fig. 1 C).

Etapa 4: Aclimatación, consiste en el trasplante de las vitroplantas a bandejas/macetas en invernadero para su rusticación de manera que resistan el trasplante en campo.



Figura 1. A. Vitroplanta de caña de azúcar recién transferida a medio fresco. **B.** Cámara de cría en etapa de multiplicación masiva. **C.** Vitroplantas en etapa de enraizamiento.

Eficiencia productiva

En el marco de la Norma ISO 9001:2015, el ciclo de mejora continua que implica Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA) se basa en la evaluación periódica de los procesos operativos para estimar la eficiencia y su mejora permanente. Para ello se calcularon:

- las tasas de multiplicación, tanto por variedad como por subcultivo, lo cual se obtuvo considerando el número total de frascos obtenidos a partir de un único frasco;

- duración de cada subcultivo de las etapas 2 y 3, lo cual se midió como la duración en días transcurridos entre un subcultivo y el subsiguiente.

- el porcentaje de material de cada subcultivo, en etapa de multiplicación, que pasa a la etapa de enraizamiento. Para esto se evaluó el número de frascos de cada subcultivo que fue transferido a enraizamiento sobre el total de frascos enraizados;

- las plantas promedio por frasco: se calcularon como el número de plantas por frasco en enraizamiento por variedad; y

-los porcentajes de pérdidas ocasionados por diferentes causas (hongos, bacteria, etc.) para lo cual se cuantificó la cantidad de frascos eliminados por distintas causas respecto al total de frascos eliminados.

Análisis de datos

Se realizó la depuración de los datos previo a su análisis. Las estadísticas descriptivas, gráficos de barras y gráficos de sectores se realizaron con el programa estadístico Navure 1.2.0 (Navure, 2023).

Estimación de la producción

A fin de estimar la producción se contempló la tasa de multiplicación (TM) promedio de todas las variedades por subcultivo, las plantas promedio por frasco (NPF) y las pérdidas estimadas (TP), empleando la siguiente fórmula, considerando también los tiempos de permanencia en cada subcultivo:

$$Producción = TM * NPF * (1 - TP)$$

Resultados

Tasas de multiplicación

Las tasas de multiplicación por cada variedad (para todos los subcultivos) se muestran en la Tabla 1. La tasa promedio varió entre 3,45 y 4,97, pero las tasas máximas observadas indican que el potencial de multiplicación es mayor (entre 5 y 10,5). Existe un rango importante de datos en las tasas de multiplicación por lo cual también se muestran los valores medianos por variedad, ya que es una medida menos susceptible a los valores extremos.

Tabla1. Tasa de Multiplicación por variedad en todos los subcultivos.

Variedad	n	Media	D.E.	Mín	Máx	Mediana
LCP 85-384	29	3,93	1,69	2,25	10,5	3,43
TUC 95-10	15	3,55	1,20	2,00	5,00	3,00
TUC 00-19	40	3,45	1,11	0,50	7,00	3,24
TUC 03-12	109	3,83	1,50	0,50	9,00	3,50
TUC 00-22	14	4,97	1,87	1,50	8,78	4,91
TUC 00-65	51	4,05	1,41	0,50	7,00	3,93
TUC 06-7	102	4,28	1,30	0,38	9,00	4,20

Las tasas de multiplicación por subcultivo para las variedades evaluadas, oscilan entre 3,34 y 4,86, obteniéndose la tasa más alta en el segundo subcultivo (M₂). Las tasas más bajas se obtuvieron en los subcultivos más avanzados lo cual podría estar influenciado por el incremento de la cantidad de material en producción, lo cual afecta la capacidad operativa del personal (Figura 2).

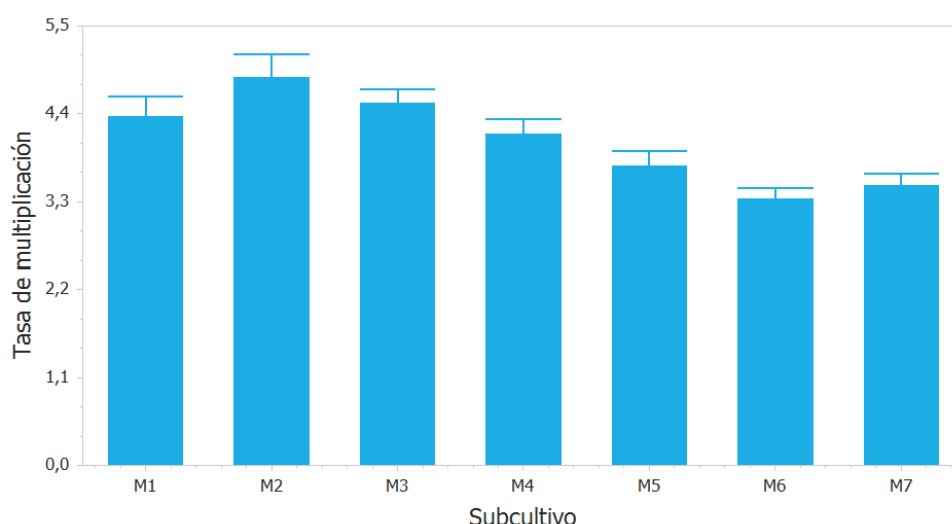


Figura 2. Tasas de multiplicación promedio por subcultivo para todas las variedades evaluadas, con sus respectivos desvíos estándar.

Duración de cada subcultivo

El tiempo de permanencia de las vitroplantas en cada subcultivo se presenta en la Tabla 2. Se observa que a partir de M₃ los tiempos de permanencia aumentan notablemente, lo que está relacionado con el incremento del material disponible en cámara. El tiempo promedio de duración total del ciclo se estimó en 356 días.

Tabla 2. Duración promedio de cada subcultivo.

Subcultivo	días
M ₀	32,08
M ₁	33,79
M ₂	33,73
M ₃	41,00
M ₄	48,10
M ₅	43,47
M ₆	44,83
M ₇	38,67
E	40,96
Total	356,63

Etapas de enraizamiento

Una de las estrategias productivas empleadas para evitar la pérdida de material por mal estado consiste en enraizar el mismo en etapas tempranas de multiplicación, antes de alcanzar M₇. Este subcultivo es el límite permitido por el laboratorio para evitar la posible ocurrencia de variaciones genéticas, las cuales pueden producirse por el estrés asociado al cultivo *in vitro*.

En la Figura 3 se muestra el porcentaje de material de cada subcultivo llevado a etapa de enraizamiento. En general, el mayor porcentaje de enraizamiento proviene de material vegetal en M₇, sin embargo, a partir de M₄ ya se transfiere material a medio de enraizamiento para evitar su deterioro debido al tiempo excesivo de permanencia en un mismo subcultivo.

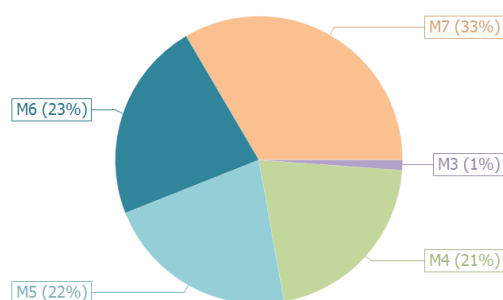


Figura 3. Porcentaje de material de cada subcultivo que pasa a la etapa de enraizamiento.

Plantas promedio por frasco en enraizamiento

Se contaron las plantas por frasco en enraizamiento por variedad y se calculó el valor promedio que estuvo en el rango de 15,44 a 24,92, definiendo el valor promedio para el total de las variedades trabajadas en 18,65 plantas por frasco.

Pérdidas

Las pérdidas registradas en el proceso de producción fueron del 28% y se clasifican en tres tipos:

1) Contaminación por hongos o bacterias: la contaminación por hongos está asociada a la manipulación del material vegetal, mientras que la contaminación bacteriana se debe principalmente a la presencia de bacterias endofíticas en el tejido vegetal que no es posible eliminar mediante la desinfección del material al ingresar al cultivo *in vitro*.

2) Plantas con alteraciones morfológicas: arrosetadas, albinas o quimeras.

3) Plantas en mal estado: plantas cuyo medio de cultivo o nutrientes se agotaron por permanecer demasiado tiempo sin ser transferidas a medio fresco.

En la Tabla 3 se observa que los mayores porcentajes de pérdidas están asociados a plantas en mal estado, seguidos por contaminación bacteriana.. Merece destacarse que las pérdidas por alteraciones morfológicas son menores al 1%. Esto evidencia que el límite impuesto en el número de subcultivos resulta adecuado y se correlaciona directamente con los resultados de evaluación de pureza genética en los que la totalidad de las líneas producidas responden al perfil molecular de la planta madre que les da origen.

Tabla 3. Pérdida de plantas por diferentes causas en la etapa de multiplicación *in vitro*

Causa		Porcentaje	Total
Contaminación	Hongos	18,64	48,85
	Bacterias	30,21	
	Arrosetadas	0,78	
Alteraciones morfológicas	Quimeras	0,09	0,91
	Albinas	0,04	
Mal estado		50,23	50,23

Estimación de la producción

A fin de estimar la producción se incluyeron en la fórmula los valores definidos de tasa de multiplicación promedio de todas las variedades por subcultivo, las plantas promedio por frasco y las pérdidas estimadas. Al considerar también los tiempos de permanencia en cada subcultivo, se logró predecir la fecha en la cual se obtendrá la producción estimada. Esta fórmula ha sido validada en los últimos meses poniendo de manifiesto que la estimación se ajustó a la producción.

Conclusiones

La estimación más precisa de la producción ha permitido mejorar la toma de decisiones como, por ejemplo, enraizar anticipadamente, implementar medios de mantenimiento que desaceleren el metabolismo de las plantas o aumentar la capacidad operativa.

La eficiencia productiva no sólo se determina por la cantidad de vitroplantas producidas, sino también por su calidad y el costo de las mismas. Esta eficiencia es una consecuencia directa de un sistema organizativo que permita planificar y controlar la producción, así como de un eficiente sistema de aseguramiento y control de la calidad.

Así, el proyecto Vitroplantas busca, en forma continua, mejorar sus procesos para lograr un producto final que satisfaga las necesidades de los productores cañeros.

Referencias

- Díaz, M.E.; Paz, N.V.; Insaurralde Rocco, M.P.; Perera, M.F.; Castagnaro, A.P. and Noguera, A.S. 2019. Sugarcane Vitroplant Project of the Obispo Colombres Agroindustrial Experimental Station (EEAOC, Tucumán, Argentina): production of healthy plantlets at the laboratory. *Proceedings of ISSCT*. 30: 621-625.
- Navure Team (2023). Navure (1.2.0): A data-science-statistic oriented application for making evidence-based decisions. URL <http://www.navure.com>.
- Pérez Ponce, J. N. Propagación y mejora genética de plantas por biotecnología. Santa Clara: Instituto de biotecnología de las plantas, 1998.
- Norma ISO 9001:2015: Sistemas de gestión de la calidad –Requisitos.

EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE AZÚCAR CAUSADAS POR EL GUSANO PERFORADOR EN VARIEDADES DE CAÑA CULTIVADAS EN LEDESMA DURANTE EL 2022

Easdale C. y Funes C.

Ledesma SAAI, Salta SN, Libertador General San Martín, Jujuy, Argentina.

ceasdale@ledesma.com.ar

Palabras clave: *Diatraea saccharalis*, rendimiento sacarino, caña de azúcar

Introducción

La caña de azúcar es atacada en diferentes momentos de su ciclo vegetativo, por numerosos insectos que le provocan serios daños a las hojas, tallos y cepas (Salvatore, 2010). Entre ellos, el gusano perforador (*Diatraea saccharalis*), es una de las plagas de mayor importancia económica para el cultivo.

Este lepidóptero, en su estado larval se alimenta de la parte interna de los tallos, construyendo galerías que favorecen el ingreso y desarrollo de patógenos (hongos y bacterias) en el interior de los mismos.

Los principales daños están dados por la disminución del peso de los tallos lo que se traduce en pérdidas de rendimiento cultural; la formación de las galerías y podredumbres asociadas, provocan complicaciones en el proceso de extracción fabril, reduciendo la calidad y contenido de la sacarosa y disminuyendo la extracción de jugo en el ingenio (Salvatore, et.al., 2010). También este insecto puede provocar daños en las yemas, disminuyendo su número y viabilidad e impactando directa e indirectamente en el potencial uso del lote como caña semilla (Pérez, et.al., 2021).

Evaluaciones realizadas por la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC), determinaron que por cada punto porcentual de intensidad de infestación (porcentaje de entrenudos afectados con respecto al total de entrenudos medidos) (I.I. %), ocurre una pérdida promedio en azúcar de 0,65 kg/t de caña (Salvatore, et.al., 2009).

En estudios realizados por la empresa Ledesma durante las campañas 2007-2008 y 2008-2009, se observaron pérdidas que fluctuaron entre 0,30 kg y 1,30 kg de azúcar por tonelada de caña y por cada 1% de Intensidad de Infestación (datos no publicados). De los mismos surge la necesidad de seguir evaluando las pérdidas de manera tal de conocer el impacto en las distintas variedades cultivadas actualmente y en diferentes momentos de la zafra.

El objetivo de este trabajo fue evaluar las pérdidas causadas por el gusano perforador de la caña de azúcar en cuatro variedades cultivadas por la empresa Ledesma y en dos momentos diferentes de maduración (mayo y septiembre), durante la zafra 2022.

Materiales y métodos

Las evaluaciones se llevaron a cabo sobre las cuatro principales variedades cultivadas en Ledesma (CP 70 1133; NA 05 860; NA 96 2929 y TUCCP 77 42), cuya representatividad según el censo de la zafra 2022, fue del 75%. Las mismas se

realizaron en dos momentos diferentes de maduración (mayo y septiembre para CP 70 1133; NA 05 860 y TUCCP 77 42; NA 96 2929 sólo en septiembre).

En cada situación se analizó variedad y épocas de corte, se eligieron lotes en los que se hayan observado previamente tallos dañados por *Diatraea saccharalis* (entrenudos perforados), se extrajeron 400 tallos. A todos los tallos se les midió la altura al punto de quiebre natural, se los pesó, y se les realizó el conteo de entrenudos perforados y totales. Con estos datos se calculó el II% por tallo.

Con los datos de porcentaje de infestación (I.I.%) por tallo, se reagruparon las cañas en grupos de a cinco tallos de acuerdo a los siguientes rangos de infestación (0%; 1%-5%; 6%-10%, 11%-15%; 16%-20% y >20%). Estas muestras fueron remitidas al laboratorio del ingenio Ledesma para su correspondiente análisis de calidad (rendimiento sacarino). Con la información de peso y parámetros de calidad se realizó una regresión de pérdida de azúcar en función de los rangos de I.I.% definidos con anterioridad utilizando EXCEL.

Resultados

Las pérdidas expresadas en kilogramos de azúcar por tonelada de caña por punto de Infestación dados por *D. saccharalis* para cada momento de muestreo y variedad, se resumen en la tabla 1.

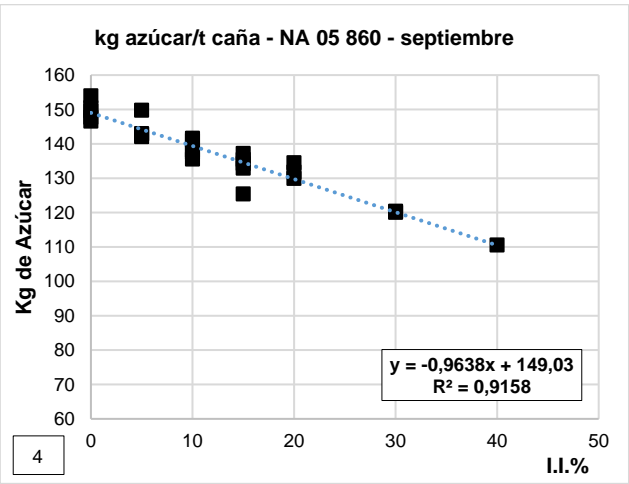
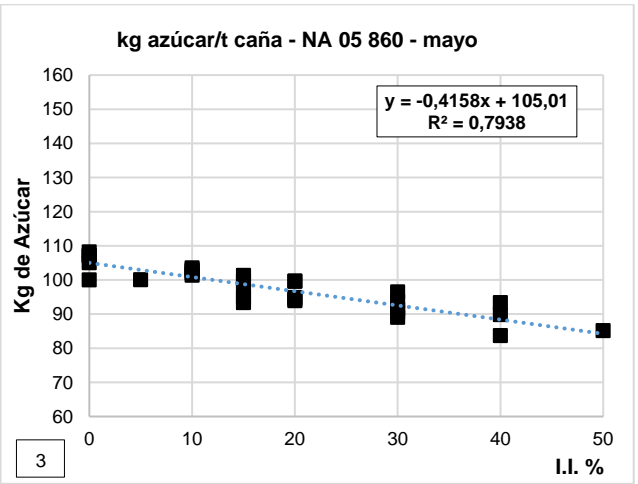
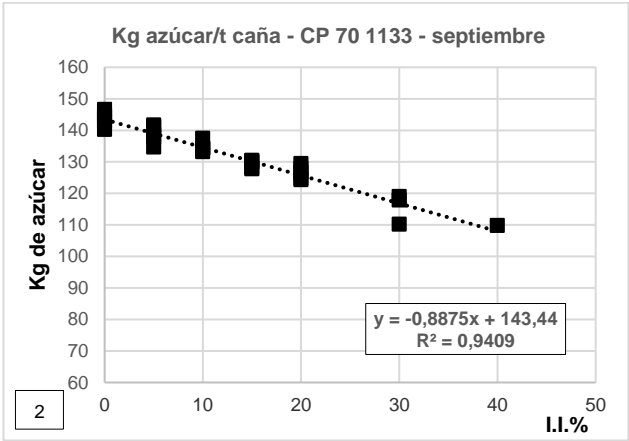
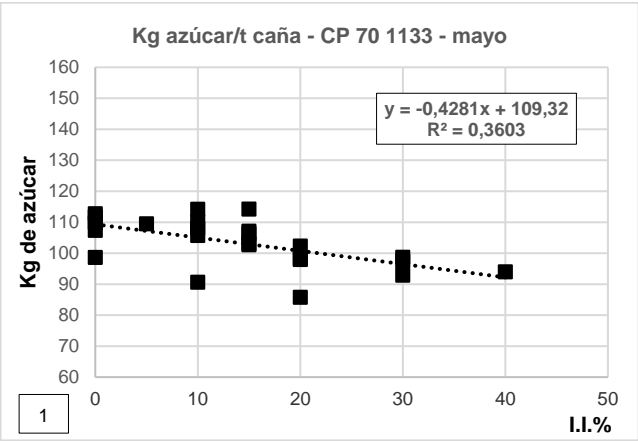
Tabla 1. kg de azúcar/tonelada de caña por punto de Infestación para cada momento de muestreo y variedad evaluada.

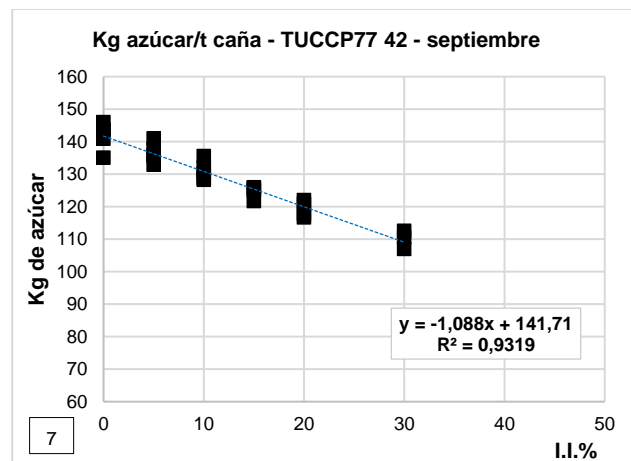
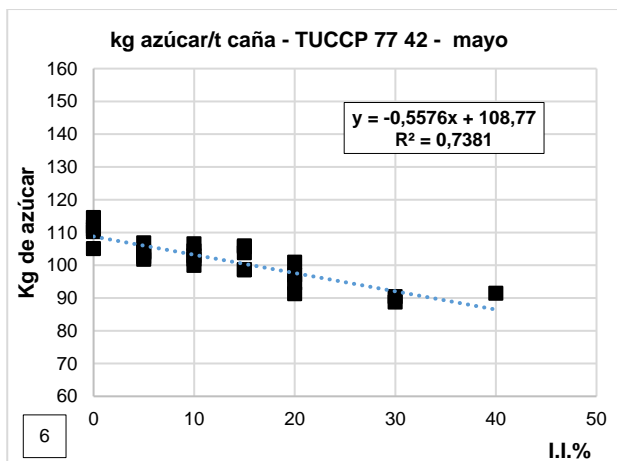
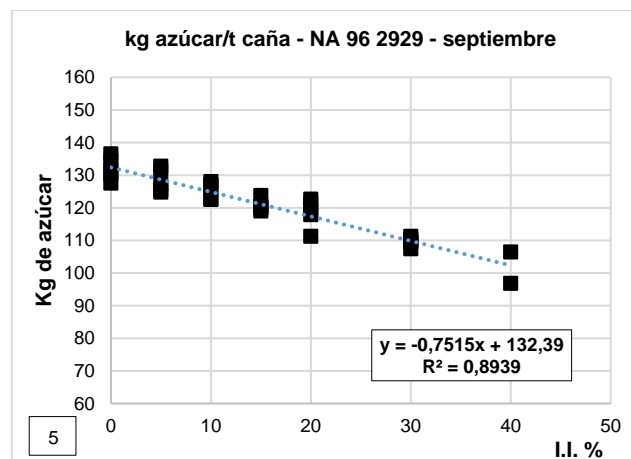
Variedad	Momentos de muestreo	
	Mayo	Septiembre
CP 70 1133	0,428	0,888
NA 05 860	0,416	0,964
NA 96 2929	-	0,752
TUCCP 77 42	0,558	1,088

Las pérdidas de azúcar fueron superiores en septiembre, observándose un incremento de entre un 94% y 131% entre los dos muestreos realizados. La variedad

TUCCP 77 42 resultó ser la más afectada por esta plaga con un 94% superior a mayo, mostrando una pérdida de azúcar en septiembre de 1,09 kg por tonelada de caña por punto de infestación. Por otro lado, NA 05 860 y CP 70 1133 mostraron una disminución de azúcar (kg) en septiembre inferior a TUCCP 77 42 entre un 11% y 18%, respectivamente, pero con un incremento de las pérdidas entre el inicio de la zafra y fines de la misma, de 131% y 107%.

Los datos del análisis de regresión de pérdida de azúcar correspondientes a cada variedad evaluada se observan en las figuras 1 a 7.





Figuras. Pérdida de azúcar (kg) correspondiente a cada variedad evaluada según época de muestreo (mayo y septiembre) en función de rangos de infestación. **1 y 2:** CP 70 1133; **3 y 4:** NA 05 860; **5:** NA 96 2929; **6 y 7:** TUCCP 77 42.

Como se observan en las figuras anteriores, las regresiones nos indicaron la pérdida de azúcar (kg) por tonelada de caña por cada 1% de infestación de *D. saccharalis* en los lotes monitoreados. La menor pérdida de azúcar a inicios de la zafra 2022 en el mes de mayo fue de entre 0,42 kg y 0,56 kg, llegando en septiembre a duplicarse e incluso aún ser superior entre 0,89 kg y 1,09 kg, en CP 70 1133, NA 05 860 y TUCCP 77 42. Para el caso de NA 96 2929 se registró una pérdida de azúcar en septiembre de 0,75 kg/t de caña por cada punto de infestación.

Conclusiones

Las mayores pérdidas en kg de azúcar por tonelada de caña por punto de infestación de *D. saccharalis*, bajo nuestras condiciones de ensayo, correspondieron a la variedad TUCCP 77 42. La presencia de rajaduras a lo largo de los entrenudos (característica destacada en esta variedad), podrían haber favorecido a la rápida degradación de los tejidos de la caña, con la consiguiente disminución en el contenido sacarino.

La duplicación en las pérdidas en kg de azúcar/tn caña encontradas en tres variedades estudiadas, entre el inicio de la zafra (mayo) y fines de la misma (septiembre), pudieron estar dadas por: el avance del deterioro de los tallos producido por el barrenador de la caña de azúcar dentro de los entrenudos; por el mayor tiempo de exposición del cultivo a la degradación de los azúcares realizada por hongos y bacterias que entran por las perforaciones o rajaduras de la variedad; y porque se registraron temperaturas favorables para acelerar dichos procesos entre agosto-septiembre de 2022.

Los datos promedios de pérdidas obtenidos durante la campaña 2021-2022, oscilaron entre 0,40 kg y 1,09 kg de azúcar por tonelada de caña de azúcar por cada punto de infestación; los mismos coincidirían con valores encontrados en lotes de Ledesma en campañas anteriores.

La información aportada en este ensayo nos permite avanzar en el conocimiento de las pérdidas generadas por este insecto en diferentes lotes cañeros de Ledesma. Continuar con monitoreos en diferentes situaciones y ambientes de manejo, nos ayudará a generar información para poder implementar herramientas acordes y oportunas para un control efectivo de *D. saccharalis*.

Citas bibliográficas

Pérez, L. del P.; Budeguer, R.; Rodríguez, D.; Iovane, R. y D. Hernández. 2021. Ficha técnica: Gusano perforador de la caña de azúcar. Rev. Avance Agroindustrial 42(1): 24-25.

Salvatore, A. R.; López, G. y Willink, E. 2009. Plagas en el cultivo de la caña. Eds. Romero, E.; Digonzelli, P.A. y Scandalariis, J. En: Manual del cañero, págs.117-122.

Salvatore, A. R.; García, M. B.; Romero, E. y Willink, E. 2010. Sugar losses caused by the sugarcane borer (*Diatraea saccharalis*) in Tucumán, Argentina. Proc. Int. Soc. SugarCaneTechnol., 27: 1-9.

DESARROLLO DE EVENTOS TRANSGÉNICOS DE CAÑA DE AZÚCAR CON TOLERANCIA INCREMENTADA A ESTRESSES ABIÓTICOS.

Enrique, R.; Budeguer, F.; Ostengo, S.; Castagnaro, A. y 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

Palabras claves: *Saccharum spp.*, transgénesis, sequía, salinidad

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 de gran tamaño (>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, sumado al sistema de propagación vegetativo de la caña de azúcar que permite la transferencia y multiplicación estable de transgenes, hacen de esta especie 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 abiótico.

Mediante transgénesis se han incorporado distintos genes con el propósito de conferirle resistencia a la escasez de agua y salinidad al cultivo (Verma y col., 2022). Sin embargo, hasta el momento, la sobreexpresión de factores de transcripción (FT) en cultivos como soja, trigo y maíz ha mostrado los resultados más promisorios sin presentar penalidades en la producción (González y col., 2019; Ribichich y col., 2020; Raineri y col. 2022). Los factores de transcripción (FT) son proteínas reguladoras del proceso transcripcional en plantas y otros organismos, que controlan la velocidad de la transcripción del ADN a ARNm, mediante la unión a una secuencia de ADN específica (Latchman, 1997).

En el presente trabajo se propuso la incorporación en caña de azúcar, mediante transgénesis, de un gen que codifica para un factor de transcripción de *Helianthus annuus* (girasol) y evaluar su efectividad en condiciones de estrés abióticos como la escasez de agua y la salinidad.

Objetivos

El presente trabajo tuvo como objetivos:

- Introducir mediante transformación genética un gen que codifica para un FT 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.

Materiales y Métodos

Material vegetal y condiciones para el cultivo de tejidos

Los callos embriogénicos de la variedad TUC 03-12 utilizados para el bombardeo con ADN fueron preparados siguiendo los protocolos de Bower y Birch (1992).

Transformación genética de caña de azúcar

La construcción genética (pAST α) contiene el gen *FT* de girasol y el gen *nptII* 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. El bombardeo de los callos se llevó a cabo siguiendo los procedimientos descritos por Noguera y col. (2015).

Condiciones de selección, regeneración y micropropagación

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). 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 siguiendo 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 N₂ de líneas resistentes a geneticina y de plantas control no transformadas (NT), utilizando el método descrito por Aljanabi y col. (1999). Se amplificó por PCR un fragmento de 174 pb del gen *FT* utilizando cebadores específicos. La reacción de amplificación del fragmento del gen *FT* fue realizado durante 30 ciclos de acuerdo a las siguientes condiciones: desnaturalización a 95 °C durante 30 s, anillado a 59 °C durante 30 s y extensión a 72 °C durante 60 s. Los productos de amplificación fueron analizados en geles de agarosa 1,5 % (p v⁻¹) 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 evaluaciones morfológicas

Diez estacas uninodales por línea transgénica y de las plantas NT fueron plantadas en bandejas de celdas conteniendo la mezcla comercial de suelo Grow Mix Multipro (Terraferil, Argentina). La brotación y crecimiento de las estacas fue realizado en invernadero bajo condiciones de luz natural y temperatura controlada (25 ± 5 °C). El conteo de brotación de yemas se realizó cada siete días durante 30 días luego de plantados (DAP) para determinar el Índice de Velocidad de Emergencia (IVE) utilizando la formula descrita 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 °C y pesadas en una balanza de precisión hasta peso constante. Los experimentos fueron realizados por triplicado con un diseño de bloques completamente aleatorizados.

Análisis histológico de raíces

Los estudios histológicos se llevaron a cabo con plantas de líneas transgénicas y plantas NT, crecidas en invernadero en condiciones normales. Las raíces fueron fijadas en FAA (formaldehído/ácido acético/etanol, 1:1:8). Se realizaron cortes transversales de diferentes porciones de las raíces; las cuales fueron decoloradas en una solución 1:1 de NaClO/agua destilada, enjuagadas cinco veces con agua destilada y teñidas con los colorantes Astral blue y Safranina. Finalmente, los cortes fueron montados en una solución de agua-glicerina (1:1) y observados con un microscopio Leica DM500. Las imágenes fueron tomadas con una cámara digital.

Ensayos de tolerancia a estrés hídrico

Plantas de líneas transgénicas y NT (control), fueron transplantadas a macetones de 20 l (tres clones de la misma línea por maceta) y mantenidas con riego a capacidad máxima de campo por 20 días. A continuación, se suspendió el riego durante 45 días hasta aparición de síntomas de estrés severo en las plantas control. Se midió el contenido de agua retenido (%RWC) según el protocolo de Silva y col. 2010.

Ensayos de tolerancia a salinidad

Tres plantas de cada línea transgénica y control NT fueron regadas con las siguientes soluciones de NaCl (0, 50, 100 y 150 mM) durante 30 días. A continuación, se evaluó fenotípicamente el efecto del estrés salino en los distintos órganos de las plantas y se analizó el grado de tolerancia a la salinidad de cada línea transgénica respecto a las plantas control no transgénicas.

Resultados

Obtención de líneas transgénicas *FT* de caña de azúcar

Un total de 1735 callos de la variedad comercial TUC 03-12 fueron bombardeados con el vector pAST α , que porta los transgenes *FT* y *nptII*. Se obtuvieron *in vitro* un total de 208 líneas transformadas, genéticamente resistentes, las cuales se aclimataron a condiciones *ex vitro* en invernadero. De estas 208, 117 resultaron PCR positiva para la presencia del gen *FT* 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 no transformada (NT), y fueron estudiadas desde la brotación de las estacas uninodales hasta el establecimiento de los plantines, bajo condiciones controladas de crecimiento. 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).

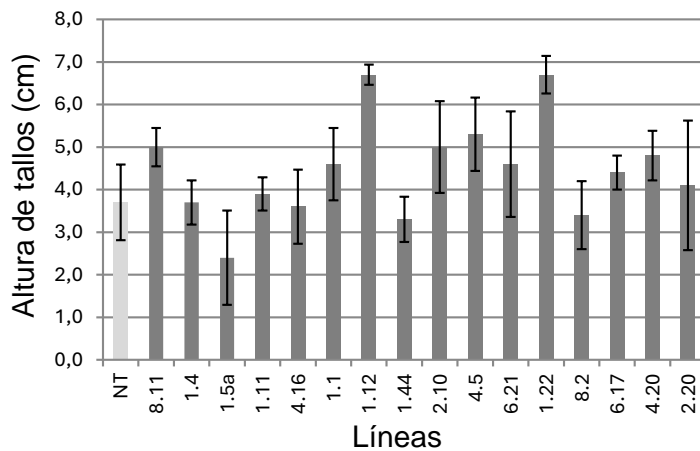


Figura 1. Evaluación de la elongación del tallo de 16 líneas transgénicas a los 30 DAP. Los datos están expresados como media y error estándar de las medias.

Estudio del sistema radicular de las líneas transgénicas

Se analizaron los sistemas radiculares de las siete líneas transgénicas con mejor comportamiento y la línea 1.5 que evidenció un comportamiento deficiente, 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 2A). 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 cuatro veces más pesadas respecto a las raíces de plantas NT (datos no mostrados).

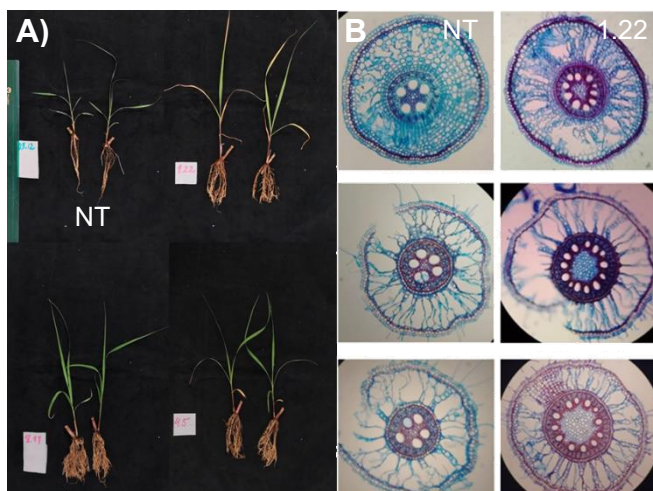


Figura 2. Fenotipado de las líneas transgénicas en condiciones normales. A) La figura muestra tres líneas transgénicas (1.22, 8.11 y 1.5) y las plantas control NT a los 60 DAP, bajo condiciones normales de crecimiento. B) Análisis histológico de raíces de la línea 1.22 comparada con la planta NT.

Las raíces de la línea transgénica 1.22 presentaron importantes cambios histológicos respecto a las raíces de las plantas NT. El sistema vascular en la línea transgénica está más desarrollado, presentando mayor número de vasos con paredes más lignificadas con respecto al control (Figura 2B). Además, el

parénquima medular fue más abundante en las líneas transgénicas respecto a las plantas NT (Figura 2B).

Ensayos de tolerancia a estreses abióticos

Se evaluaron ocho líneas transgénicas y la NT, luego de 45 días sin riego. Cabe destacar el comportamiento de la línea 1-22, la cual presentó un mayor desarrollo respecto a la planta control NT durante todo el tratamiento (figura 2A), mientras que la línea 8.11 no creció en altura, pero el follaje se mantuvo con color verde intenso hasta el final del ensayo (datos no mostrados). Asimismo, el % RWC de la planta control fue del 68%, mientras que fue del 86% y 91% para las líneas 1.22 y 8.11, respectivamente.

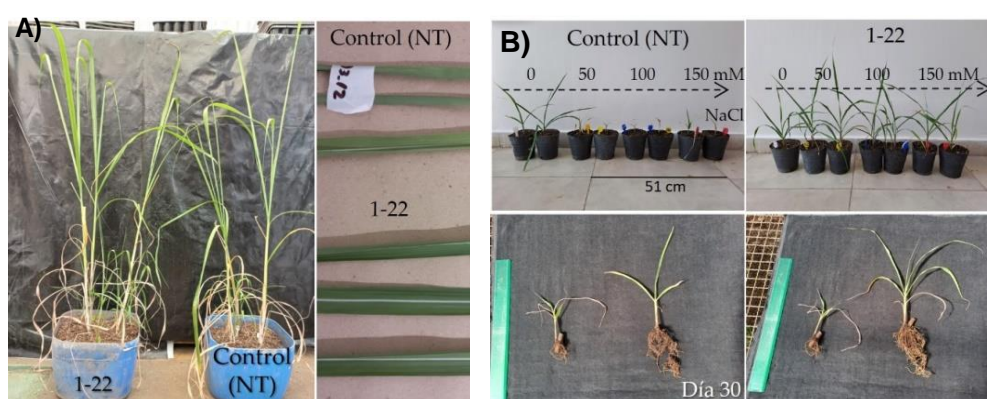


Figura 3. A) Ensayo de tolerancia a sequía.

Evaluación visual de la línea transgénica 1-22 respecto de la planta control NT a los 45 días sin riego. Detalle del acartuchamiento observado en las hojas post tratamiento. B) Ensayo de tolerancia a salinidad. Evaluación visual de la línea 1-22 respecto a la planta control NT luego de 30 días de riego con soluciones de NaCl (0, 50, 100 y 150 mM). Detalle del sistema radicular de la planta control NT 0 mM vs 150 mM y del sistema radicular de la línea 1-22 vs la planta control NT a 150mM de NaCl.

Finalmente, se estudió la tolerancia de 19 líneas transgénicas frente al riego con soluciones de concentraciones crecientes de NaCl. Se observaron distintos grados de tolerancia de las líneas transgénicas respecto a las plantas NT, destacándose la línea 1-22 la cual continuó creciendo durante los 30 días, mientras que las plantas control NT tuvieron dificultades para crecer ante dichas condiciones de alta salinidad.

Conclusiones

- Mediante bombardeo con partículas de oro recubiertas con el vector pAST α se obtuvieron 117 líneas transgénicas *FT* de la variedad TUC 03-12.
- En ensayos de fenotipado en condiciones normales de crecimiento en invernadero, se observaron líneas transgénicas destacadas con mayor IVE, longitud de tallo y sistema radicular, respecto a las plantas NT a los 30 días post plantación.
- En ensayos de fenotipado en condiciones de estrés hídrico y salino se observaron líneas transgénicas con diferentes niveles de tolerancia a dichos estreses.

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
- González, F. G., Capella, M., Ribichich, K. F., Curín, F., Giacomelli, J. I., Ayala, F., ... & Chan, R. L. (2019). Field-grown transgenic wheat expressing the sunflower gene HaHB4 significantly outyields the wild type. *Journal of Experimental Botany*, 70(5), 1669-1681.
- Latchman DS (1997). "Transcription factors: an overview". *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*. 29 (12): 1305–12. doi:10.1016/S1357-2725(97)00085
- 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/tj.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>
- Ribichich K. F., Chiozza M., Ávalos-Britez S., Cabello J. V., Arce A. L., Watson G., ... y Chan R. L. (2020). Successful field performance in warm and dry environments of soybean expressing the sunflower transcription factor HB4. *Journal of Experimental Botany*, 71(10), 3142-3156
- Silva, M. A., Sharma, V., Jifon, J. L. y Da Silva, J. A. G. (2010). Assessment of chlorophyll and leaf relative water content as indicators of drought tolerance on sugarcane initial growth. In *International Society of Sugar Cane Technologists: Proceedings of the XXVIIth Congress, March 7-March 11, 2010, Veracruz, Mexico*. Asociación de Técnicos Azucareros de México, AC (ATAM) & The XXVIIth ISSCT Organising Committee
- Verma K.K., Song X-P., Budeguer F., Nikpay A., Enrique R., Singh M., Zhang B-Q., Wu J-M. y Li Y-R. (2022) Genetic engineering: an efficient approach to mitigating biotic and abiotic stresses in sugarcane cultivation, *Plant Signaling & Behavior*, 17:1, DOI: 10.1080/15592324.2022.2108253

ZONIFICACIÓN DE AMBIENTES BASADA EN LA CARACTERIZACIÓN PRODUCTIVA DEL ÁREA CAÑERA EN LA PROVINCIA DE TUCUMÁN, ARGENTINA

Fandos C.; Scandaliaris P.; Carreras Baldrés J. I. y Soria F. J.
Estación Experimental Agroindustrial "Obispo Colombres"
Avenida William Cross 3150, C.C. N° 9 (T4101XAC), Las Talitas, provincia de Tucumán, Argentina
carminaf@eeaoc.org.ar

Palabras clave: caña de azúcar, teledetección, SIG, análisis multitemporal

Introducción

El área cañera tucumana se concentra principalmente en las regiones de Pedemonte, Llanura Deprimida y Llanura Chacopampeana. En cada una de ellas, las características climáticas, fisiográficas y edáficas son distintas, fuertemente influenciadas por la cadena montañosa que corre de sur a norte, lo que genera diferentes condiciones y aptitudes para el cultivo de caña de azúcar. Una de las variables más importante es el recurso hídrico: los volúmenes precipitados, el número de días con lluvia y la humedad relativa ambiente en general decrecen desde el Oeste (Pedemonte) al Este (Fernández de Ullivarri *et al.*, 2015).

Otro factor muy importante para la producción de caña de azúcar es la ocurrencia de heladas, que pueden provocar pérdidas de azúcar de hasta un 25%, como consecuencia de una reducción de la cantidad y principalmente de la calidad de la materia prima. El nivel de pérdida de azúcar es notablemente diferente entre el Pedemonte, donde hasta se pueden encontrar zonas de escasa probabilidad de heladas, hasta el este, donde ocurren todos los años y con altos grados de severidad (Leggio Neme *et al.*, 2015).

Tanto la importancia del agua en el crecimiento de la caña de azúcar, como la intensidad de los fríos para definir las pérdidas de azúcar, marcan en principio un diferencial en la capacidad productiva entre el oeste y el este, que hizo que la zona cañera tucumana en sus 200 años de actividad se recostara preferencialmente sobre el oeste, tratando de evitar los efectos negativos de períodos de déficit hídrico y de fríos intensos.

La identificación de ambientes de diferente producción en las áreas agrícolas contribuye a la zonificación y a la gestión de prácticas que permiten el tratamiento diferencial de cada zona de acuerdo a las variables que limitan el potencial productivo. La zonificación de áreas agrícolas requiere de la información de distintas campañas, la cual puede ser obtenida rápidamente mediante el uso de la teledetección y los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Es así que el uso combinado de la teledetección y los SIG presentan gran potencial para la zonificación de cultivos de caña de azúcar. A nivel local, Fandos *et al.* (2022 y 2023) realizaron una zonificación del área cañera tucumana, según niveles de producción, utilizando un análisis multitemporal de imágenes categorizadas aplicando técnicas de SIG.

El objetivo del trabajo fue actualizar la zonificación del área cañera tucumana según niveles de producción considerando el período 2011 – 2024 y relacionar esta zonificación con las regiones agroecológicas de Tucumán.

Materiales y métodos

El área de estudio es la región cultivada con caña de azúcar en la provincia de Tucumán, que se concentra principalmente en las regiones de Pedemonte, Llanura Deprimida y Llanura Chacopampeana. Figura 1.

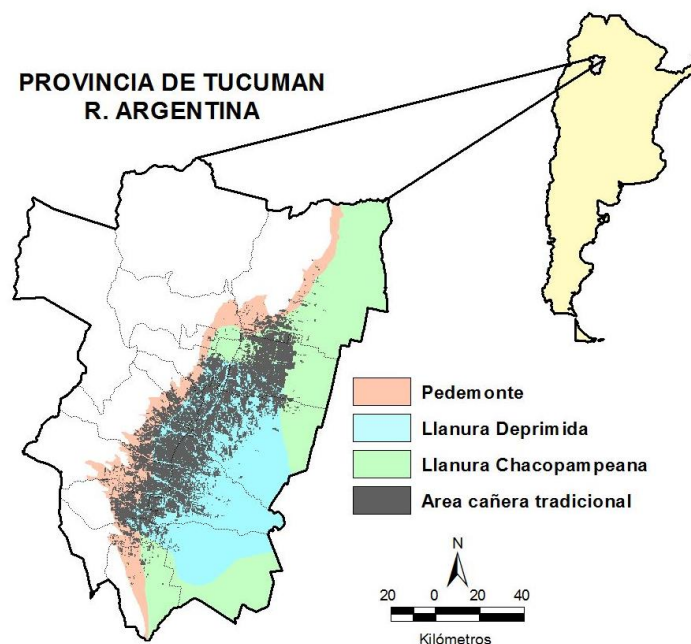


Figura 1. Situación relativa del área de estudio

Se realizó un análisis multitemporal de imágenes categorizadas (Chuvieco, 2008), aplicando técnicas de SIG. Las coberturas temáticas utilizadas como base fueron las clasificaciones de caña de azúcar según niveles de producción, obtenidas para los años 2011, 2013, 2016, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024. Dichas capas temáticas fueron generadas a partir de clasificaciones multiespectrales de imágenes satelitales Landsat 5 TM, 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.

Las capas de clasificaciones de la caña de azúcar contenían tres categorías, según el rendimiento cultural: bajo, medio y alto. En el análisis, a los píxeles correspondientes a los niveles bajo, medio y alto se les asignaron valores de 1, 10 y 100, respectivamente. Para la zonificación del área de caña, se consideraron tres zonas de producción: baja, intermedia y alta; y la asignación de clases a cada zona se hizo considerando el valor más alto, según se ubicara en la unidad, decena o centena. Las clases sin predominio de valores se asignaron priorizando el nivel de producción más bajo.

Posteriormente, se superpusieron las coberturas de zonas de producción, con la correspondiente a regiones agrológicas de la provincia de Tucumán y con la cobertura de departamentos de la provincia.

Se utilizaron los software ERDAS Imagine, versión 8.4. y QGIS versión 3.16.9.

Resultados

Los resultados indican que el 48% del área cañera correspondió a zonas de producción baja, el 50% a zonas de producción intermedia y el 2% restante a zonas de producción alta. La información obtenida indica una leve mejora en

relación a la zonificación productiva que abarcaba el período 2011-2020 (Fandos *et al.*, 2022).

En la Figura 2, se expone la zonificación del área cañera según niveles productivos a nivel departamental. El análisis de los valores porcentuales de las zonas de producción baja revela que los departamentos Lules, Cruz Alta, Burruyacu y J. B. Alberdi presentan los menores porcentajes, con valores cercanos al 40%. En contraste, Simoca y Monteros resaltan por presentar los mayores valores (próximos al 60% en cada caso). El resto de los departamentos presenta valores intermedios.

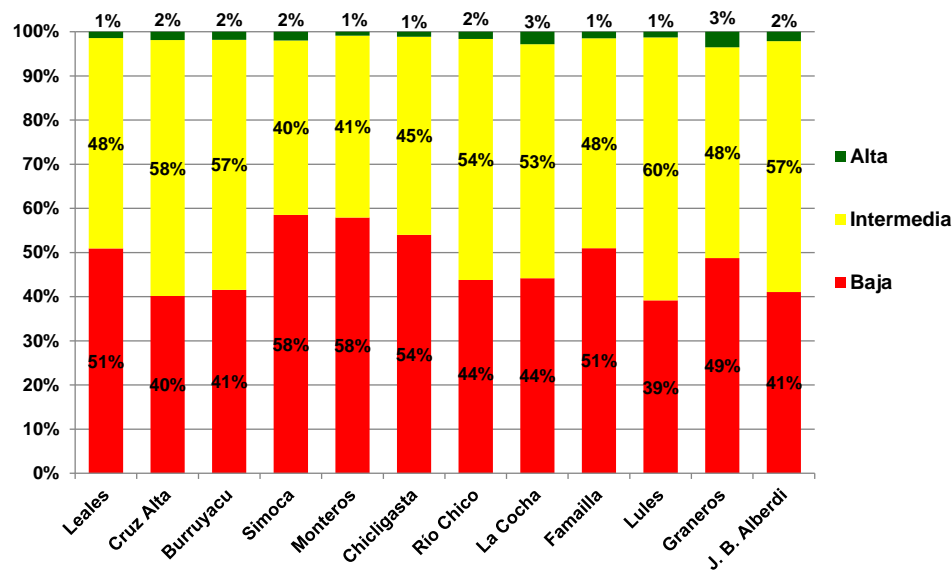


Figura 2. Zonas de producción de caña de azúcar, por departamentos, en porcentaje. Análisis del período 2011-2024. Tucumán. Argentina.

La distribución espacial de las zonas de producción según regiones agrológicas se muestra en la Figura 3.

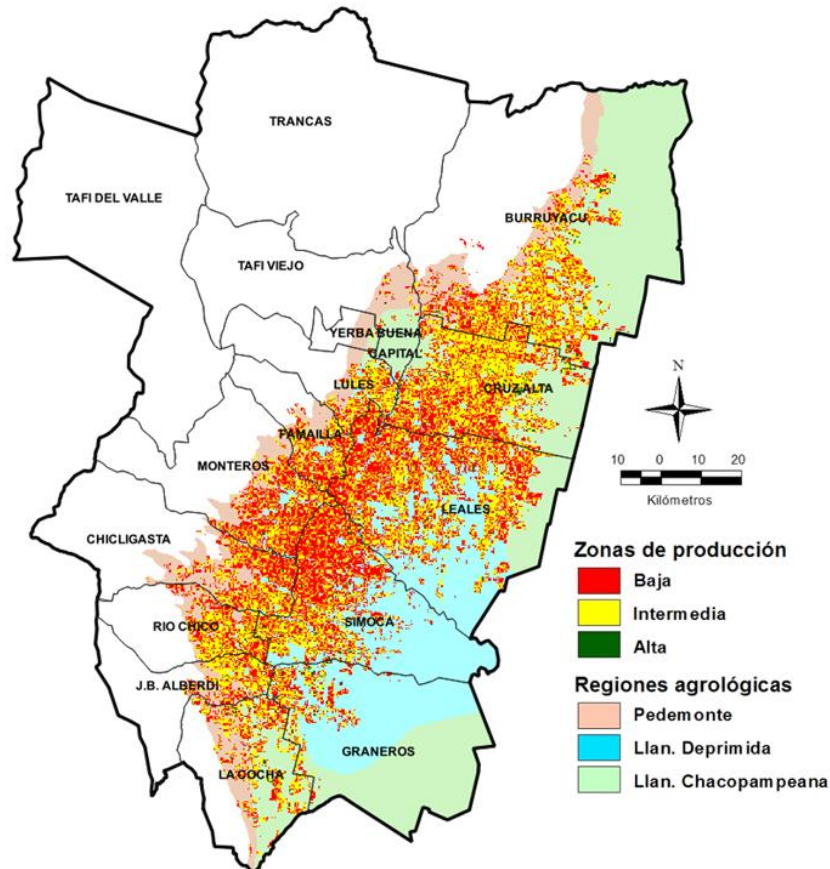


Figura 3. Distribución espacial de las zonas de producción de caña de azúcar según regiones agrológicas. Análisis del período 2011-2024. Tucumán. Argentina.

El análisis de las zonas de producción baja muestra que si bien las mismas se presentan en toda el área cañera, se constata un predominio en el sector central de la Llanura Deprimida, y pueden estar asociadas a la presencia de una capa freática relativamente cercana a la superficie del suelo que carece, en el sector oriental, de la falta de una red de drenaje definida. Esta combinación lleva a la acumulación de excesos hídricos que perjudican la calidad productiva del suelo (Sanzano, 2019). En la Llanura Chacopampeana las bajas producciones podrían estar asociadas al déficit hídrico creciente hacia el este y a la baja estabilidad estructural de los suelos, que genera condiciones para escurrimientos superficiales que ocasionan procesos de erosión hídrica de distinto grado. En la región pedemontana, las bajas producciones podrían estar relacionadas con la falta de manejo adecuado que permita atenuar los efectos negativos derivados de la torrencialidad de las lluvias, que al sumarse a las fuertes pendientes y suelos con baja capacidad de retención de agua, generan pérdidas de suelo por erosión hídrica (Sanzano, 2019).

Con respecto a las zonas de producción intermedia y alta resalta su predominio en la región de la Llanura Chacopampeana, sector norte y sur de la Llanura Deprimida y sector sur del Pedemonte.

En el análisis es importante considerar el proceso de expansión del cultivo de caña en el área granera en las últimas dos décadas (Fandos *et al.*, 2020), hacia los sectores norte, este y sur del área tradicionalmente dedicada a cultivos de caña (mayormente en la región de la Llanura Chacopampeana) que coincide con

zonas que presentan mayores probabilidades de ocurrencia de heladas y menores milimetrajes de lluvia.

La alta frecuencia de zonas con producción intermedia y alta en el área de expansión contradicen la teoría de que las condiciones meteorológicas no serían las más apropiadas para el logro de altas producciones de caña de azúcar. La explicación podría basarse en el hecho de que en el rendimiento de la mayoría de los cañaverales tucumanos, además de los aspectos físicos y químicos del suelo, tienen una gran influencia los aspectos referidos al manejo del cultivo (el cual está condicionado, a la vez, por el tamaño de las parcelas y el régimen de tenencia de la tierra), el que en algunos casos permite subsanar las limitaciones fisiográficas y edáficas; y en otros, desaprovechar buenos ambientes para el cultivo de caña de azúcar. Otro factor a considerar son las nuevas tecnologías de producción, como la cosecha de la caña en verde y el manejo del cañaveral con residuos de cosecha, que han demostrado tener un impacto importante en el nivel productivo, especialmente en las áreas de menor disponibilidad de agua (Fernández de Ullivarri *et al.*, 2021). Adicionalmente, la incorporación del sistema mecánico de cosecha ha posibilitado la priorización de la cosecha en las áreas con mayor presencia e incidencia del frío sobre la calidad de la materia prima.

Por último cabe mencionar que en el área cañera de expansión predominan productores medianos y grandes que aplican máximos niveles de tecnología en el manejo y cosecha del cañaveral. En este sentido, se destaca que las zonas de producción intermedia y alta coinciden mayormente con departamentos que incluyen productores o empresas cañeras de mayor escala económica y de base productiva diversificada (Benedetti *et al.*, 2019), con poder negociador en el mercado. Mientras que en la zona cañera tradicional un porcentaje importante lo manejan productores chicos; principalmente en el sector central de la Llanura deprimida, coincidente con la zona del minifundio cañero caracterizado en general por una baja tecnología, mano de obra familiar (Santillán *et al.*, 2012) y alta concentración de quema de cañaverales (Carreras Baldrés *et al.*, 2021).

Conclusiones

Alrededor del 48% del área cañera correspondió a zonas de producción baja, el 50% a zonas de producción intermedia y el 2% restante a zonas de producción alta, lo que indica una leve mejora en relación a la zonificación que abarcaba el período 2011-2020.

El análisis de los valores porcentuales a nivel departamental revela las mejores condiciones de los departamentos Lules, Cruz Alta, Burruyacu y J. B. Alberdi, puesto que las zonas de producción intermedia y alta suman en conjunto alrededor del 60% en cada caso. En contraste, Simoca y Monteros resaltaron por presentar los mayores valores de zonas de producción baja (próximos al 60%).

La expansión de los cañaverales en los últimos años se realizó hacia el norte, este y sur del área cañera tradicional, abarcando mayormente la región agrologica de la Llanura Chacopampeana (principalmente en el departamento Burruyacu) y en menor medida, la Llanura Deprimida y el Pedemonte. Las condiciones ambientales en la zona de expansión, permitían presuponer menores rendimientos que en el área cañera tradicional. Sin embargo se constataron altas concentraciones de zonas de producción intermedia y alta en dichas áreas, lo que puso de manifiesto que el manejo adecuado del cultivo es un factor de gran incidencia en los rindes de los cañaverales.

Los mapas temáticos generados facilitan la identificación de zonas con diferentes niveles de producción, lo que constituye una herramienta de gran utilidad para la elección de las prácticas agrícolas más adecuadas que aporten a la sustentabilidad del sistema productivo cañero. Por otra parte, sirven de base para análisis posteriores que incluyan otras variables de tipo ambiental, agronómico o económico.

Bibliografía citada

- Benedetti, P. E.; C. del C. Morales y R. A. Moreno. 2019. Dinámica de plantación de caña de azúcar y rotación de cultivos a partir de sensores remotos, campaña 2018-2019. Ediciones INTA. Tucumán. 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).
- Carreras Baldrés, J. I.; Fandos, C.; Soria, F.; Scandaliaris, P. y Fernández de Ulivarri. 2021. Monitoreo satelital de la quema de cañaverales en la provincia de Tucumán, R. Argentina, durante el período 2013-2020. Actas XIX Simposio Internacional SELPER. Chile.
- Chuvienco, E. 2008. Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio (3 ed.). (Planeta, Ed.). Barcelona, España.
- Fandos C., Soria, F. J.; Scandaliaris, P.; Carreras Baldrés, J.I. y Devani, M. R. 2020. Expansión del cultivo de caña de azúcar sobre el área granera tucumana en el período 2006-2020. Avance Agroindustrial 41 (4) 32-34. Disponible en <https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=expansion-del-cultivo-de-cana-de-azucar-sobre-el-area-granera-tucumana-en-el-periodo-2006-2020> (consultado 15 enero 2021).
- Fandos, C.; F. J. Soria, P. Scandaliaris y J. I. Carreras Baldrés. 2022. Zonificación del área cañera tucumana según niveles de producción y relación con las regiones agrológicas y el índice de productividad de los suelos. Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán 99 (1): 21-27.
- Fandos, C.; F. J. Soria; P. Scandaliaris; J. I. Carreras Baldrés and E. R. Romero. 2023. Comparative analysis of the production levels in the traditional and expanding sugarcane areas in Tucumán Province, Argentina. Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists, 31 (111-117).
- Fernández de Ulivarri, J.; Tonatto M., Romero E. R.; Scandaliaris J.; Leggio Neme F.; Alonso L. G, et al. 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.
- Fernández de Ulivarri, J; M. Medina; A. Criado; L. Tortora; E. R. Romero y P. A. Digonzelli. 2021. Análisis de la temperatura y humedad del suelo y rendimiento cultural en dos sistemas de manejo del cañaveral en Tucumán. Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán 98 (1): 13-20.
- Leggio Neme M.F.; Romero, E. R.; Digonzelli P; Giardina, J; Fernández de Ulivarri, J.; Tonatto, J. et al. 2015. Capítulo B5: Heladas. En: Guía técnica del cañero. Digonzelli, P. A., Romero, E. R.; y Scandaliaris J. (eds.). EEAOC.
- Santillán, J.; E. Scala; B. Nestasio; I. Valdez; J. Perea y S. Bas Nahas. 2012. Plan de Desarrollo Territorial de Tucumán. Boletín electrónico [En línea] Disponible en [https:// www.rides.producciontucuman.gov.ar](https://www.rides.producciontucuman.gov.ar) (consultado febrero 10 de 2014)).

Sanzano, A. 2019. Suelos productivos de Tucumán, buenas prácticas. Avance Agroindustrial. 40 (1) 30-40. Disponible en <https://www.eeaoc.gob.ar/wp-content/uploads/2019/06/avance40-1-suelos-productivos-de-tucuman.pdf> (consultado 15 enero 2021).

IMPACTO DEL CULTIVO DE SOJA COMO ANTECESOR Y DE LA EDAD DE LOS CAÑAVERALES EN LOS NIVELES DE PRODUCCIÓN DE CAÑA. TUCUMAN, ARGENTINA, ZAFRA 2023

Fandos C.; Scandaliaris P.; Carreras Baldrés J. I. y Soria F. J.
Estación Experimental Agroindustrial "Obispo Colombres"
Avenida William Cross 3150, C.C. N° 9 (T4101XAC), Las Talitas, provincia de Tucumán, Argentina
carminaf@eeaoc.org.ar

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

Introducción

La rotación con soja se realiza para 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. Una problemática importante en los cultivos de caña de azúcar es la infestación con malezas perennes, por lo que se recomienda la rotación con otros cultivos o barbechos químicos. En el caso de rotaciones, se puede alternar el lote con variedades de soja resistentes al glifosato para usar dicho herbicida sin problemas de toxicidad (Figueroa *et al.*, 2006; Digonzelli *et al.*, 2009).

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 entre 20% a 30% en el primer y segundo corte.

En la provincia de Tucumán se destacan diversas publicaciones que analizan rotaciones de cultivos dentro del sistema cañero utilizando metodologías de teledetección y SIG, entre las que se pueden citar a Benedetti *et al.* (2019) y Fandos *et al.* (2021) y (2022). El sucesivo cultivo de caña de azúcar dificulta la identificación de las renovaciones en los cañaverales mediante imágenes satelitales. Sin embargo, cuando los cultivos de caña son rotados con otros cultivos o intercalados con períodos de barbecho, se facilita la identificación de las renovaciones o las nuevas plantaciones de cañaverales. Además, posibilita la diferenciación de las edades en los lotes cañeros. Fandos *et al.*, (2019), (2022) y (2023a) analizaron la dinámica de la rotación soja/caña y diferenciaron edades en los cañaverales con antecesor soja en el área cañera tucumana.

Por otra parte, la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) realiza anualmente la estimación de la producción de caña de azúcar en Tucumán, mediante el procesamiento de imágenes satelitales, y a partir de la información de campo. En Fandos *et al.*, 2023b se informa sobre los niveles productivos para la zafra 2023.

El objetivo del trabajo fue relacionar el mapa de edades de los cañaverales en la zafra 2023 que tuvieron como cultivo antecesor al menos una vez soja entre los años 2016 y 2022, con los niveles de producción de caña de azúcar. Esto podría considerarse una herramienta que contribuye a la sustentabilidad del sistema productivo cañero en la provincia de Tucumán.

Materiales y métodos

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

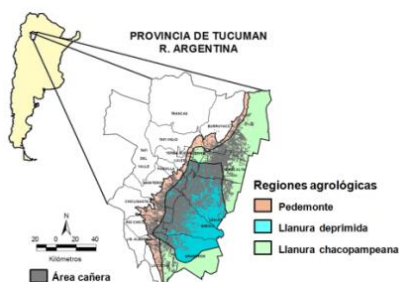


Figura 1. Situación relativa del área de estudio

Se realizó un análisis de coberturas temáticas, aplicando técnicas de SIG. Se tomaron como base la capa temática de caña azúcar según niveles de producción obtenida para la zafra 2023 (Fandos *et al*, 2023b) y la de edades de los cañaverales con cultivo antecesor soja en la zafra 2023 (Fandos *et al*, 2023a). Dichas coberturas fueron generadas a partir del procesamiento 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.

La capa de caña según niveles de producción contenía tres categorías considerando el rendimiento cultural: bajo (menor a 56 t/ha), medio (entre 56 y 75 t/ha) y alto (mayor a 76 t/ha).

La cobertura correspondiente a edades del cañaveral fue el resultado de integrar las capas de caña azúcar adquiridas entre los años 2017 a 2023 y las de soja del período 2016-2022. A cada cobertura correspondiente a caña se le superpuso la capa de cultivos de soja del año anterior, dicho proceso se repitió para todas las zafra en estudio. Luego se agruparon las coberturas de caña con antecesor soja en la serie analizada. Seguidamente la capa resumen de caña con antecesor soja fue superpuesta a la cobertura correspondiente a la caña 2023, lo que permitió la diferenciación de edades, desde caña planta a soca 6. Dicha capa resumen presentaba cuatro categorías correspondiente a cuatro rangos de edades: caña planta, socas 1 a 3, socas 4 a 5 y soca 6 (Figura 2). Se constata que la mayor proporción de superficie con cañaverales con cultivo antecesor soja se concentró en los departamentos Burruyacu, Cruz Alta y Leales, localizados en el norte y este del área cañera.

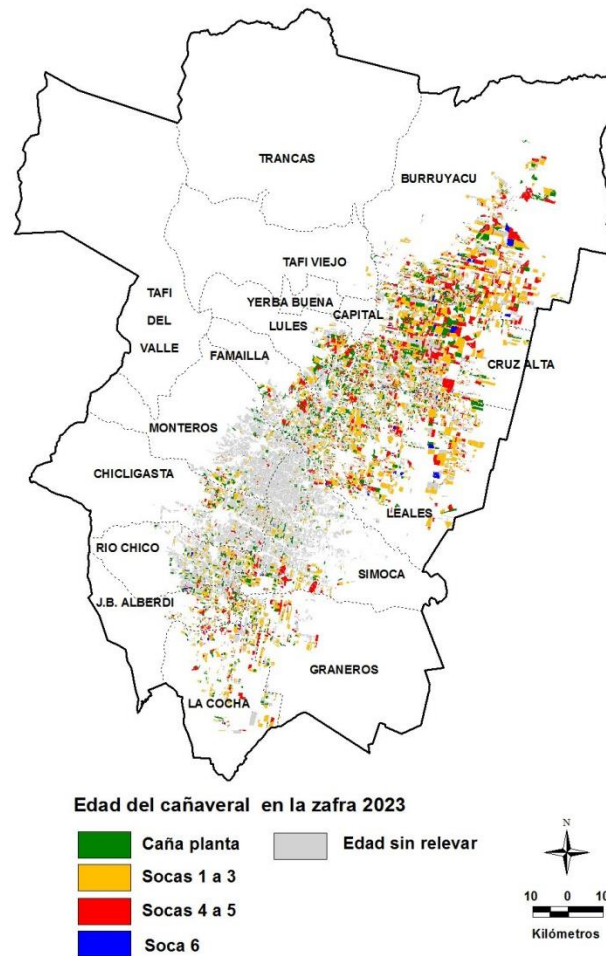


Figura 2. Distribución espacial de la superficie con caña de azúcar, diferenciada por edades agrupadas en cañaverales con cultivo antecesor soja.

Zafra 2023, Tucumán. Argentina. Fuente: Fandos *et al.*, 2023a

Para el presente trabajo se integraron mediante análisis SIG, las coberturas temáticas de caña según niveles productivos y edad del cañaveral con cultivo antecesor soja.

Se utilizaron los software ERDAS Imagine, versión 8.4. y QGIS versión 3.16.9.

Resultados

El 51% del área cañera disponible para la zafra 2023 en Tucumán fue sembrada con soja, al menos en una zafra, entre los años 2016 y 2022. En la Figura 3 se expone la superficie cañera disponible para la zafra 2023, diferenciada según presencia o ausencia del cultivo antecesor soja en algún año del período 2016-2022 y según niveles de producción.

La Figura 4 muestra la información de edades del cañaveral con cultivo antecesor soja diferenciada según niveles de producción, mientras que la Figura 5 exhibe su distribución espacial. Se muestra un detalle de los sectores norte y este del área cañera, donde la práctica de rotación con soja presenta mayor frecuencia.

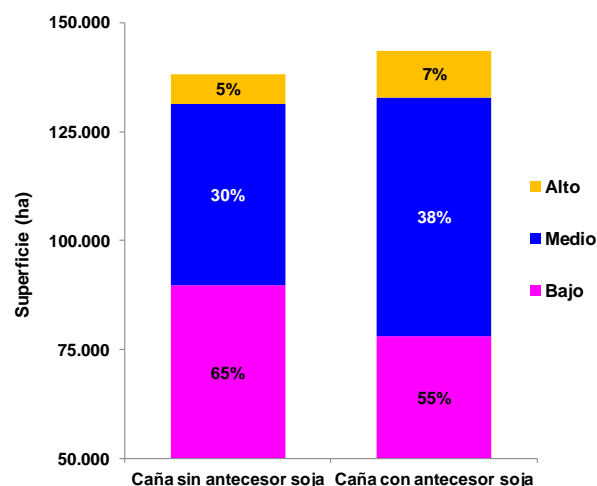


Figura 3: Superficie con caña de azúcar en la zafra 2023 según presencia o ausencia de soja como cultivo antecesor en algún año del periodo 2016-2022, diferenciada por niveles de producción. Tucumán. Argentina.

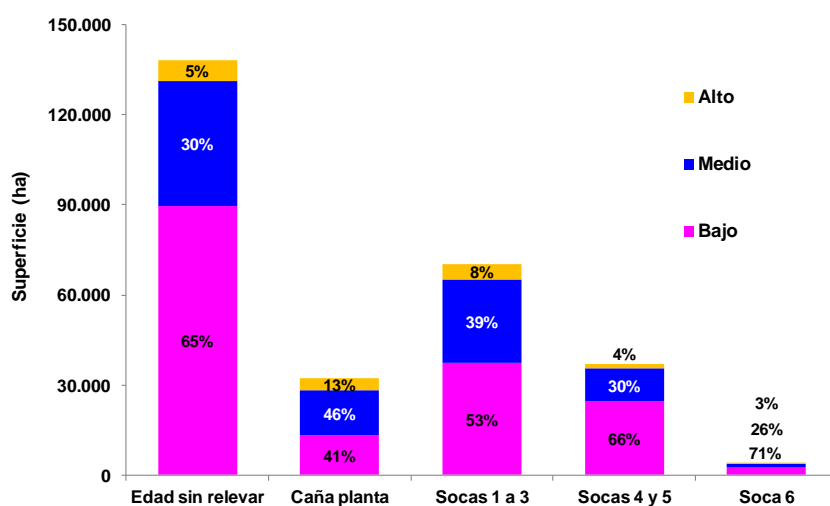
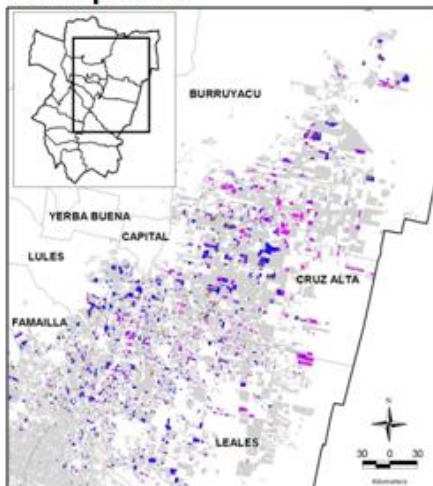


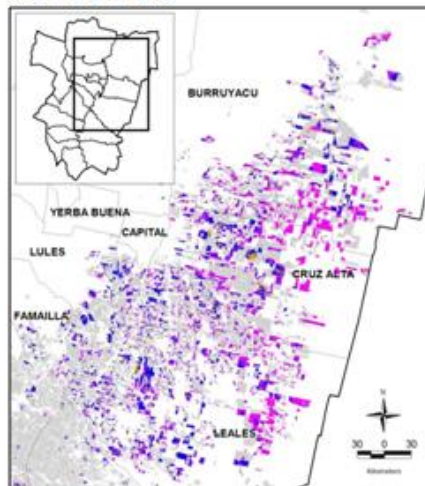
Figura 4: Superficie con caña de azúcar en la zafra 2023 según edad del cañaveral con cultivo antecesor soja en algún año del periodo 2016-2022, diferenciada por niveles de producción. Tucumán. Argentina.

CAÑAVERALES CON ANTECESOR SOJA - ZAFRA 2023

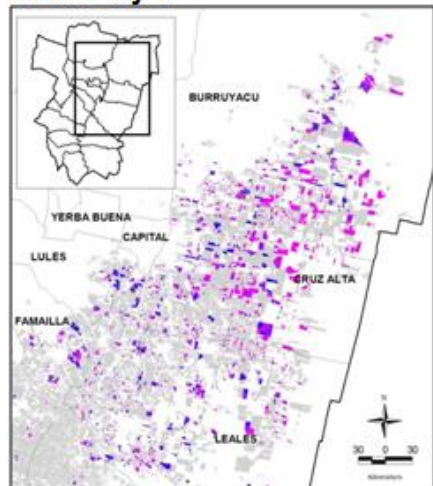
Caña planta



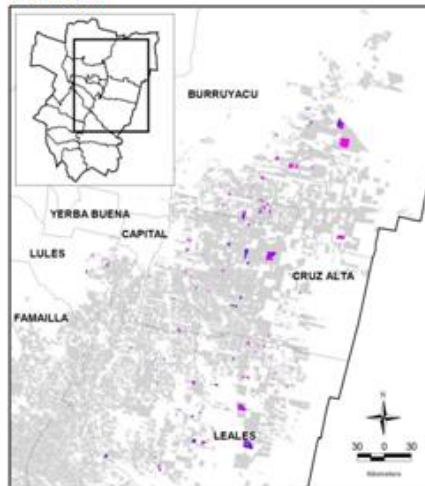
Socas 1 a 3



Socas 4 y 5



Soca 6



Niveles de producción



Área cañera 2023

Figura 5: Distribución espacial de la superficie con caña de azúcar en la zafra 2023 sobre cultivo antecesor soja diferenciada según edad y niveles de producción.

Tucumán. Argentina.

La distribución espacial de la información integrada de edades y niveles de producción en los departamentos con mayor superficie cañera en rotación con soja (Burruyacu, Cruz Alta y Leales), evidenció en general un predominio de lotes de nivel de producción bajo hacia la zona oriental del área cañera de dichos departamentos.

Conclusiones

La metodología usada en el trabajo contribuyó a la identificación de zonas de diferentes edades y productividad del cañaveral. Se constató una mayor proporción de niveles de rendimiento medio y alto en los cañaverales con antecesor soja (45% entre ambos). Dicha sumatoria alcanzó sólo el 35% en los lotes cañeros sin antecesor soja.

El análisis de la información de edades del cañaveral con cultivo antecesor soja mostró un predominio del rango de edades de socas 1 a 3, seguido por el rango de socas 4 a 5, caña planta, y muy por debajo, soca 6.

La integración de la información de edades y los niveles de producción reveló para la edad de caña planta el mayor porcentaje de niveles de producción medio más alto (59%), seguido por el rango de socas 1 a 3 (47%), socas 4 a 5 (34%) y soca 6 (29%).

La metodología empleada constituye una herramienta de gran utilidad para la elección de las prácticas agrícolas más adecuadas que aporten a la sustentabilidad del sistema productivo cañero. Además, pueden servir de base para análisis posteriores que incluyan otras variables de tipo ambiental, agronómico o económico.

Bibliografía citada

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.

Digoncelli, 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.; F. J. Soria; P. Scandaliaris; J. I. Carreras Baldrés; E. R. Romero y J. Scandaliaris. 2019. Uso de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica para la diferenciación de edades en cañaverales. Tucumán, R. Argentina. Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán 96 (2). 37-45.

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.; P. Scandaliaris; J.I. Carreras Baldrés y F. Soria. 2022. Estudio del cultivo de soja como antecesor del cultivo de caña de azúcar en Tucumán. Periodo considerado: 2018-2022. 2022. Actas XXII Reunión Técnica SATCA. Tucumán.

Fandos C.; P. Scandaliaris; J. Carreras Baldrés y F. Soria. 2023a. Zafra 2023: diferenciación de edades en cañaverales tucumanos con cultivo antecesor soja. [En línea] Boletín electrónico (292). Disponible en <https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=zafra-2023-diferenciacion-de-edades-en-canaverales-tucumanos-con-cultivo-antecesor-soja> (consultado 28 diciembre 2023).

Fandos, C.; J. Scandaliaris; P. Scandaliaris; J. I. Carreras Baldrés y F. J. Soria. 2023b. Área cosechable y producción de caña de azúcar y azúcar para la zafra 2023 en Tucumán. [En línea] Boletín electrónico (278). Disponible en

<https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=area-cosechable-y-produccion-de-cana-de-azucar-para-la-zafra-2023-en-tucuman> (consultado 30 junio 2023).

Figuerola, R.; 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. Boletín electrónico. [En línea]. www.inta.gov.ar (consultado 17 mayo 2017).

REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS DE COSECHA DE CAÑA DE AZÚCAR POR EXTRACTOR PRIMARIO EN LA PROVINCIA DE TUCUMÁN, ARGENTINA

Fernández de Ullivarri, J.; Leggio Neme, M.F.; Sorol, N.; Casen, S.D.; Romero, E.R. y Tonatto, M.J.

Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres. William Cross 3510. Las Talitas – Tucumán, Argentina. jullivarri@eeaoc.org.ar

Palabras clave: balance de masas; Smart Clean; cosecha mecánica; materia extraña.

INTRODUCCIÓN

La cosecha mecánica de caña de azúcar es una tendencia que se extiende en todas las regiones cañeras del mundo. En nuestra provincia el 98,4 % de los cañaverales se cosechan con cosechadoras mecánicas integrales. Este sistema permite mayor velocidad y reducción de costos, pero tiene asociado mayores pérdidas y niveles de materia extraña, sobre todo si no existe un control específico sobre la misma.

Uno de los desafíos más importantes que tiene la cosecha mecánica es encontrar una configuración adecuada 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)

Las condiciones del cañaveral, las variedades y las condiciones ambientales durante la cosecha pueden generar altos niveles de materia extraña que se llevan al ingenio. Esto a su vez disminuye la densidad de carga y aumenta los costos de transporte, por lo que la estrategia intuitiva es aumentar la velocidad del extractor primario para intentar reducir los niveles de materia extraña, lo cual, puede resultar en altos niveles de pérdidas de materia prima con muy poca mejora en la limpieza (Whiteing *et al.*, 2001).

En Australia se estima que se pierde más de un 10 % de la caña cosechada a través del sistema de limpieza de las cosechadoras, lo que significan unos 50 millones de dólares al año (McCarthy *et al.*, 2000).

OBJETIVO

El objetivo de este trabajo fue Cuantificar las pérdidas de caña de azúcar asociadas al extractor primario en campos cosechados en verde mediante la aplicación del método de balance de masas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se llevaron a cabo dos ensayos en diferentes localidades y con diferentes variedades durante 2023. El Ensayo 1 se llevó a cabo el 23 de agosto de 2023 la localidad de San José de Flores, departamento Monteros, Provincia de Tucumán, Argentina (27° 9'56.67"S 65°24'35.42"O). La variedad utilizada fue LCP 85-384 y la cosecha se realizó con una John Deere CH570. El Ensayo 2 se realizó el 11 de septiembre de 2023 en la localidad de Los Aguirre, departamento Lules, Provincia de Tucumán, Argentina (26°55'18.16"S 65°13'46.20"O) La variedad cosechada fue TUC 95-10 y la cosecha se llevó a cabo con una John Deere CH570.

El método utilizado para evaluar las pérdidas es un método indirecto denominado "Balance de Masas", en el cual se utilizan diferentes configuraciones de las máquinas (por ejemplo velocidad de extractor, largo de

troceado o velocidad de avance) y se comparan los resultados de las distintas configuraciones utilizadas. La diferencia entre el rendimiento de caña cosechada con las diferentes configuraciones, resultan equivalentes a las pérdidas ocasionadas por esa variable. En el caso de los ensayos presentados en este trabajo, las diferentes configuraciones estaban dadas por la velocidad del extractor primario, mientras los otros parámetros permanecían constantes. Para la determinación de los rendimientos se utilizó el monitor de rendimiento de las cosechadoras John Deere denominado Harvest Monitor™ y se evaluó un sensor de pérdidas denominado Smart Clean™ montado en la cosechadora, que regula automáticamente la velocidad del extractor primario según detecte mayores o menores pérdidas.

Los tratamientos evaluados en ambos ensayos fueron a) cosecha en verde con extractor a 750 r.p.m. (E750); b) cosecha en verde con extractor a 930 r.p.m. (E930) y c) Cosecha en verde con el sensor Smart Clean™ activado (SC).

En el ensayo 1 se realizaron 4 repeticiones por tratamiento y de cada repetición se tomaron 3 muestras del autovuelco cargado para determinar materia extraña. En el ensayo 2 se realizaron 3 repeticiones y se tomaron 3 muestras de cada autovuelco para determinar materia extraña. En este ensayo también se utilizaron estas muestras para determinar pol% caña por método de digestión húmeda en el laboratorio de la EEAOC. En este método se procesa la muestra tal como sale de cosechadora (incluida materia extraña) y permite determinar el contenido de pol % caña de forma directa, sin factores de corrección de fábrica (Sorol *et al.*, 2024)

El procesamiento de los datos se efectuó mediante el paquete estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2020) utilizando un análisis de la varianza con efectos fijos y las comparaciones de medias se realizaron mediante la prueba LSD Fisher al 5 % de probabilidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayo 1

En la Figura 1 se observa el rendimiento en toneladas por hectárea obtenido en cada uno de los tratamientos evaluados, discriminado entre tallos molibles, despunte y hojas. El rendimiento neto (tallos molibles) en el tratamiento E750 fue significativamente mayor al obtenido en el tratamiento E930 (11,1 t/ha de diferencia). El tratamiento E750 también obtuvo 5,8 t/ha más que SC, aunque en este caso las diferencias no tuvieron significación estadística. Por su lado, el tratamiento SC superó en 5,3 t/ha a E930, pero sin encontrarse diferencias significativas entre ambos.

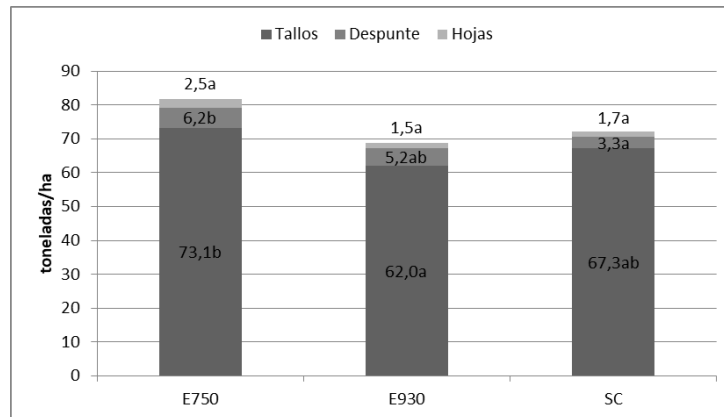


Figura 1. Composición de la caña bruta cargada en cada tratamiento con las distintas configuraciones de las cosechadoras. San José de Flores, Tucumán, Argentina. Letras distintas indican diferencias significativas (LSD Fisher $p < 0,05$)

Esto implica que al pasar las vueltas del extractor primario de 930 r.p.m. a 750 r.p.m. se obtuvo un 15,2 % más de rendimiento neto. Entre el tratamiento E750 y SC la diferencia fue de 8 % a favor de E750. SC por su parte, obtuvo un 7,9 % más de rendimiento que E930.

Respecto a la materia extraña, el despunte se diferencia significativamente en el tratamiento SC respecto a E750, y en hojas no se vieron diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos. La materia extraña total en el tratamiento E750, expresada como porcentaje, fue de 10,8 % (de los cuales 7,8 % son de despunte y 3,0 % son de hojas). En el tratamiento E930, la materia extraña en % fue del 9,9 % (7,7 % de despunte y 2,2 % de hojas), mientras que en SC fue del 6,9 % (4,6 % despunte y 2,3 % de hojas). En estos términos y teniendo en cuenta que el extractor primario no resulta eficiente para eliminar el despunte, al pasar de una velocidad de extractor de 750 r.p.m. a una de 930 r.p.m., solo se logró disminuir la materia extraña en un 0,9 % o 1,86 t/ha. Entre el tratamiento E750 y SC la diferencia fue mayor y es principalmente explicada por el despunte, que resultó significativamente menor que en E750, obteniéndose en el tratamiento SC, 3,9 % menos de materia extraña que E750 o 3,6 t/ha.

Al elevar la velocidad del extractor de 750 a 930 r.p.m., en este ensayo, se perdieron 6033 kg de tallos limpios por cada 1000 kg de materia extraña que se logró eliminar.

Ensayo 2

En el ensayo 2, tanto el tratamiento E750 como el SC, se diferenciaron significativamente del E930 en el rendimiento neto o toneladas de tallos molibles por hectárea. En este ensayo, SC obtuvo 8,8 t/ha más que E930 y 3,3 t/ha más que E750, aunque en este último caso, sin diferenciarse estadísticamente. Por su parte, E750 obtuvo 5,5 t/ha más que E930. De esta forma, al utilizar el sensor Smart Clean™ se obtuvo un 10,6 % más de tallos molibles que utilizando el extractor a 930 r.p.m. Al utilizar la velocidad fija de 750 r.p.m. se obtuvo un 6,9 % más de tallos molibles que en la máxima velocidad.

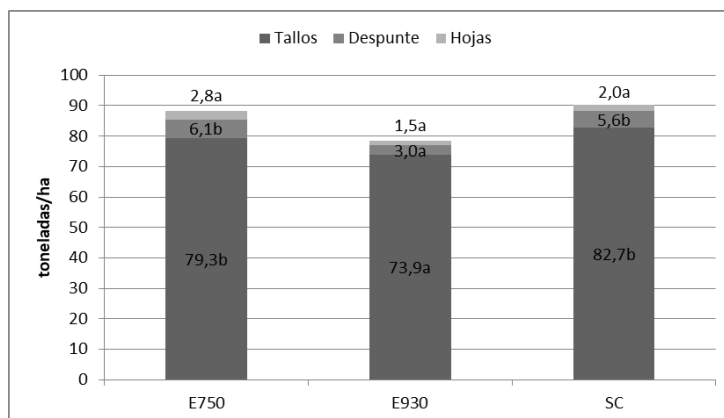


Figura 2. Composición de la caña bruta cargada en cada tratamiento con las distintas configuraciones de las cosechadoras. Los Aguirre, Tucumán, Argentina. Letras distintas indican diferencias significativas (LSD Fisher $p < 0,05$)

En este caso, el despunte se diferenció significativamente en el tratamiento E930, respecto de E750 y SC. Al igual que en el ensayo anterior, la cantidad de hojas no se diferenciaron significativamente, aunque se muestra una mayor cantidad de hojas en E750.

La materia extraña total en E750 fue, expresada en %, del 7,4 % (4,9 % de despunte y 2,5 % de hojas), en E930 fue del 4,7% (3,5 % de despunte y 1,2 % de hojas) mientras que en SC fue del 5,2 % (3,4 % de despunte y 1,8 % de hojas). En este caso, al pasar de 750 a 930 r.p.m. se logró disminuir la materia extraña en 2,7 % o 4,4 t/ha. Entre SC y E930 la diferencia fue de 0,5 % o 3,1 t/ha.

En este ensayo, al elevar las vueltas del extractor de 750 a 930 r.p.m., por cada 1000 kg de materia extraña eliminada, se perdieron 1244 kg de tallos molibles. Sin embargo, al pasar de SC a E930, por cada 1000 kg de materia extraña eliminada, se perdieron 2866 kg de tallos molibles.

En este ensayo se tomaron muestras de la caña cosechada para analizar el pol % caña de cada una de las configuraciones de la máquina y los resultados se muestran en la Figura 3. El tratamiento E750 se diferenció significativamente de los tratamientos E930 y SC, obteniendo aproximadamente un punto menos de pol % caña. Entre SC y E930 la diferencia fue mínima y sin significación estadística.

Relacionando los valores de pol % caña con el rendimiento neto, se obtienen las toneladas de azúcar producida por hectárea (TAH) (Figura 4). El tratamiento SC se diferencia significativamente de E750 y E930. En este ensayo SC obtuvo 9,9 % más de azúcar que E930 y 8,7 % más de azúcar por hectárea que E750, lo que equivale a 27,2 y 24 bolsas de azúcar respectivamente.

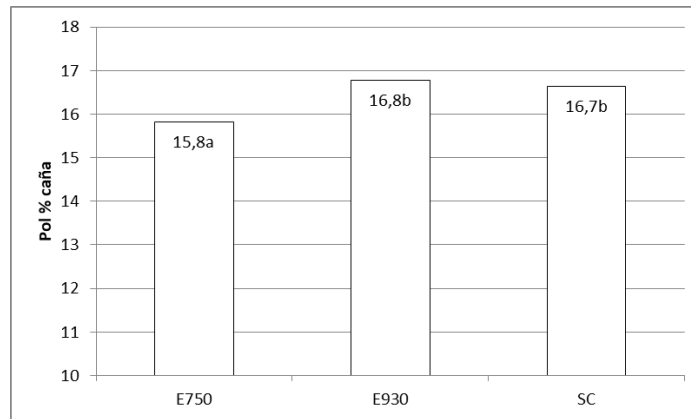


Figura 3. Pol % caña para cada tratamiento evaluado. Los Aguirre, Tucumán, Argentina. Letras distintas indican diferencias significativas (LSD Fisher $p < 0,05$)

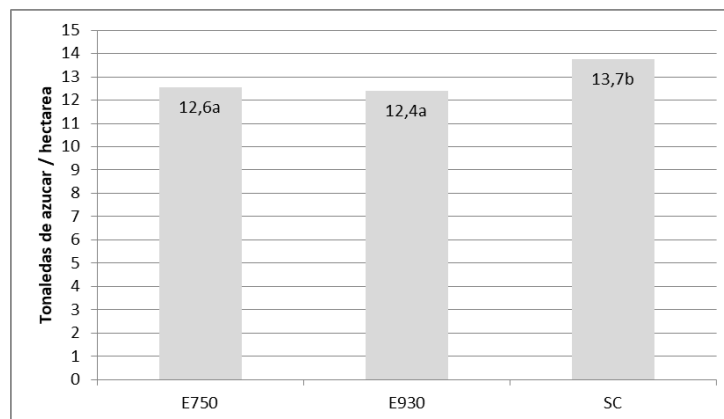


Figura 4. Toneladas de azúcar por hectárea (TAH) cada tratamiento evaluado. Los Aguirre, Tucumán, Argentina. Letras distintas indican diferencias significativas (LSD Fisher $p < 0,05$)

En Estados Unidos, Viator *et al.*, 2007 determinaron una reducción en el rendimiento cultural cuando la velocidad del extractor primario giraba a 1050 r.p.m. de 10,3 y 16,4 t/ha respecto a velocidades de 850 y 650 r.p.m. en condiciones de baja humedad. Bajo estas condiciones, encontraron diferencias en el pol % caña, siendo el valor más alto el de la velocidad de 1050 r.p.m. En TAH no encontraron diferencias significativas entre tratamientos, ya que el valor de rendimiento neto más bajo obtenido con la velocidad más elevada, era compensado por un mayor pol % caña en este mismo tratamiento.

En condiciones de mayor humedad ambiental y del cañaveral, como las que se dieron en Tucumán durante 2023, la velocidad de 1050 r.p.m. redujo el rendimiento en 11,9 y 12,1 t/ha para las velocidades de 850 y 650 r.p.m. respectivamente. Sin embargo, en este año, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en el pol % caña, y por lo tanto, el TAH fue mayor en la velocidad más baja evaluada (650 r.p.m.). La velocidad de 1050 r.p.m. obtuvo 1,2 t/ha menos de azúcar que las otras configuraciones, que son resultados similares a los presentados en este trabajo.

Richard *et al.*, 2001, en ensayos realizados entre 1996 y 1999 con cosecha manual, pero incorporando distintas cantidades de materia extraña, determinaron importantes diferencias en el pol % caña, pero estas diferencias fueron compensadas por un mayor rendimiento de la caña que tenía mayor contenido de materia extraña, lo que finalmente arrojó que no se encontraran diferencias significativas en TAH.

Resultados similares a los obtenidos en este ensayo se reportan 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 r.p.m. respecto de un extractor primario a 1200 r.p.m. Estas pérdidas equivalen a 15 toneladas por hectárea. Además 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 r.p.m. a 1400 r.p.m. 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. Por otro lado determinaron que se puede lograr una mejora en el pol % caña, aumentando excesivamente la velocidad del extractor, pero que esto no compensa las excesivas pérdidas ocasionadas por esa alta velocidad en el extractor.

CONCLUSIONES

Aumentar la velocidad del extractor primario aumenta las pérdidas de caña considerablemente, sin mejoras importantes en los niveles de materia extraña.

En los ensayos expuestos en este trabajo, las pérdidas de materia prima fueron de 15,2 y 6,9 % en LCP 85-384 y TUC 95-10 respectivamente al pasar de 750 a 930 r.p.m.

Utilizando el sensor Smart Clean™ las pérdidas respecto a 930 r.p.m. se redujeron en 7,9 % y 10,6 % en LCP 85-384 y TUC 95-10 respectivamente

Estos importantes incrementos en las pérdidas no aseguran una limpieza mucho más efectiva, sino que lograron bajar los valores de materia extraña en un 0,9 % y 2,7 % en LCP 85-384 y TUC 95-10 respectivamente cuando se pasó de 750 r.p.m. a 930 r.p.m.

El sensor Smart Clean™ parece ser una herramienta efectiva para minimizar las pérdidas sin elevar excesivamente la incidencia de la materia extraña.

Resulta necesario realizar mayor cantidad de ensayos en distintas condiciones de cosecha para encontrar la configuración de la máquina que asegure la mejor relación entre pérdidas y materia extraña.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa El Ceibal de los hermanos Ghiggia, a la Empresa Bulacio Argenti S.A., a Sebastián Romano y Santiago Jure de la empresa Zafra S.A. (John Deere) por proporcionarnos los medios y la información para poder realizar los ensayos.

BIBLIOGRAFÍA

- 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>
- McCarthy, S.G.; Harris, H.; Billingsley, J. 2000. Listening for cane loss, p: 113-118. In: John Billingsley (ed.) Mechatronics and machine vision. Baldock, United Kingdom.

- 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.
- Richard, C., W. Jackson, and H. Waguespack, Jr. 2001. Harvester trials and extraneous matter in the Louisiana sugar industry. Proc. Intl. Soc. Sugar Cane Tech. 24(2): 263-268
- Sandell, G.; Agnew, J. 2002. Harvesting Best Practice Manual. BSES: Indooroopilly
- Sorol, N; Diez, P. y Diez O. 2024. Desarrollo y optimización de la metodología de Digestión Húmeda para el estudio de la calidad industrial de caña de azúcar. RIAT (en prensa).
- Viator, R. P.; Richard, E, P.; Viator, B. J.; Jackson, W.; Waguespack, H. L. and Birkett, H. S. 2007. Sugarcane chopper harvester extractor fan and groundspeed effects on sugar yield, cane quality and field losses. Applied Engineering in Agriculture 23: 31-34.
- Whiteing, C.; Norris, C. P.; Paton, D. C. 2001. Extraneous matter versus cane loss: finding a balance in chopper harvested green cane. Volume 2 (pp. 276-282). Australian Society of Sugar Cane Technologists.

ANÁLISIS DE COMPONENTES FABRILES Y BIOENERGÉTICOS EN FAMILIAS DEL PROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENÉTICO DE LA CAÑA DE AZÚCAR DE INTA

García J. M.^{1*}; Erazzú L. E.²; Acevedo A.³

¹Estación Experimental Agropecuaria Famaillá, INTA. Ruta Provincial 301 Km. 32, (4132), Famaillá, Tucumán, Argentina, ²Centro Regional Tucumán-Santiago del Estero, INTA. Balcarce 51, (4000), San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina. ³Instituto de Suelos, Centro de Investigación de Recursos Naturales, INTA. Las Cabañas y los reseros s/n, (1772), Buenos Aires, Argentina.
[*garcia.josemaria@inta.gob.ar](mailto:garcia.josemaria@inta.gob.ar)

Palabras clave: Biomasa; fibra; Modelos Lineales Mixtos.

Introducción

La caña de azúcar (*Saccharum* spp.) es el cultivo industrial más extensamente cultivado en Argentina, destinado principalmente a las industrias del azúcar y el bioetanol. En los últimos años, se ha observado un creciente interés en mejorar genéticamente la caña de azúcar, con el propósito de desarrollar nuevos híbridos capaces de ofrecer elevado rendimiento de fibra y biomasa lignocelulósica, que puedan ser utilizados para diversos usos bioenergéticos y para la producción de biomateriales (Sandhu et al., 2016). Sin embargo, el desarrollo de cultivares energéticos aún enfrenta una serie de desafíos para el mejoramiento genético. Tradicionalmente, la mejora genética de la caña de azúcar se ha centrado en maximizar el rendimiento de azúcar, lo que ha dejado de lado la evaluación de atributos bioenergéticos clave, como el contenido de fibra, la biomasa derivada del residuo agrícola de la cosecha (RAC) y la biomasa total por individuo. Además, el contenido de fibra en el tallo, aunque evaluado en etapas intermedias o avanzadas del proceso de mejoramiento, suele considerarse indeseable debido a su asociación histórica con una menor calidad para la producción de azúcar (Cursi et al., 2022). Esto ha llevado a un conocimiento limitado sobre la dinámica de estos caracteres en las poblaciones de caña de azúcar y su relación con los atributos tradicionales evaluados. Un entendimiento más profundo de estos aspectos podría orientar la selección hacia el desarrollo de híbridos multipropósito, capaces de ofrecer tanto azúcar como contenidos más elevados de fibra biomasa total.

En la investigación reciente sobre mejoramiento genético de plantas, se ha observado una marcada tendencia hacia la adopción de modelos lineales mixtos (MLM) para el análisis de datos fenotípicos (Bernardo, 2020). Estos modelos han demostrado ser valiosos en la estimación de componentes de varianza, parámetros genéticos y correlaciones, así como en la predicción de valores genéticos mediante el uso de BLUPs (Best Linear Unbiased Prediction) para los efectos aleatorios de los genotipos (Ostengo et al., 2013; Hoarau et al., 2021). El objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial fabril y bioenergético de familias de caña de azúcar del Programa de Mejoramiento Genético de Caña de Azúcar (PMGCA) de INTA, empleando como enfoque metodológico MLM y BLUPs.

Materiales y métodos

Se evaluaron dos familias de caña de azúcar de hermanos completos denominadas C1 (NA724 x LCP 85-384, n= 91) y C2 (HOCP 92-665 x NA 56-30, n= 77), incluyendo los parentales, y los testigos LCP 85-384 y L 91-281. Las mismas provienen de un lote de plantines pertenecientes al PMGCA de INTA, los cuales no fueron sometidos a selección con el objetivo de conservar la variabilidad genética de las familias. Los materiales se plantaron en un diseño en bloques completos al azar, compuesto por dos bloques con una repetición por bloque. El ensayo se llevó a cabo en la Estación Experimental Agrícola Famaillá de INTA (27°03'S, 65°25'N, 363 m.s.n.m.) en parcelas de 3 m x 1,6 m, y evaluaron en tres años consecutivos, correspondientes a las edades de cultivo de caña planta, soca 1 y soca 2.

Se evaluaron los siguientes componentes de rendimiento fabril y bioenergético: altura, diámetro, peso por tallo (PPT) y peso del residuo agrícola de cosecha (PRAC), número de tallos (NUTA), brix, pol, pureza, sacarosa (Acreche et al., 2015) y fibra (Tanimoto, 1964). Seguidamente, a partir de los componentes de rendimiento se estimaron las siguientes variables de rendimiento expresadas en t/ha de caña (TC), RAC (TR), sacarosa (TS), fibra (TF) y biomasa (TB).

Se ajustó el siguiente modelo mixto para cada familia: $T_{ijk} = \mu + C_i + G_j + GC_{ij} + B_k + \varepsilon_{ijk}$ donde, μ es la media general; T_{ijk} es la media del genotipo j, en el año-edad i, en el bloque k; C_i es el efecto fijo del año i; G_j es el efecto aleatorio del genotipo j; GC_{ij} es el efecto aleatorio de la interacción entre el genotipo j y el año i; B_k es el efecto aleatorio del bloque k; y ε_{ijk} es la variación residual. Se originó un ranking de genotipos para cada familia a partir de los mejores predictores lineales insesgados (BLUPs) obtenidos para los efectos genotípicos, el ranking incluyó a los parentales de cada familia y a los testigos comerciales. Se emplearon los BLUPs en un análisis de componentes principales (PCA) para evaluar la relación entre componentes y variables de rendimiento.

Resultados

En términos generales, en las dos familias se observó que los mismos genotipos se destacaron en las primeras posiciones del ranking de genotipos a partir de BLUPs en la mayoría de las variables de rendimiento (Tablas 1 y 2). Resulta importante señalar el posicionamiento de los testigos comerciales, ubicándose LCP384 entre el 2° y 8° puesto, y L281 entre el 7° y 15° puesto para las variables TC, TR, TS y TB (Tablas 1 y 2). Con respecto a la variable TF, los testigos se ubicaron en posiciones más bajas (entre los puestos 15° y 20°) en comparación al resto de las variables, dejando un mayor número de genotipos posibles de seleccionar para esta variable de rendimiento con respecto a las demás.

Entre las dos familias, se encontraron siete genotipos (7, 85, 19, 64, 96, 115 y 135) cuyos BLUPs para TB superaron los del testigo de mayor valor (Tablas 1 y 2). Un análisis más detallado de estos genotipos reveló que sus niveles de sacarosa se ubicaron en el rango de 9,4% a 10,8%. Sin embargo, se observaron diferencias en los contenidos de fibra entre los genotipos de alto TB de las dos familias, con valores entre 11,5% y 12,6% para la familia C1, y entre 12,6 % y 16,0% para la familia C2, indicando el mayor potencial de la familia C2 para la selección de genotipos que combinen altos niveles de fibra y biomasa. En esta

última familia, se identificó al genotipo 96 con una combinación de contenidos elevados para ambos componentes de rendimiento (Sacarosa= 10,8% y fibra= 16,0%).

El análisis de PCA mostró que los dos primeros componentes explicaron >64,0% de la variabilidad total en las dos familias (Figura 1). Esto permitió identificar los siguientes grupos de componentes y variables de rendimiento: “Grupo 1”, conformado por brix, pol, pureza y fibra; “Grupo 2” conformado por PRAC, PPT y diámetro, y “Grupo 3” constituido por todas las variables de rendimiento y altura. Los componentes NUTA y sacarosa se ubicaron en el Grupo 1 o 3 según la familia.

Tabla 1. Ranking de predictores lineales inesgados (BLUPs) del efecto genotipo de los 20 individuos superiores de la familia C1, incluyendo parentales y testigos comerciales, para las variables de rendimiento.

	TC		TR		TS		TF		TB	
Ranking	Genotipo	BLUPs	Genotipo	BLUPs	Genotipo	BLUPs	Genotipo	BLUPs	Genotipo	BLUPs
1°	19	36,2	7	4,6	54	3,9	36	5,0	7	11,6
2°	85	34,6	17	3,4	LCP384	3,7	85	4,5	85	10,7
3°	7	33,6	64	3,4	19	3,5	21	4,1	19	10,5
4°	54	32,7	90	3,3	64	3,5	54	3,8	64	10,3
5°	66	32,1	LCP384	3,3	62	3,3	7	3,8	LCP384	10,2
6°	64	28,2	85	3,2	32	3,0	19	3,6	54	9,9
7°	21	28,0	L281	2,9	52	3,0	9	3,4	36	9,6
8°	LCP384	27,3	19	2,8	7	2,9	72	3,2	21	8,3
9°	51	24,2	62	2,6	85	2,7	64	3,2	62	8,3
10°	36	24,2	72	2,3	51	2,4	66	3,1	9	7,1
11°	70	23,4	21	2,3	70	2,3	4	2,8	17	7,1
12°	32	23,4	36	2,2	66	2,3	26	2,8	51	7,1
13°	62	21,5	9	2,0	25	2,1	90	2,7	66	6,8
14°	L281	18,9	54	2,0	36	2,1	51	2,6	L281	6,7
15°	9	18,9	26	1,8	L281	2,1	61	2,4	26	6,7
16°	52	18,9	66	1,7	17	2,0	58	2,1	72	6,6
17°	39	18,7	31	1,6	72	1,6	73	2,1	90	6,4
18°	26	15,9	32	1,6	9	1,6	L281	2,1	32	6,4
19°	25	15,8	70	1,6	21	1,6	62	2,1	52	5,6
20°	88	15,8	33	1,5	58	1,5	LCP384	1,9	33	4,9

TC= toneladas de caña por hectárea, TR= toneladas de RAC por hectárea, TS= toneladas de sacarosa por hectárea, TF= toneladas de fibra por hectárea, TB= toneladas de biomasa por hectárea.

Tabla 2. Ranking de predictores lineales insesgados (BLUPs) del efecto genotipo de los 20 individuos superiores de la familia C2, incluyendo parentales y testigos comerciales, para las variables de rendimiento.

TC= toneladas de caña por hectárea, TR= toneladas de RAC por hectárea, TS= toneladas de sacarosa por hectárea, TF= toneladas de fibra por hectárea, TB= toneladas de biomasa por hectárea.

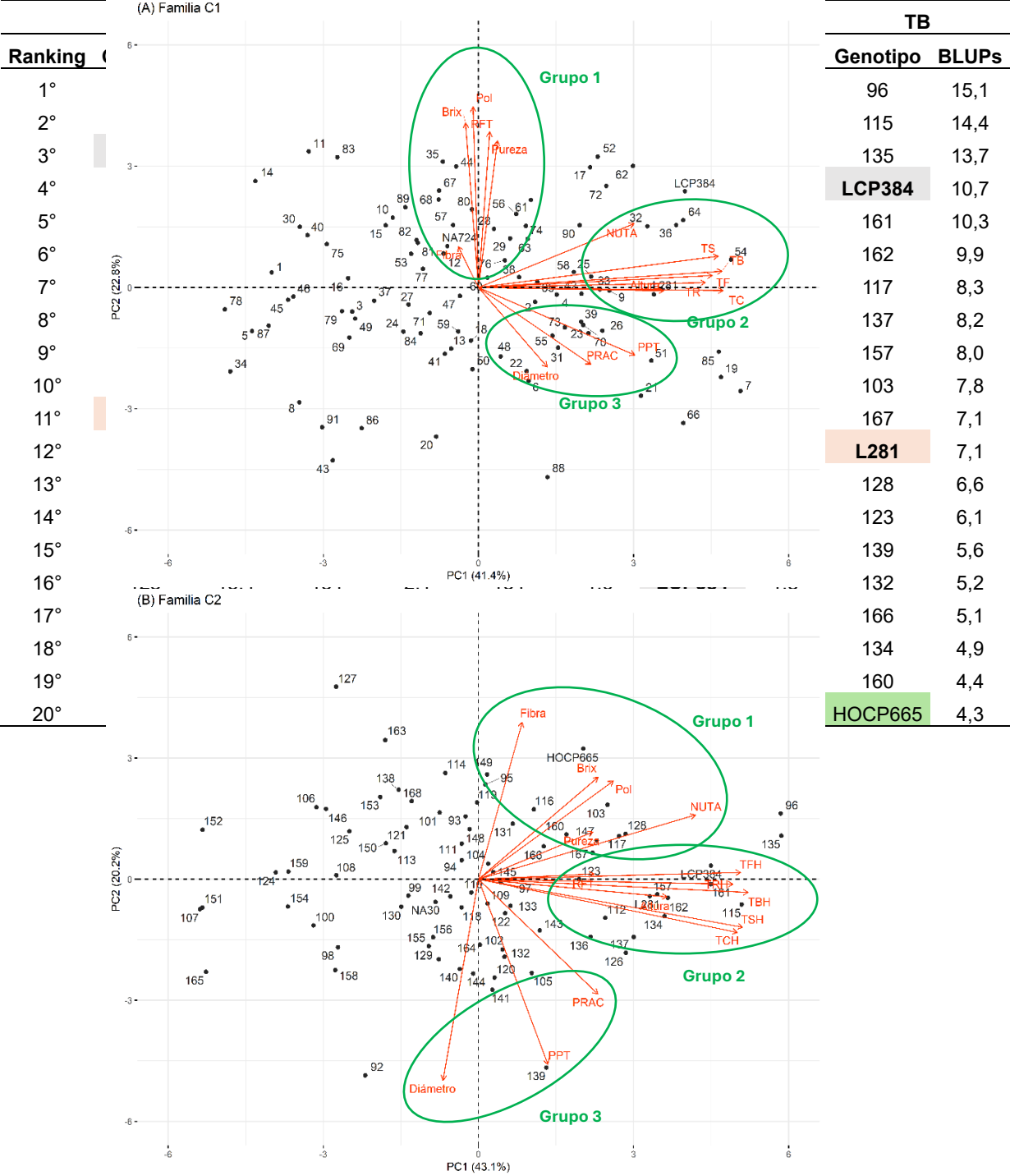


Figura 1. Biplot de componentes principales para BLUPs de componentes y variables de rendimiento para las familias C1 (NA724 x LCP384) (A) y C2 (HOC665 x NA30) (B). LCP384 y L281 son testigos comerciales de caña de azúcar. PPT= peso por tallo, PRAC= peso del residuo

agrícola de cosecha, NUTA= número de tallos, RFT= sacarosa, TC= toneladas de caña por hectárea, TR= toneladas de RAC por hectárea, TS= toneladas de sacarosa por hectárea, TF= toneladas de fibra por hectárea, TB= toneladas de biomasa por hectárea.

Conclusiones

El empleo de modelos mixtos y BLUPs permitió identificar genotipos sobresalientes para variables de rendimiento en familias de caña de azúcar, y estudiar las relaciones genéticas entre variables mediante un análisis multivariado.

El contenido máximo de fibra observado en las familias en comparación con los testigos comerciales sugiere la posibilidad de desarrollar híbridos de caña multipropósito que superen en cinco a seis puntos porcentuales a las variedades comerciales actualmente utilizadas, sin comprometer de forma considerable la producción de azúcar.

La presencia de genotipos de alto rendimiento de biomasa junto con proporciones deseables de fibra y sacarosa en tallo resultarían favorable para el desarrollo de híbridos de caña con fines bioenergéticos en el PMGCA de INTA.

Apoyo financiero: Este trabajo fue financiado por el INTA (PD-I071 y Programa Nacional de Cultivos Industriales) y CONICET (PICT 2016-1670).

Referencias bibliográficas

- Acreche, M.M.; Sáez, J.V.; Vera J.C. 2015. Physiological bases of genetic gains in sugarcane yield in Argentina. *Field Crops Research*, 175, 80-86.
- Bernardo, R. 2020. Reinventing quantitative genetics for plant breeding: something old, something new, something borrowed, something BLUE. *Heredity*, 125(6), 375-385.
- Cursi, D.E.; Cox, M.C.; Anoni, C.O.; Hoffmann, H.P.; Gazaffi, R.; Garcia, A.A.F. 2020. Comparison of different selection methods in the seedling stage of sugarcane breeding. *Agronomy Journal*, 112(6), 4879-4897.
- Hoarau, J.Y.; Dumont, T.; Wei, X.; Jackson, P.; D'hont, A. (2021). Applications of quantitative genetics and statistical analyses in sugarcane breeding. *Sugar Tech*, 24(1), 320-340.
- Ostengo, S.; Cuenya, M.I.; Balzarini, M. (2013). A biplot-based analysis for exploring interactions in sugarcane multi-environment trials with multiple harvests in *Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists* (Vol. 28).
- Sandhu, H.S.; Gilbert, R.A.; Comstock, J.C.; Gordon, V.S.; Korndörfer, P.; Arundale, R.A.; El-Hout, N. (2016). Registration of 'UFCP 82-1655' sugarcane. *Journal of Plant Registrations*, 10, 22-27.
- Tanimoto, T. (1964). The press method of cane analysis. *The Hawaiian Planters' Record*, 57, 133-150.

DISTRIBUCIÓN VARIETAL EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN LA PROVINCIA DE TUCUMÁN: RESULTADOS DEL RELEVAMIENTO REALIZADO EN LA CAMPAÑA 2022/2023

Henriquez, D. D.; Medina, P.; Aybar Guchea, M.; Figueroa, M. F.; Costilla, D. D.; Díaz J. V.; Díaz Romero, C. y Ostengo, S.

¹Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres. Av. William Cross 3150, C.P. T4101XAC, Las Talitas, Tucumán, R. Argentina. dhenriquez@eeaoc.org.ar

Palabras Clave: composición varietal, área cañera, diversificación.

Introducción

Desde la campaña 1977/1978, el Subprograma de Mejoramiento Genético de Caña de Azúcar (SMGCA) de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) realiza, cada tres años, relevamientos sobre la distribución de variedades de caña de azúcar en el área de cultivo de la provincia de Tucumán. Estos relevamientos, basados en encuestas a productores de caña de azúcar, brindan una valiosa información que revela el grado de diversificación varietal en los campos comerciales, como así también, el nivel de aceptación de los nuevos cultivares.

Al analizar la dinámica de la distribución varietal en el área cañera tucumana en las últimas campañas agrícolas censadas por el SMGCA (Ostengo *et al.*, 2015, 2018; Aybar Guchea *et. al.*, 2020), se observa que LCP 85-384 alcanzó un valor máximo del área cañera cultivada en la campaña 2013/2014 (83.1%) y a partir de allí decreció de manera sostenida hasta la campaña 2019/2020 (67.7%). Esta disminución estuvo acompañada por la liberación, al medio productivo, de variedades TUC completamente desarrolladas por el SMGCA- EEAOC (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). Estos cultivares TUC sirvieron como alternativas para intentar equilibrar, en estos últimos años, el panorama varietal del área cañera de Tucumán.

En el presente trabajo se muestran los resultados obtenidos en el relevamiento realizado en la campaña 2022/2023, respecto a la distribución de variedades comerciales de caña de azúcar en Tucumán según la ubicación geográfica, las edades de corte y la extensión de las explotaciones cañeras. Además, se presenta la dinámica de la composición varietal del área cañera de la provincia, durante las campañas 2013/2014, 2016/2017, 2019/2020 y 2022/2023.

Materiales y métodos

Se realizaron encuestas a productores de caña de azúcar de la provincia de Tucumán, con el fin de obtener datos básicos y fiables respecto a las variedades y superficie de cada una de ellas que tienen en sus campos comerciales, en las diferentes edades de corte y en las diferentes localidades de la provincia. Las encuestas se efectuaron mediante formularios; con los datos recolectados se estimó la distribución de las variedades según: i) ubicación geográfica (departamentos de la provincia), ii) edades de corte y iii) extensión de las

explotaciones cañeras. Posteriormente se evaluó la dinámica de la composición varietal del área cañera de Tucumán, durante las campañas 2013/2014, 2016/2017, 2019/2020 y 2022/2023.

Resultados

De las 278.410 ha netas cosechables con caña de azúcar estimadas en Tucumán para la zafra 2023 (Fandos *et al.*, 2023), el SMGCA encuestó el 44,0%, lo que representa una superficie de 122.387 ha. La misma resulta apropiada para estimar la composición varietal del área cultivada con caña de azúcar en la provincia de Tucumán. El área encuestada comprende un total de 940 productores.

Distribución de las principales variedades cultivadas en la campaña 2022/2023

En la Figura 1 se presenta la distribución porcentual estimada de las principales variedades cultivadas en Tucumán. LCP 85-384 mantiene el primer lugar, resultando el cultivar plantado en mayor extensión (62,5% del área cañera). En segundo lugar se encuentra TUC 95-10 con un 17,1%, seguida de TUC 03-12 (7,3%). Cabe destacar que TUC 03-12 (liberada para su cultivo comercial en 2015) desplazó del tercer lugar a TUCCP 77-42, que ocupa actualmente el cuarto lugar con un 5,9% de superficie. TUC 02-22, TUC 00-19, TUC 06-7 y TUC 97-8 ocupan el 2,4%, 1,3%, 1,2% y 1,1% del área de cultivo, respectivamente.

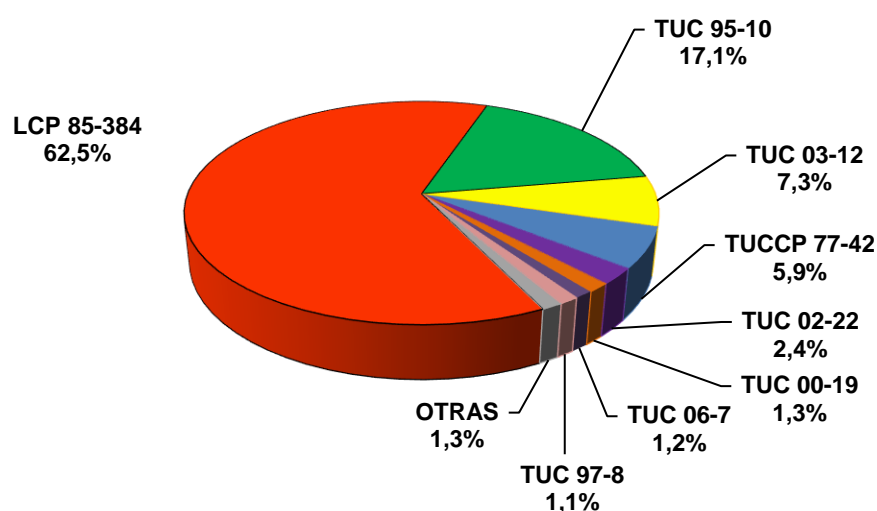


Figura 1. Distribución porcentual de las principales variedades cultivadas en el área cañera de la provincia de Tucumán (campaña 2022/2023).

Distribución de variedades por departamento en la campaña 2022/2023

A partir de los datos obtenidos del relevamiento, se estimó la distribución porcentual de las variedades comerciales de caña de azúcar para cada departamento de la provincia de Tucumán (Tabla 1). En la presente encuesta no se obtuvieron datos para Tafí Viejo y Yerba Buena, cabe mencionar que ambos departamentos presentan una superficie neta cosechable menor al 0,5% del área total estimada para la zafra 2023.

Se observa que LCP 85-384 es la principal variedad cultivada en todos los departamentos encuestados, ocupando desde un 36,5% hasta el 83,8% de la superficie. En el departamento de J. B. Alberdi, dicha variedad comparte el primer lugar con TUC 95-10, ocupando cada una aproximadamente el 39% del área implantada. Por su parte, TUC 95-10 es la segunda variedad más cultivada en los departamentos de Burruyacú, Famaillá, Graneros, La Cocha, Río Chico y Simoca, con valores de extensión que oscilan entre 10,8% y 37,0%. Respecto a TUC 03-12, se encuentra ocupando el segundo lugar en los departamentos de Cruz Alta, J. B. Alberdi y Leales, con 11,1%, 14,6% y 8,1% de la superficie implantada, respectivamente. TUCCP 77-42 es la segunda variedad más cultivada en Monteros (22,5%) y Chicligasta (25,2%). Es importante resaltar que la variedad TUC 06-7 (liberada por el SMGCA en 2019), ocupa el segundo lugar en el departamento de Lules con un 7,1% de la superficie. Cabe destacar que en el 75% de los departamentos encuestados, las variedades TUC 95-10, TUC 03-12 y TUC 06-7 ocupan el segundo o tercer lugar de la superficie cultivada, desplazando a TUCCP 77-42. Por último se observa que los departamentos de Alberdi, Chicligasta, Río Chico y Simoca presentan un mayor grado de diversificación de cultivos (Tabla 1).

Tabla 1. Composición porcentual de variedades en los diferentes departamentos encuestados de Tucumán en la campaña 2022/2023.

Departamento	Variedades								
	LCP 85-384	TUC 95-10	TUC 03-12	TUCCP 77-42	TUC 02-22	TUC 06-7	TUC 97-8	TUC 00-19	OTRAS
Burruyacú	65,5	26,5	4,9	0,0	0,4	0,3	1,5	0,6	0,3
Chicligasta	43,9	19,3	4,4	25,2	4,5	0,1	0,5	2,1	0,0
Cruz Alta	71,2	10,5	11,1	1,1	2,2	2,1	1,5	0,2	0,1
Famaillá	71,9	10,8	8,0	1,5	0,2	0,3	2,5	2,1	2,7
Graneros	72,7	17,8	4,9	0,8	1,6	0,0	0,4	1,7	0,0
J. B. Alberdi	39,3	39,4	14,6	1,5	1,6	0,1	0,3	3,0	0,2
La Cocha	72,7	13,3	5,2	3,4	1,5	0,0	0,0	2,4	1,5

Leales	71,9	7,8	8,1	1,8	4,7	1,5	1,3	0,6	2,4
Lules	83,8	3,8	4,1	0,0	0,1	7,1	0,0	0,0	1,1
Monteros	53,8	12,6	3,0	22,5	2,0	0,2	0,9	0,6	4,4
Río Chico	38,4	37,0	9,0	9,3	0,7	0,8	0,5	3,5	0,8
Simoca	36,5	25,1	4,6	22,1	3,7	0,4	0,8	4,6	2,2

Distribución de variedades por edades de corte en la campaña 2022/2023

De las 122.387 ha encuestadas, un total de 122.187 ha (43,9% de la superficie total en 2023) presentó información discriminada con respecto a las edades de los cañaverales. En la Figura 2 se observa un equilibrio entre las edades de corte, lo cual pone en evidencia que durante los últimos años se mantuvo un porcentaje de renovación constante en la superficie cultivada con caña de azúcar.

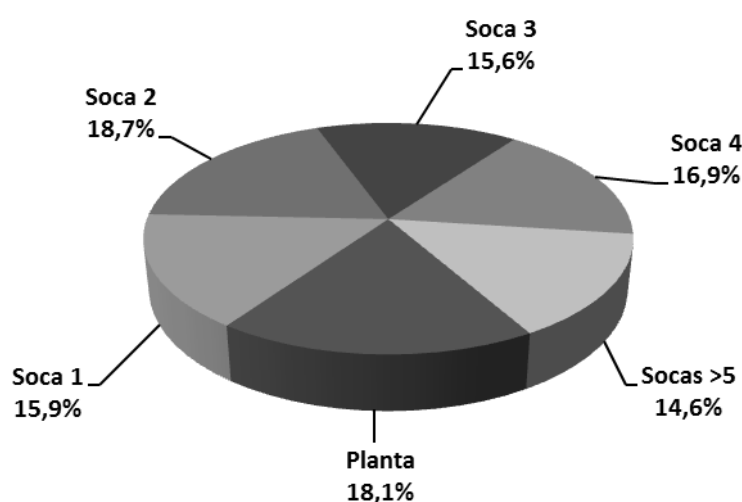


Figura 2. Distribución porcentual (%) de cañaverales por edad de corte (campaña 2022/2023).

La Figura 3 representa la distribución porcentual de superficie para la edad de caña planta, discriminada por variedades. El análisis varietal en la edad de caña planta permite proyectar la diversificación del cañaveral en el futuro próximo y determinar la demanda actual de los cultivares. Se observa que en el 47,0% de las plantaciones realizadas en la campaña 2022/2023 se empleó la variedad LCP 85-384, mientras que la segunda variedad más plantada fue TUC 03-12 (18,6%), seguida de TUC 95-10 (13,1%). Se destaca que el porcentaje de plantación alcanzado por TUC 02-22 y TUC 06-7 es cercano al registrado por TUCCP 77-42 (5,2%, 5,3% y 6,8% de la superficie, respectivamente). Resulta de interés remarcar que en la campaña 2022/2023 el 44,1% de las plantaciones fue realizada con cinco variedades TUC liberadas en los últimos 12 años (TUC 03-12, TUC 95-10, TUC 02-22, TUC 06-7 y TUC 00-19), lo que demuestra su aceptación por parte del sector productivo.

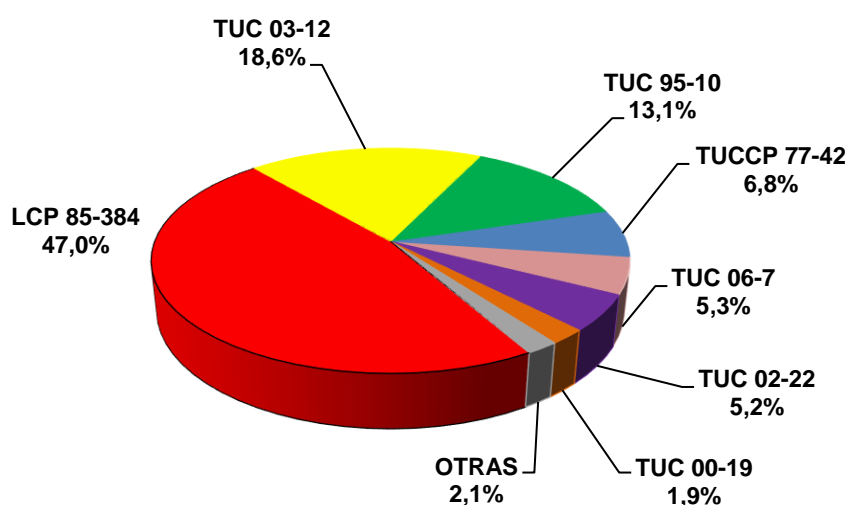


Figura 3. Distribución porcentual de variedades para la edad de caña planta (campana 2022/2023).

Distribución de variedades según la extensión de las explotaciones cañeras en la campana 2022/2023

El tamaño de la explotación cañera es otro factor a tener en cuenta para analizar la distribución varietal. En este relevamiento, se logró encuestar a un total de 940 productores, los cuales se clasificaron en cinco clases (1 a 5) según la cantidad de hectáreas plantadas en sus explotaciones. En la Tabla 2 se observa que 806 productores (85,7%) se agrupan en la clase 1 (explotaciones menores a 50 ha) y representan el 5,0% del área cañera encuestada. En el otro extremo, los productores clasificados en la clase 5 (explotaciones superiores a 1000 ha) representan el 3,1% del total de los productores encuestados y concentran el 69,7% de la superficie relevada.

Tabla 2. Total de productores y de hectáreas clasificados de acuerdo al tamaño de la explotación.

Clase de productores	Nº de hectáreas plantadas	Nº de productores clasificados	Nº de hectáreas clasificadas	Área Clasificada (%)
1	< 50	806	6167	5,0
2	50 ≤ X < 200	43	4413	3,6
3	200 ≤ X < 500	43	13319	10,9
4	500 ≤ X < 1000	19	13125	10,7
5	≥ 1000	29	85364	69,7

Total	940	122387	100
-------	-----	--------	-----

En las Figuras 4 y 5 se puede observar la distribución porcentual de variedades para los productores pertenecientes a las clases 1 y 5, respectivamente. En ambas Figuras se observa que LCP 85-384 es la variedad predominante, sin embargo, ésta difiere en las proporciones de áreas ocupadas, siendo del 49,4% para la clase 1 y del 64,7% para la clase 5. Por otra parte, TUC 95-10 constituye la segunda variedad más cultivada por los productores de ambas clases. La proporción total de variedades TUC liberadas por la EEAOC desde 2011 (TUC 95-10, TUC 97-8, TUC 00-19, TUC 03-12, TUC 06-7 y TUC 02-22) alcanzó un 34,3% y un 28,4% en productores de las Clases 1 y 5, respectivamente.

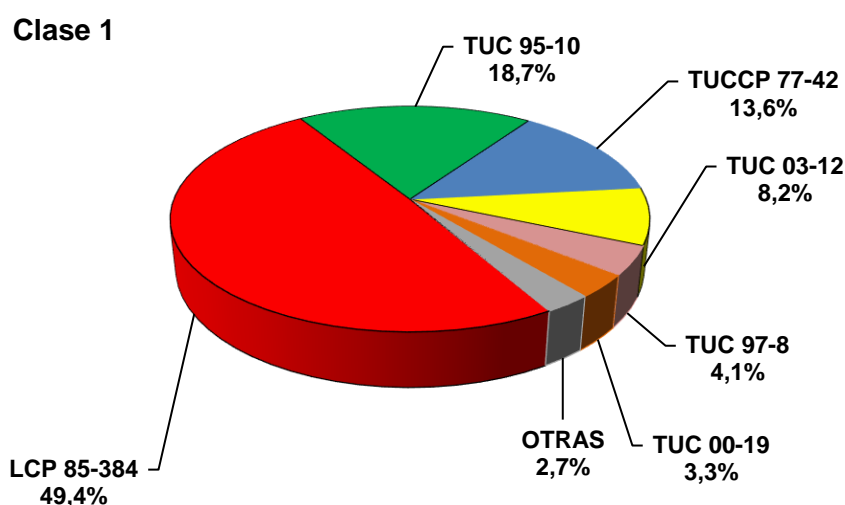


Figura 4. Distribución porcentual de variedades en campos de productores clase 1 (<50 ha).

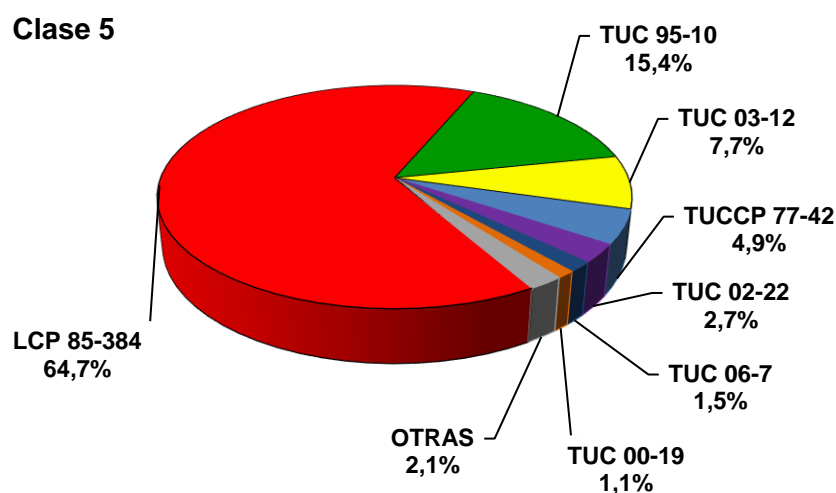


Figura 5. Distribución porcentual de variedades en campos de productores clase 5 (≥ 1000).

Dinámica de la composición varietal del área cañera de Tucumán desde la campaña 2013/2014 a la campaña 2022/2023

En la Figura 6, se compara la distribución varietal en el área cañera tucumana de los últimos cuatro relevamientos realizados por el SMGCA (Ostengo *et al.*, 2015, 2018; Aybar Guchea *et. al.*, 2020). Se observa que LCP 85-384 alcanzó un valor máximo del área cañera cultivada (83,1%) en la campaña 2013/2014; a partir de allí decrece de manera sostenida, disminuyendo, aproximadamente, 20 puntos porcentuales hasta la actualidad. Por su parte, TUC 95-10 continúa posicionándose, desde la campaña 2016/2017, como la segunda variedad más cultivada en Tucumán, manteniéndose cerca de los valores alcanzados en la campaña 2019/2020 (alrededor del 18%). A partir de la campaña 2019/2020 se destaca la acelerada difusión de TUC 03-12, con un incremento de 6,2 puntos porcentuales. Algo similar ocurrió con TUC 95-10 entre las campañas 2013/2014 y 2016/2017 (+8,5 puntos porcentuales). En el caso de TUCCP 77-42, se observan valores decrecientes del área cultivada desde la campaña 2013/2014 hasta la presente.

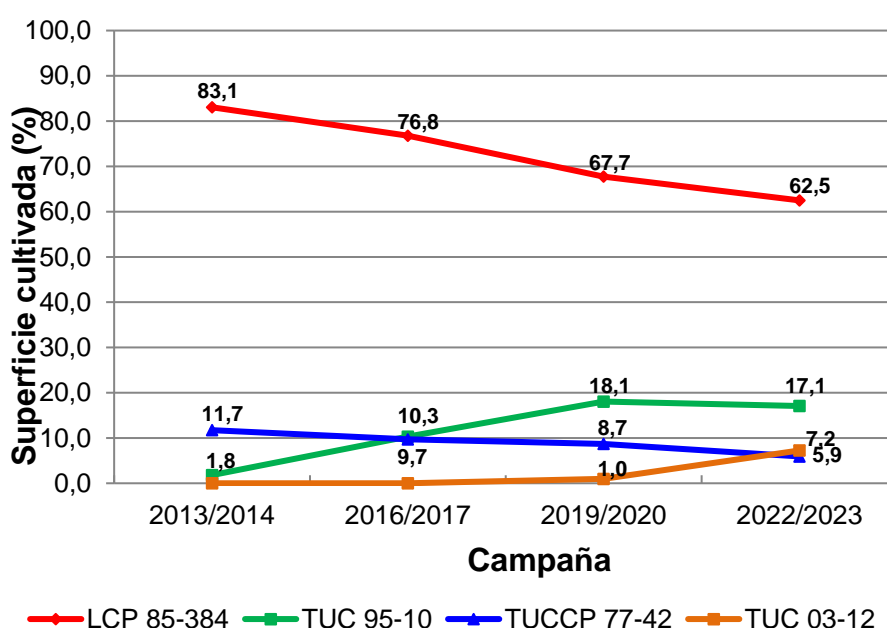


Figura 6. Dinámica de la composición varietal del área cañera de Tucumán, durante las campañas 2013/2014, 2016/2017, 2019/2020 y 2022/2023.

Conclusiones

Los resultados del relevamiento varietal realizado en la campaña 2022/2023 muestran que LCP 85-384 mantiene el predominio en el área cañera de Tucumán,

ocupando el 62,5% de la misma. No obstante, sigue decreciendo su proporción de manera sostenida desde la campaña 2013/2014 (20,6 puntos porcentuales). Por otra parte, TUC 95-10 continúa posicionándose como la segunda variedad más cultivada en Tucumán, seguida de TUC 03-12 que desplazó del tercer lugar a TUCCP 77-42. Se destaca además, la participación, por primera vez en la torta varietal, de dos cultivares liberados en 2019: TUC 02-22 y TUC 06-7, reflejando su creciente adopción por el sector cañero.

Finalmente, el 44,1% de las plantaciones realizadas en la campaña 2022/2023 fueron realizada con cinco variedades TUC liberadas en los últimos 12 años, lo que revela cómo estos cultivares comenzaron a tener un rol protagónico en la diversificación varietal del área cañera de Tucumán lo que permite suponer, en el corto plazo, una distribución varietal más equilibrada y, por ende, más sustentable.

Citas bibliográficas

Aybar Guchea, M.; 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 y de otras tecnologías aplicadas en el cultivo de caña de azúcar en la provincia de Tucumán: campaña 2019/2020 (Parte I). Reporte Agroindustrial N° 195. Julio 2020. ISSN 2346-9102.

Fandos, C.; J. Scandaliaris; P. Scandaliaris; J. I. Carreras Baldrés y F. J. Soria. 2023. Área cosechable y producción de caña de azúcar para la zafra 2023 en Tucumán. Reporte Agroindustrial N° 278. Junio 2023. ISSN 2346-9102.

Ostengo, S.; J. V. Díaz; M. A. Espinosa; E. R. Chavanne; D. D. Costilla y M. I. Cuenya. 2015. Relevamiento de la distribución de variedades y de otras tecnologías aplicadas en el cultivo de caña de azúcar en la provincia de Tucumán: campaña 2013/2014. Gac. Agroindustrial EEAOC (78).

Ostengo, S.; M. A. Espinosa; J. V. Díaz; E. R. Chavanne; M. Aybar Guchea; D. D. Costilla y M. I. Cuenya. 2018. Relevamiento de la distribución de variedades y de otras tecnologías aplicadas en el cultivo de caña de azúcar en la provincia de Tucumán: campaña 2016/2017. Gac. Agroindustrial EEAOC (81).

Ostengo, S.; M. A. Espinosa; M. B. García; N. Delgado y M. I. Cuenya. 2012. Distribución varietal del cultivo de la caña de azúcar y aplicación de otras tecnologías en la provincia de Tucumán. Relevamiento de la campaña 2010/2011. Gac. Agroindustrial EEAOC (76).

EVOLUCIÓN MADURATIVA DE TRES VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR “TUC”, DURANTE LA CAMPAÑA 2023

Henriquez, D. D.; Costilla, D. D.; Díaz J. V.; Medina, L. P.; Sorol N. R. y Ostengo, S.
Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres. Av. William Cross 3150, C.P. T4101XAC, Las
Talitas, Tucumán, Argentina. dhenriquez@eeaoc.org.ar

Palabras Clave: curvas de maduración, Pol % caña, contenido sacarino.

Introducción

El Subprograma de Mejoramiento Genético de Caña de Azúcar (SMGCA) y la Sección Química de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC), llevan a cabo un trabajo conjunto cuyo objetivo principal es la caracterización integral de la calidad industrial de las variedades de caña de azúcar que se liberan al medio productivo (Aybar Guchea *et al.*, 2022).

Entre los parámetros de calidad industrial que se suelen analizar, los valores de Pol % caña en diferentes momentos de cosecha resultan de gran importancia ya que permiten conocer la evolución del contenido sacarino durante el periodo de zafra y elaborar las curvas de maduración de los cultivares. Una comparación relativa de las curvas madurativas entre variedades es útil para optimizar las decisiones en la programación de la cosecha (Ostengo *et al.*, 2023).

Los resultados del último relevamiento varietal evidencian que las variedades TUC 03-12, TUC 02-22 y TUC 06-7 liberadas por el SMGCA están en proceso de difusión en el área cañera de la provincia: en la campaña 2022/2023, el 29,1% de las plantaciones fueron realizadas con estos cultivares (Henriquez *et al.*, 2023).

El objetivo de este trabajo fue determinar en la campaña 2023 las curvas de maduración de las variedades TUC 03-12, TUC 06-7 y TUC 02-22, las cuales presentan una creciente adopción por el sector cañero tucumano.

Materiales y métodos

Para evaluar las curvas de maduración de las variedades de interés se consideraron ensayos ubicados en las localidades de Los Quemados (Leales), Santa Ana (Río Chico), Campo de Herrera (Famaillá) y Río Seco (Monteros). Los mismos presentaban un diseño en bloques completamente aleatorizados (DBCA), con tres repeticiones. Cada parcela estuvo conformada por 3 surcos de 10 m de longitud, distanciados a 1,60 m.

Durante la campaña 2023, en el período comprendido entre 15 de mayo y 15 de octubre, se realizaron muestreos quincenales para la determinación de Pol % caña en las variedades TUC 03-12, TUC 06-7, TUC 02-22 y LCP 85-384, esta última considerada como testigo con buena calidad industrial. Cada muestra estaba conformada por 10 tallos deshojados y despuntados en el punto natural de quiebre, tomados al azar de cada parcela.

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 empleada fue descripta por Diez *et al.* 2000 conocida como método directo de determinación de calidad.

Los valores de Pol % caña fueron calculados según la siguiente ecuación: $\text{Pol \% caña} = [\text{Pol \% jugo} \times W\% + \text{Pol \% bagazo} \times (100 - W\%)]/100$, donde: W% es el peso del jugo obtenido en 100 g de caña desfibrada (“Extracción”); Pol % jugo fue medido usando un polarímetro *AntonPaar MCP*

500 Sucromat; Pol % bagazo fue determinado a partir del método de Norris (Spencer Meade, 1967).

El Pol % caña cuantifica el contenido sacarino total de la caña y refleja directamente la calidad azucarera inherente a la variedad. Está fuertemente relacionada con el contenido de sacarosa en el jugo y la cantidad de fibra en la caña cuyo valor influye en la extracción y se incluye en el cálculo de Pol % en el bagazo.

Resultados

Comparación de curvas de maduración de TUC 03-12 vs. LCP 85-384

La Figura 1 presenta la evolución de los valores de Pol % caña de TUC 03-12 y LCP 85-384, durante el período de zafra evaluado en la campaña 2023, en el ensayo ubicado en la localidad de Río Seco. Como es posible observar, TUC 03-12 presenta un excelente comportamiento madurativo, con valores crecientes de sacarosa hacia final de zafra y superando a LCP 85-384 en todo el periodo evaluado. Adicionalmente, TUC 03-12 presenta excelentes valores de Pol % caña en la segunda quincena de mayo (14,56%), superando al testigo (13,79%) en 0,77 puntos porcentuales.

Se destaca que los valores de Pol % caña de estas evaluaciones son obtenidos a partir de muestras que provienen de ensayos experimentales, correctamente peladas y despuntadas a mano (sin “trash”) y que, además, no sufrieron estacionamiento previo a su procesamiento, es decir, no estaban afectadas por factores externos que atenten contra la calidad de la materia prima. Por otra parte, el sistema de extracción de jugo es a través de prensa y no trapiche. Por lo tanto, es preponderante en el análisis la comparación relativa en función al testigo.

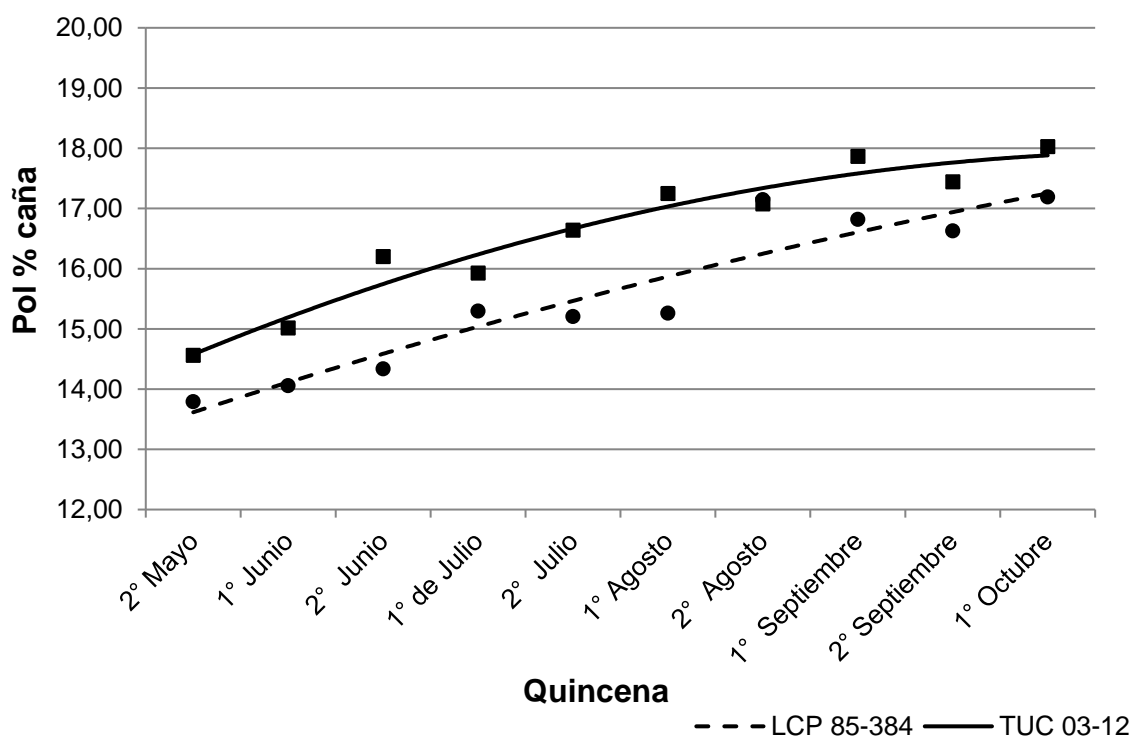


Figura 1. Evolución quincenal del Pol % caña de las variedades TUC 03-12 y LCP 85-384 en edad soca 1, durante la campaña 2023 en Río Seco. Valores obtenidos a partir de prensa.

Respecto al ensayo realizado en la localidad de Campo de Herrera, TUC 03-12 presenta un contenido inicial de sacarosa similar a LCP 85-384, sin embargo registra una tasa de acumulación más alta, superando en 1,7 puntos porcentuales al testigo al final del periodo de muestreo (Figura 2).

En resumen, se destaca el comportamiento madurativo de TUC 03-12 en ambas localidades, con un elevado tenor sacarino en los inicios de cosecha y una muy buena tasa de acumulación de sacarosa durante los meses de zafra.

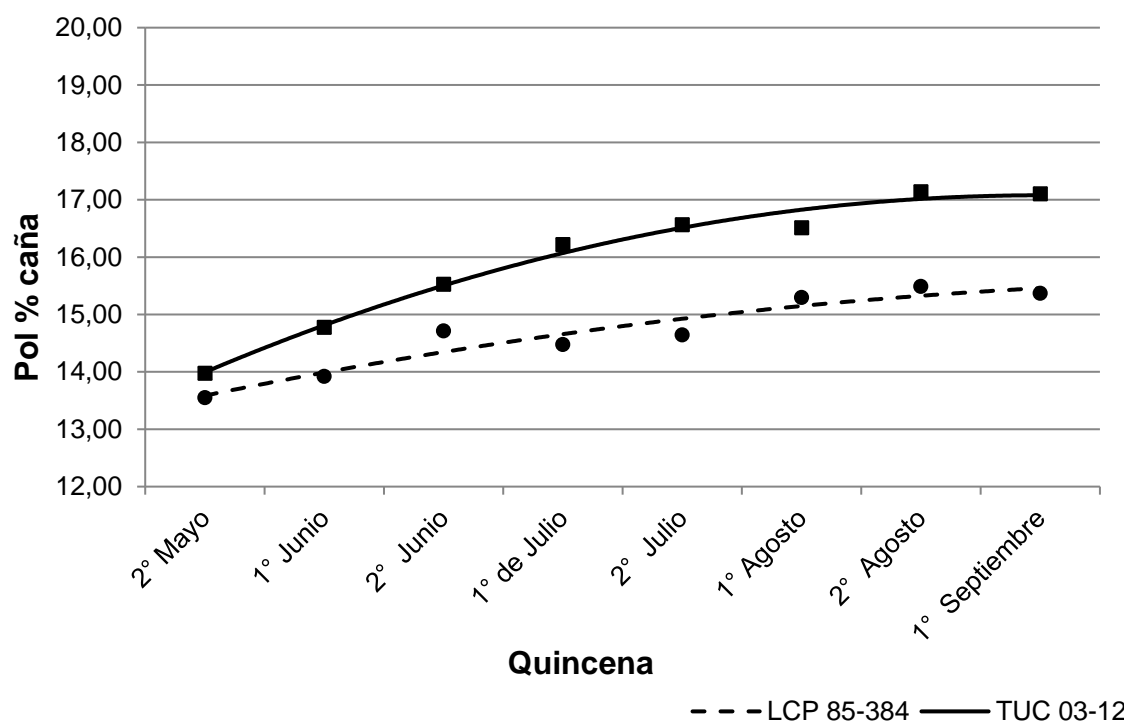


Figura 2. Evolución quincenal del Pol % caña de las variedades TUC 03-12 y LCP 85-384 en edad soca 1, durante la campaña 2023 en Campo de Herrera. Valores obtenidos a partir de prensa.

Comparación de curvas de maduración de TUC 06-7 y TUC 02-22 vs. LCP 85-384

Los valores de Pol % caña de las muestras tomadas en la localidad de Los Quemados durante la zafra 2023 (Figura 3), indican que TUC 02-22 presentó valores ligeramente superiores a LCP 85-384 en la mayoría de las quincenas evaluadas (diferencias positivas desde 0,05 a 1,52 puntos porcentuales). En el caso del muestreo realizado en la localidad de Santa Ana (Figura 4), la evolución quincenal del Pol % caña de las variedades TUC 02-22 y LCP 85-384 fue muy similar durante todo el período, destacando en ambas una muy buena capacidad de acumulación de sacarosa hacia final de zafra. El incremento desde mediados de mayo a principios de octubre fue de 3,14 y 3,11 puntos porcentuales para TUC 02-22 y LCP 85-384, respectivamente.

En la Figura 3 también es posible comparar la evolución del Pol % caña de TUC 06-7 y LCP 85-384 en la localidad de Los Quemados, entre mayo y septiembre de 2023. Se observa una creciente acumulación de sacarosa de TUC 06-7, que supera al testigo desde el inicio hasta el final del muestreo, con una diferencia promedio de 0,70 puntos porcentuales. En cuanto a la acumulación de

sacarosa obtenida en la localidad de Santa Ana, los valores de Pol % caña de esta variedad fueron ligeramente inferiores al testigo durante todo el periodo (Figura 4), sin embargo siguió el comportamiento creciente de LCP 85-384 hasta finales de cosecha. En esta localidad la diferencia promedio a través de los diferentes muestreos fue a favor del testigo en 0,46 puntos porcentuales.

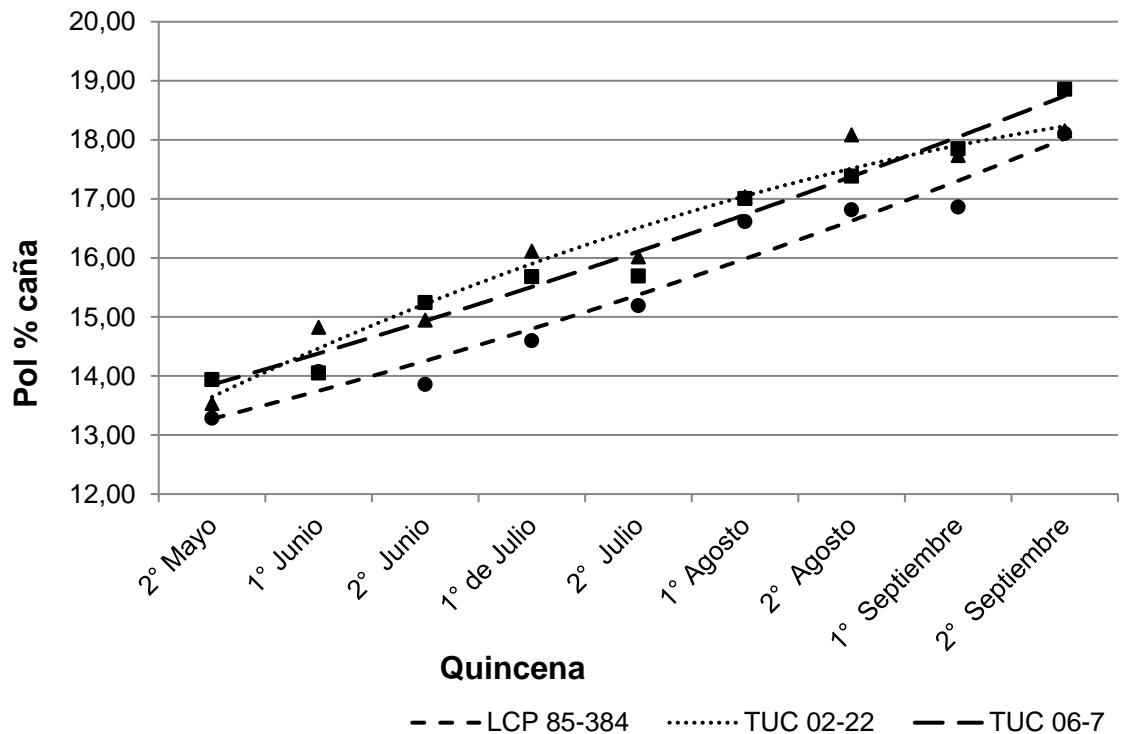


Figura 3. Evolución quincenal del Pol % caña de las variedades TUC 02-22, TUC 06-7 y LCP 85-384 en edad soca 1 durante la campaña 2023. Localidad Los Quemados. Valores obtenidos a partir de prensa.

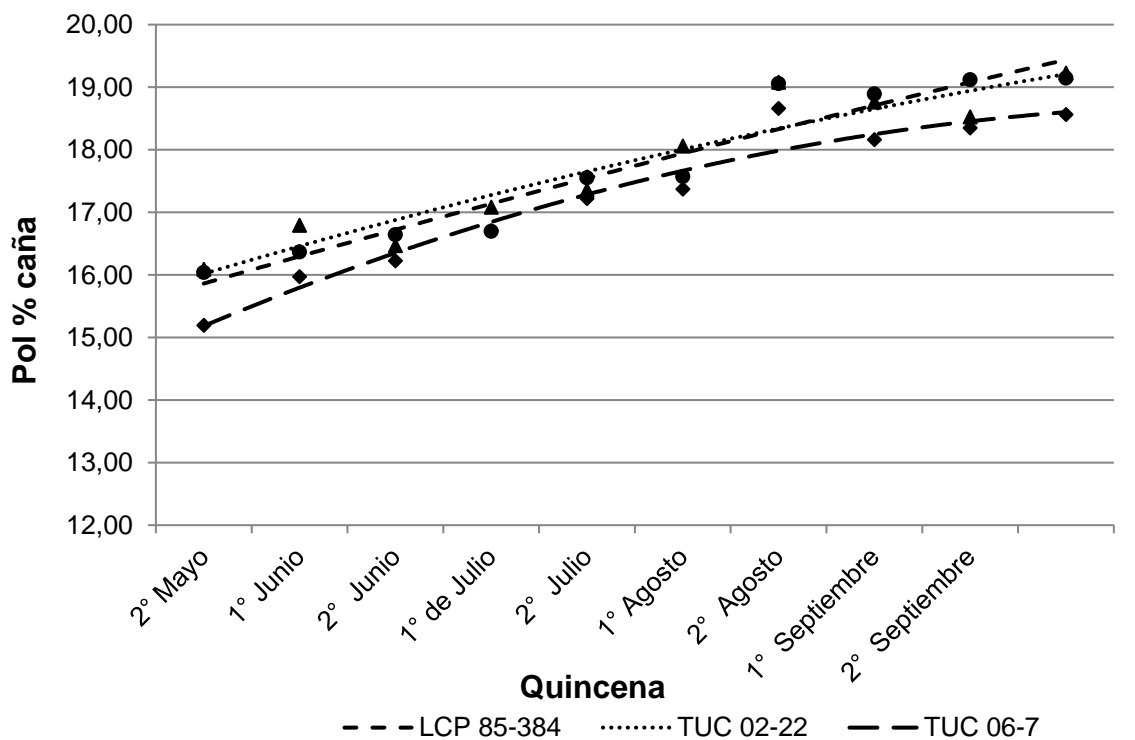


Figura 4. Evolución quincenal del Pol % caña de las variedades TUC 02-22, TUC 06-7 y LCP 85-384 en edad soca 1 durante la campaña 2023. Localidad Santa Ana. Valores obtenidos a partir de prensa.

Conclusiones:

Las últimas variedades TUC, liberadas por el SMGCA, TUC 03-12, TUC 06-7 y TUC 02-22, presentaron en la zafra 2023 un muy buen comportamiento madurativo al compararlas con la principal variedad cultivada en la provincia (LCP 85-384). Los valores de Pol % caña de TUC 03-12 fueron consistentemente superiores a LCP 85-384 en las dos localidades evaluadas y durante todo el periodo de cosecha, lo que ratifica su destacado perfil madurativo. En el caso de los cultivares TUC 06-7 y TUC 02-22, presentaron un patrón madurativo similar al testigo y con un comportamiento más dependiente del ambiente, presentando su mejor performance en la localidad de Los Quemados.

Las diferencias varietales en cuanto a comportamiento madurativo y las condiciones ambientales de los diferentes años pueden influir en las diferentes curvas de maduración. Conocer y comprender la interacción entre estos factores favorece el manejo de la cosecha y mejora la eficiencia de la exploración de los cultivares. Una adecuada planificación y selección de variedades es primordial para afrontar el período zafra.

Citas bibliográficas

Aybar Guchea M.; Costilla D.D.; Díaz J.V.; Aballay C.; Rementería A.; Diez P.M.; Sorol N. R.; Ostengo S. 2022. Calidad industrial de la variedad de caña de azúcar TUC 03-12. XXII Reunión técnica SATCA 2022. 28 y 29 de Noviembre. 9-14.

Ostengo S.; Aybar Guchea M.; Costilla D.; and Balzarini M. 2023. BLUP methodology in the selection of advanced sugarcane clones according to their maturity profile. Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists, volume 31, 176–182.

Diez O.; Zossi S.; Chavanne E.; y Cárdenas G. 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. Revista Industrial y Agrícola de Tucumán 77 (2): 39-48.

Spencer - Meade. 1967. Manual del Azúcar de Caña, Editorial: Montaner y Simón, p. 457.

DETECCIÓN TEMPRANA DE ROYA MARRÓN EN EL ÁREA CAÑERA DE TUCUMÁN, ARGENTINA, EN LA CAMPAÑA 2023/2024

Lobo, J.A.¹; Huvierne, L.G.¹; Bertani, R.P.¹ y González, V¹.

¹Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). Av. William Cross 3150, C.P. T4101XAC, Las Talitas, Tucumán, R. Argentina. jalobo@eeaoc.org.ar

Palabras Clave: *Puccinia melanocephala*, comportamiento varietal, susceptibilidad

Introducción

Dentro de los principales factores limitantes en la producción de caña de azúcar se encuentran las enfermedades, siendo la roya marrón (*Puccinia melanocephala*) una de las de mayor prevalencia en el área cañera de Tucumán. El patógeno causal de la misma es un hongo biotrófico, por lo que sobrevive sólo en tejido verde (vivo), altamente infeccioso, ya que se disemina fácilmente, produciendo varias generaciones en un ciclo del cultivo (Funes *et al.*, 2014). La roya marrón se presenta todos los años en Tucumán como una enfermedad de fin de ciclo; los primeros síntomas comienzan a observarse entre los meses de diciembre y enero, alcanzando los máximos niveles de severidad hacia finales del verano y principios de otoño (mediados de febrero a abril) (Funes *et al.*, 2016).

Entre las principales variables ambientales que determinan la severidad de roya marrón se encuentran: la humedad de la hoja (más de 8 horas de mojado), la temperatura (de 17°C a 23°C) y la humedad relativa ambiente (superior al 80%), junto con la ausencia de heladas en el invierno precedente a la campaña, que favorece la supervivencia del inóculo inicial (Barrera, 2010).

En Tucumán, la principal variedad cultivada, LCP 85-384, perdió su resistencia a la roya marrón en el año 2005, incrementando la presión de inóculo del patógeno a partir de ese momento (Ramallo *et al.*, 2005). Actualmente, el porcentaje del área cañera ocupada por la misma es de 62,5%, valor que fue disminuyendo en las últimas campañas debido a la incorporación de las nuevas variedades liberadas por el Subprograma de mejoramiento genético de caña de azúcar, Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (SMGCA-EEAOC) (Henríquez *et al.*, 2023). El predominio de esta variedad susceptible ocasionó un aumento de la presión de inóculo de la enfermedad en Tucumán y un cambio en el comportamiento de variedades que habían sido catalogadas como resistentes al momento de su liberación al cultivo comercial (Bertani *et al.*, 2021; 2022).

En la campaña 2022/2023, las temperaturas registradas en Tucumán durante febrero-marzo fueron elevadas (Forciniti *et al.*, 2023). Esto, sumado a la pronunciada sequía causada por el fenómeno de “La Niña”, retrasó la expresión de la enfermedad en los cañaverales hasta mayo de dicha campaña. (Bertani *et al.*, 2023).

Durante la presente campaña 2023/2024, se detectó una manifestación temprana de la roya marrón durante los primeros días del mes de octubre. Se

observaron lotes con una elevada severidad de la enfermedad, afectando al cultivo en etapas tempranas de su desarrollo, mostrando una disminución del área foliar fotosintéticamente activa. Cabe destacar que, durante este período, no se dieron las condiciones ambientales necesarias para la manifestación de la enfermedad (<https://agromet.eeaoc.gob.ar/index.php>); este suceso causó inquietud por parte de técnicos de la Sección Fitopatología de la EEAOC y del sector cañero.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la prevalencia y severidad de la roya marrón en las zonas cañeras de la provincia de Tucumán, a fin de determinar el estado sanitario de las variedades comerciales y su comportamiento frente a la enfermedad.

Materiales y métodos

A inicios del mes de octubre de 2023, luego de detectar la presencia de síntomas de roya marrón en lotes comerciales de caña de azúcar en Tucumán, se procedió a realizar un monitoreo en el área cañera de la provincia para estimar la severidad y prevalencia de la enfermedad. El área evaluada fue dividida en tres zonas: norte, centro y sur. Los departamentos monitoreados fueron: Burruyacú, Cruz Alta, Famaillá, Leales, Lules, Monteros, Río Chico y Simoca. Las variedades consideradas en la evaluación fueron: LCP 85-384, TUC 95-10, TUCCP 77-42, TUC 03-12, TUC 97-8, TUC 00-19, TUC 02-22, TUC 00-65 y TUC 06-7 (Figura 1).

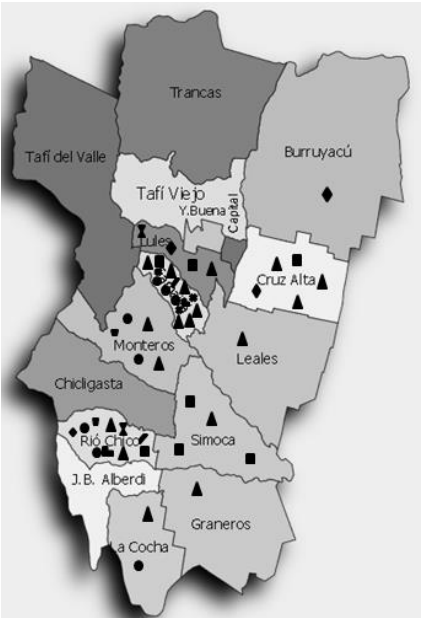


Figura 1. Prospección de roya marrón en Tucumán, Argentina. Campaña 2023/2024.

El procedimiento consistió en seleccionar en cada lote y determinar la severidad de roya

▲	LCP 85-384
●	TUC 95-10
■	TUC 06-7
◆	TUC 03-12
●	TUC 02-22
■	TUC CP 77-42
▲	TUC 97-8
●	TUC 00-65
■	TUC 00-19

20 puntos al azar marrón utilizando

la escala diagramática de 0 a 9 según las recomendaciones del Comité de Patología ISSCT donde 0 es ausencia de síntomas y 9 corresponde a valores de afección mayor al 50% del área foliar afectada. Las plantas con un valor de 0 a 2 en la escala de severidad se consideran resistentes, de 3 a 4 moderadamente resistentes y de 5 a 9 susceptibles (Hutchinson, P.B. and Daniels, J. 1971). En base a esto se tomaron valores promedio de severidad de roya marrón en variedades comerciales de caña de azúcar de cada lote evaluado.

Resultados

Entre octubre del 2023 y enero del 2024 se evaluaron 51 lotes comerciales; nueve en la zona norte, 18 en la zona centro y 24 en la zona sur. La roya marrón presentó una prevalencia del 74,5% a nivel provincial; la zona más afectada fue la zona centro, con un 77,8% de lotes con síntomas de la enfermedad, seguida de la zona sur y la norte, con un 75,0% y un 66,7%, respectivamente (Figura 2).

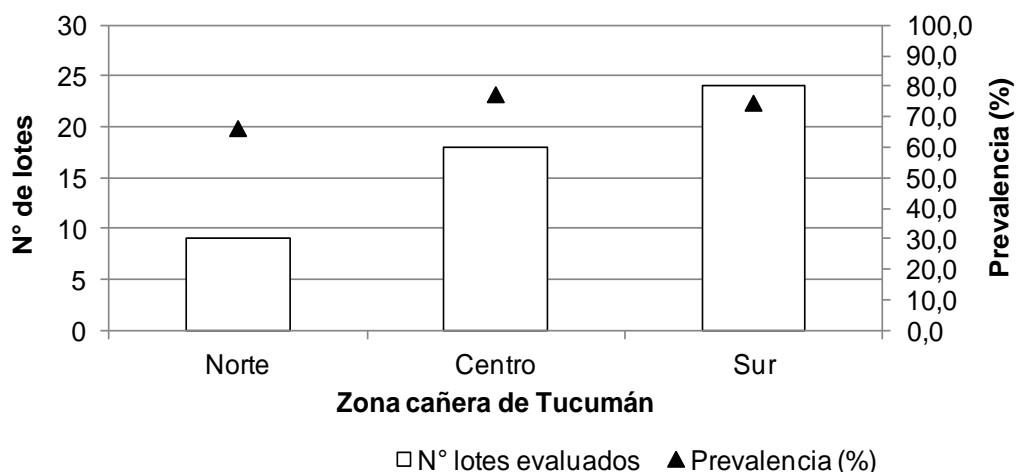


Figura 2. Distribución zonal de prevalencia de roya marrón en Tucumán, Argentina. Campaña 2023/2024.

LCP 85-384 presentó síntomas de roya marrón en todos los departamentos evaluados, con excepción de La Cocha (Figura 2). Se observaron valores de severidad promedio superiores a cuatro sólo en los departamentos de Famaillá, Lules y Monteros (Figura 2), siendo Lules el departamento donde alcanzó el máximo valor de la escala (9). Por su parte, TUC 95-10 y TUC 06-7 mostraron un comportamiento susceptible en lotes ubicados en Famaillá y Monteros y en Lules y Simoca, respectivamente (Figura 2); sin embargo, tuvieron un comportamiento resistente o moderadamente resistente en el resto de los departamentos evaluados.

Los elevados valores de severidad de TUC 06-7, fueron observados en aquellos lotes que se evaluaron tempranamente (octubre del 2023). Probablemente, el retraso de la cosecha ocasionó la presencia de lotes de caña

en pie que sirvieron como fuente de inóculo para aquellos lotes que se encontraban en etapa de brotación, causando la manifestación temprana de la enfermedad.

En contraposición, TUC 03-12, TUC 02-22, TUC 00-65, TUC 00-19 y TUC 97-8 mostraron un comportamiento resistente frente a la roya marrón al momento de la evaluación (Figura 3).

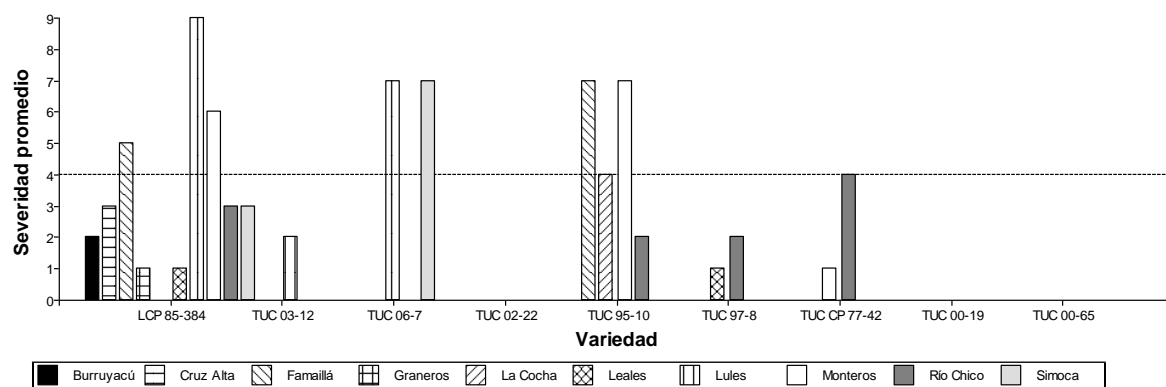


Figura 3. Valores promedio de severidad de roya marrón, en variedades comerciales de caña de azúcar, en diferentes localidades de Tucumán, Argentina. Campaña 2023-2024. (--) la línea para un valor de escala de 4 indica el cambio de reacción de resistente a susceptible.

Conclusiones

En la presente campaña se detectó la presencia de roya marrón de manera temprana, a partir de octubre del 2023; a pesar de que las condiciones ambientales no fueron predisponentes para el desarrollo de enfermedad. La presencia de lotes de caña en pie, con síntomas de roya marrón, debido al extendido período de cosecha (mayo a noviembre) (<http://www.ipaat.gov.ar/nota/139/inicio-de-zafra-ingenios-tucuman>), puede haber servido de fuente de inóculo para aquellos lotes que habían sido cosechados al inicio de zafra y se encontraban en etapa de brotación, causando la manifestación temprana de la enfermedad.

TUC 06-7 y TUC 95-10 fueron las primeras variedades en manifestar síntomas de la enfermedad; mientras que LCP 85-384, susceptible a roya marrón, presentó lotes afectados meses más tarde.

Con respecto al resto de las variedades TUC, se destacaron TUC 02-22, TUC 00-19, TUC 00-65 y TUC 03-12, quienes presentaron un comportamiento resistente frente a la enfermedad.

Este es el primer reporte, en la provincia de Tucumán, de la manifestación de roya marrón en caña de azúcar en el período de brotación y macollaje. Esto pone en evidencia la necesidad del monitoreo constante de los cañaverales, resaltando la necesidad de diversificación varietal en el área cañera de Tucumán, de manera de evitar el quiebre de resistencia por parte de variedades de buen comportamiento sanitario.

Resulta necesario, por un lado, realizar estudios para determinar el posible efecto en la pérdida de rendimiento de los cañaverales ante ataques tempranos de roya marrón y, por el otro, abordar la evaluación de posibles cambios en las condiciones de temperatura y mojado foliar requeridos por *Puccinia melanocephala* para la infección de caña de azúcar.

Citas bibliográficas

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.

Bertani R. P.; Funes C.; Lobo J. A.; Joya C. M.; Monachesi M. A. y González V., 2023. Principales enfermedades que afectaron al cultivo de la caña de azúcar en Tucumán durante la campaña 2022/2023. Reporte Agroindustrial EEAOC 280.

Bertani, R.P.; Funes, C.; Joya, C.M.; Lobo, J.A.; Chaves, S.; Monachesi, M.A. y González, V. 2022. Panorama sanitario del cultivo de la caña de azúcar en Tucumán durante la campaña 2021/2022. Reporte Agroindustrial 265: 1-10, <https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=panorama-sanitario-del-cultivo-de-la-cana-de-azucar-en-tucuman-durante-la-campana-2021-2022>.

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. Estado sanitario del cultivo de la caña de azúcar en Tucumán durante la campaña 2020/2021. Reporte Agroindustrial, 230: 1-9, <https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=estado-sanitario-del-cultivo-de-la-cana-de-azucar-en-tucuman-durante-la-campana-2020-2021>.

Funes C.; Bertani R. P.; Henriquez D. D.; Joya C. M.; González V. 2014. Ficha técnica 2. Revista Avance Agroindustrial EEAOC. [https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/14996/CONICET_Digital_Nro.18080.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=La%20roya%20marr%C3%B3n%20de%20la,las%20hojas%20\(Figura%201\).](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/14996/CONICET_Digital_Nro.18080.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=La%20roya%20marr%C3%B3n%20de%20la,las%20hojas%20(Figura%201).)

Funes C.; Henriquez D. D.; Bertani R. P.; Joya C. M.; González V.; Romero E. R. y Ploper L.D., 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).

Henriquez D. D.; Medina P.; Aybar Guche M.; Figueroa M. F.; Costilla D. D.; Díaz J. V.; Díaz Romero C. y Ostengo S., 2023. Relevamiento de la distribución varietal y del uso de otras tecnologías en el cultivo de caña de azúcar en la provincia de Tucumán: campaña 2022/2023. Reporte Agroindustrial EEAOC 282.

Hutchinson P. B., & Daniels J. 1971. A rating scale for sugarcane characteristics. In Proc. XIVth ISSCT Congress, Baton Rouge, Louisiana, USA. ISSCT, Mauritius (pp. 128-131).

Ramallo J. C.; Ploper L. D.; Brito E. y Giardina J. 2005. Distribución y severidad de la roya marrón de la caña de azúcar en la variedad LCP 85-384 en Tucumán. Revista Avance Agroindustrial, 26(1):9-11.

BENEFICIOS DE *VICIA VILLOSA* EN INTERCULTIVO CON CAÑA DE AZÚCAR: ANÁLISIS DEL ARREGLO ESPACIAL Y DEL RENDIMIENTO

Martínez Calsina, L.¹; Sáez, J.V.¹; Fontana, P.D.¹; Felipe, A.¹; Zerrizuela, S.C.¹; Gallac, M.¹; Pérez Gómez, S.¹; Vallejo, J.I.²; Acreche, M.M.³; Erazzú, L.E.¹

1. EEA Famaillá, CR Tucumán-Santiago del Estero, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Ruta Provincial 301, km 32, Famaillá (4132), Tucumán, Argentina. martinez.luciana@inta.gov.ar

2. IIACS, CIAP, INTA, Leales, Tucumán, Argentina. 3. EEA Salta, CR Salta-Jujuy, INTA, Salta, Argentina

Palabras clave: cultivo de servicios ecosistémicos, estatus hídrico, nutrición nitrogenada

Introducción

El intercultivo con leguminosas fijadoras de nitrógeno en los sistemas de cultivo de gramíneas, es una práctica de manejo ampliamente estudiada y utilizada en diversos países del mundo. En la actualidad, esta práctica ha tomado gran relevancia debido a la necesidad de recuperar suelos degradados, mejorar el ciclado de nutrientes, reducir la demanda de insumos extra-prediales y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas productivos deteriorados por muchos años de monocultivo (Ali Raza *et al*, 2024; Pinto *et al*, 2017, Piñeiro *et al*, 2014).

Diversos estudios demostraron que los sistemas de producción de monocultivo de caña de azúcar fueron desarrollando signos de degradación edáfica, tanto físico-química como biológica, con el transcurso del tiempo (Tesouro *et al*, 2016; Fontana *et al*, 2019). La degradación edáfica compromete la adecuada provisión de servicios ecosistémicos, especialmente los de provisión y regulación. Por ende, en estos ambientes con suelos degradados, se reportó una fuerte asociación entre el funcionamiento edáfico (e.g. disponibilidad de nutrientes, captura y uso del agua) y el incremento en el uso de fertilizantes para sostener los niveles productivos. Sumado a esto, Chalco Vera *et al.*, (2017) demostraron que la fertilización sintética del cultivo de caña de azúcar es responsable de elevadas emisiones de óxido nitroso, uno de los más perjudiciales gases de efecto invernadero.

En las zonas de Tucumán donde se cultiva caña de azúcar, durante los últimos 20 años se ha adoptado la práctica de rotación con soja al momento de renovar los cañaverales (Fandos *et al.*, 2021). Este manejo, según Garside *et al.* (2001), permitió incrementar el rendimiento en caña en azúcar en un 20% y un 30% para caña planta y caña soca 1, respectivamente, sin efectos positivos a partir de soca 3.

Cuando la cosecha del cultivo se realiza en fechas extra-tempranas (mayo) o tempranas (junio-julio), se abre un período de cuatro a seis meses en los que el cultivo de caña de azúcar no se desarrolla. En caso de que la brotación eventualmente ocurra, esta se produce con tasas de crecimiento muy bajas debido a las bajas temperaturas y a la escasez de precipitaciones (Saez, 2017). Durante este período, surge la oportunidad de incorporar leguminosas fijadoras de nitrógeno al sistema de caña de azúcar. Entre diversas opciones, la *Vicia villosa* destaca por su conocida adaptación agroclimática, su hábito de crecimiento rastrero y su alta tasa de descomposición, convirtiéndola en una alternativa emergente.

En un contexto actual que demanda la generación de información de base para entender los beneficios del uso de cultivos de servicios ecosistémicos en el sector sucro-alcoholero de Tucumán, el objetivo fue diseñar un sistema de

intercultivo caña de azúcar-*Vicia villosa*. Para ello, se compararon diferentes opciones de arreglo espacial de *Vicia villosa* en intercultivo con caña de azúcar. A su vez, se evaluó el efecto interactivo del intercultivo y de la fertilización sobre el rendimiento cultural de caña de azúcar.

Materiales y métodos

Los experimentos se llevaron a cabo en un campo, en la región agroecológica de la Llanura deprimida seca-subhúmeda, Viclos, Tucumán. En base a la serie histórica de 1962-1982 (Sección Agrometeorología, EEAOC), el ambiente se caracteriza por evapotranspiración y precipitación acumuladas anual promedio de 1278 mm y 827 mm, respectivamente. El suelo es un haplustol típico (USDA, 2006) de textura franca, con valores promedios, en los primeros 20 cm de suelo, de 22,7 g/kg de materia orgánica; pH 6,5; CE 0,16 dS/m; N total 0,12 g/100g y 9 mg/kg de P (Laboratorio de Suelos, EEA Famaillá, INTA).

Tres experimentos a campo fueron establecidos sobre la variedad LCP 85-384. En todos los experimentos, la implantación y la cosecha de caña de azúcar fueron realizadas por el sistema mecanizado. La cosecha anual de caña de azúcar fue extra-temprana (mayo). En los tratamientos de intercultivo o monocultivo con fertilizantes, la fertilización fue realizada anualmente con un fertilizante orgánico (Dix 10 N) a una dosis equivalente de 1,38 kg/surco de caña de azúcar. Para los tratamientos de intercultivo (caña de azúcar-leguminosa) el cultivo de servicios ecosistémicos utilizado fue *Vicia villosa*, variedad Ascasubi INTA, inoculada con *Rhizobium leguminosarum* bv viciae. Para la siembra de *V. villosa* se utilizó una sembradora experimental de soja (Marca Baumer). La siembra fue realizada en forma directa sobre el RAC de caña de azúcar en junio. Los experimentos 1 y 2 se llevaron a cabo en un mismo lote cultivado con caña de azúcar durante las campañas 2019/20 y 2020/21, correspondientes a las edades de soca 1 y soca 2, respectivamente. El experimento 3, se realizó en tres lotes diferentes, del mismo campo, en edad de soca 1, durante las campañas 2020/21 a 2022/23.

El Experimento 1 consistió en tres densidades de siembra (8, 15 y 30 kg/ha de semilla distribuidas en 124 surcos/ha) de *Vicia villosa* en intercultivo con caña de azúcar. El Experimento 2 fue diseñado para comparar el número (62 y 124 surcos/ha) y la ubicación (central o costillas) de los surcos de *Vicia villosa* en intercultivo con caña de azúcar manteniendo una densidad fija (15 kg/ha) de semillas. Por su parte, el Experimento 3 consistió en siete tratamientos resultantes de la combinación de dos sistemas (monocultivo e intercultivo), dos niveles de fertilización (con y sin fertilizante) y tres campañas consecutivas. Las evaluaciones de *Vicia villosa* fueron realizadas al inicio de la fase fenológica de floración (noviembre). Seguidamente, el ciclo de crecimiento de *V. villosa* fue interrumpido mecánicamente. Además, mensualmente se registró el contenido de agua útil en el primer metro de profundidad del suelo. En el cultivo de caña de azúcar se midió el potencial agua al amanecer e índice SPAD en la fase de macollaje, mientras que el rendimiento cultural fue cuantificado previo a la cosecha.

Al no haber encontrado diferencias edáficas que justifiquen un diseño experimental en bloques, se decidió utilizar, para todos los experimentos, un diseño en franjas con tres pseudoréplicas por tratamiento. Cada unidad experimental consistió en 5 surcos de caña de azúcar de 18 m de largo (144 m²)

distanciados a 1,6 m. La comparación de medias se realizó con la prueba de LSD de Fisher ($\alpha = 0,01$). Se utilizó el paquete estadístico R.

Resultados

En la Figura 1 se muestran los valores acumulados mensuales de precipitación y evapotranspiración, desde junio de 2019 a mayo de 2023 (EEAOC; <https://agromet.eeaoc.gob.ar/>). La pluviometría fue menor al valor promedio de la serie histórica, particularmente durante los meses de diciembre, enero y febrero, con una reducción entre 40 – 60 % en comparación al promedio histórico.

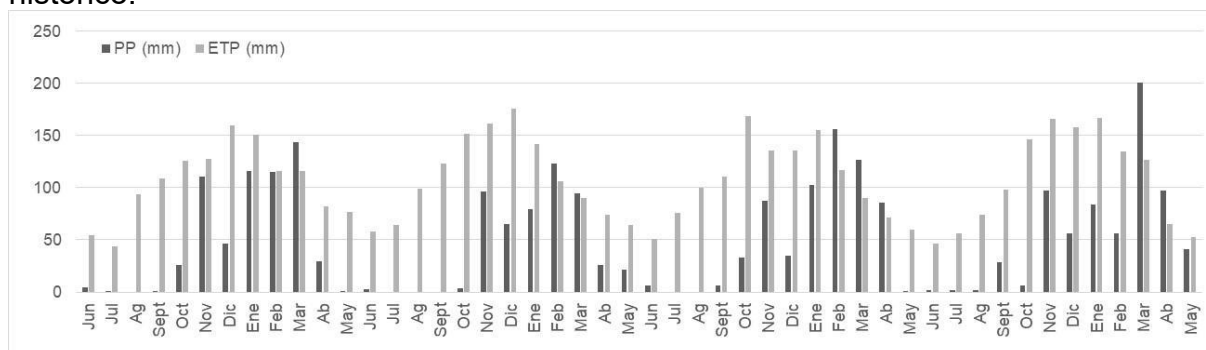


Figura 1: Valores acumulados mensuales de precipitación (PP, mm) y evapotranspiración (ETP; mm) desde junio de 2019 a mayo 2023 (<https://agromet.eeaoc.gob.ar/>). Datos de una estación meteorológica automática, Davies Vantage Pro2, procesados y proporcionados por los técnicos de la Sección Agrometeorología, EEAOC.

Experimento 1: Densidades de siembra de Vicia villosa en intercultivo con Caña de azúcar

El número de plantas establecidas de *Vicia villosa* mostró un orden decreciente según la densidad de siembra utilizada, desde 29,33 pl/m lineal (alta densidad), 15,77 pl/m lineal (densidad intermedia) y 7,52 pl/m lineal (baja densidad). Sorpresivamente, no se observó diferencias en la biomasa aérea de *Vicia villosa* acumulada hasta el inicio de floración (Figura 2) entre las densidades alta e intermedia. Como era de esperarse, el tratamiento de menor densidad de siembra (8 kg/ha) acumuló menor cantidad de biomasa aérea, comparado con los otros dos tratamientos evaluados. Resultados similares fueron expresados por la biomasa radical de *V. villosa* (datos no presentados).

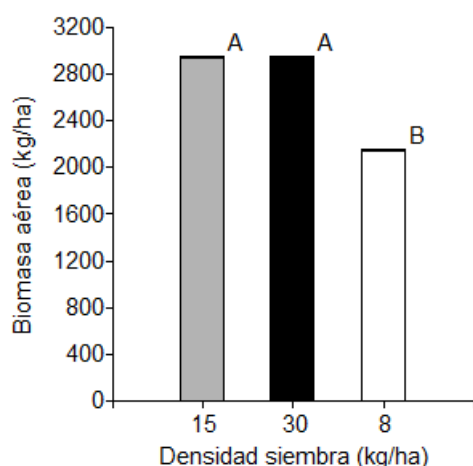


Figura 2: Biomasa aérea (kg/ha) de *Vicia villosa* acumulada a inicio de floración para tres densidades de siembra: 8, 15 y 30 kg/ha (124 surcos/ha). Valores promedio de dos años de evaluación en un lote Soca 1 y Soca 2 de Caña de azúcar, en Viclos, Tucumán. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,01$).

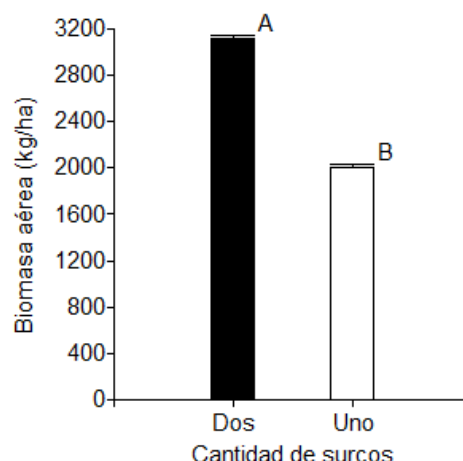


Figura 3: Biomasa aérea (kg/ha) de *Vicia villosa* acumulada a inicio de floración para dos cantidades de surcos por hectárea: 62 y 124 surcos/ha. Valores promedio de dos años de evaluación en un lote Soca 1 y Soca 2 de Caña de azúcar, en Viclos, Tucumán. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,01$).

Experimento 2: Comparación entre el número y ubicación de los surcos de *Vicia villosa* en intercultivo con Caña de azúcar.

El tratamiento en el cual se sembró un solo surco de *Vicia villosa*, ubicado en el centro de cada entresurco de caña de azúcar (62 surcos/ha), alcanzó 63,75 % de cobertura total del entresurco al inicio de floración. En comparación, el tratamiento con dos surcos de *Vicia villosa* sembrados uno en cada costilla del surco de caña de azúcar (124 surcos/ha), alcanzó en promedio 92,27 % de cobertura total del entresurco a igual estado fenológico. A su vez, el tratamiento de 124 surcos/ha acumuló mayor cantidad de biomasa aérea que el tratamiento de 62 surcos/ha (Figura 3). Similares resultados se obtuvieron para biomasa radical producida (datos no presentados).

Experimento 3: Efecto de la interacción de la fertilización con el intercultivo de *Vicia villosa* sobre el rendimiento cultural de Caña de azúcar

En cuanto al rendimiento cultural de la caña de azúcar, se observó una interacción simple en relación con la variable de campaña evaluada, así como una interacción doble entre el sistema de cultivo y la fertilización. Sin embargo, la interacción triple entre la campaña, el sistema y la fertilización no mostró significancia estadística. En la Figura 4 se expone el rendimiento cultural de caña de azúcar (t/ha) en función de la interacción doble (sistema*fertilización) separado por campaña evaluada. En las dos primeras campañas (2020/21 y 2021/22) los rendimientos culturales fueron decrecientes en el siguiente orden: intercultivo fertilizado > intercultivo sin fertilizar > monocultivo fertilizado > monocultivo sin fertilizar. Mientras que en la última campaña evaluada (2022/23),

no se observaron diferencias en rendimiento cultural entre niveles de fertilización para intercultivo, los cuales fueron superiores al monocultivo fertilizado y sin fertilizar.

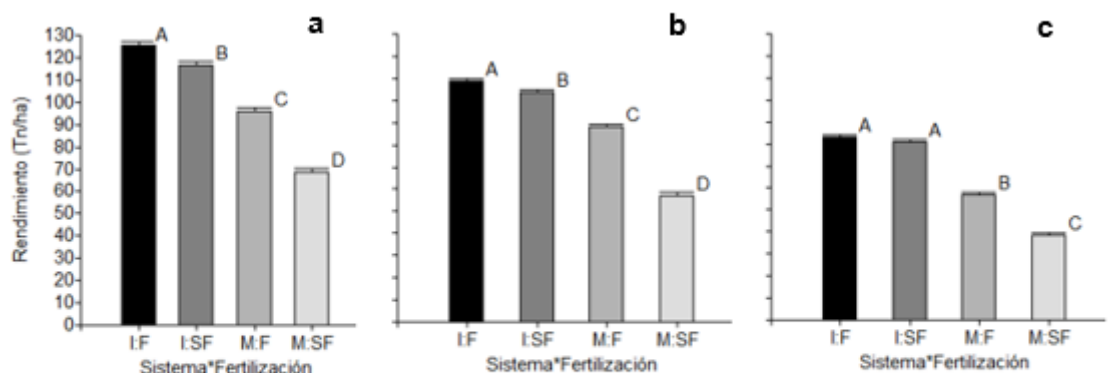


Figura 4: Rendimiento cultural (Tn/ha) de Caña de azúcar, Soca 1, para diferentes combinaciones de sistemas y fertilización: IF: Intercultivo Fertilizado; ISF: Intercultivo Sin Fertilizar; MF: Monocultivo Fertilizado; MSF: Monocultivo Sin Fertilizar; a) Cosecha 2021; b) Cosecha 2022; c) Cosecha 2023, en Vicos, Tucumán. Letras distintas indican diferencias significativas ($p<0,01$).

Las diferencias en el rendimiento cultural de caña de azúcar se asociaron a mayores cantidades de agua útil en el primer metro de perfil de suelo (datos no presentados). Durante el período de crecimiento activo de caña de azúcar, los tratamientos de intercultivo acumularon entre un 10 y un 20 % más de agua útil comparados a los tratamientos de monocultivo. Estas diferencias se pueden apreciar en el estatus hídrico (potencial agua al amanecer, Tabla 1) y nitrogenado (índice SPAD, Tabla 2) del cultivo de caña de azúcar medidos en la fase de macollaje.

Tabla 1: Potencial agua al amanecer (MPa) en macollaje de Caña de azúcar Soca 1

Sistema*Fertilización	Campaña 20/21	Campaña 21/22	Campaña 22/23	E.E
Intercultivo*Fertilizado	-0,37 Aa	-0,41 Ab	-0,53 Ac	0,01
Intercultivo*Sin Fertilizar	-0,38 Aa	-0,43 Ab	-0,57 Ac	0,01
Monocultivo*Fertilizado	-0,50 Ba	-0,55 Ba	-0,78 Bb	0,01
Monocultivo*Sin Fertilizar	-0,77 Ca	-0,81 Cb	-0,90 Cc	0,01
E.E	0,01	0,01	0,01	

Letras mayúsculas indican diferencias significativas ($p<0,01$) para la interacción sistema*fertilización para cada campaña estudiada (columnas) y letras minúsculas indican diferencias significativas ($p<0,01$) entre años para la interacción sistema*fertilización (filas).

Tabla 2: Índice SPAD en macollaje de Caña de azúcar Soca 1

Sistema*Fertilización	Campaña 20/21	Campaña 21/22	Campaña 22/23	E.E
Intercultivo*Fertilizado	40,47 Aa	38,30 Ab	37,20 Ab	0,3 0
Intercultivo*Sin Fertilizar	40,22 Aa	37,51 Bb	36,55 Ab	0,1 8
Monocultivo*Fertilizado	38,80 Aa	36,87 Bb	33,40 Bc	0,1 6
Monocultivo*Sin Fertilizar	32,10 Ba	30,15 Cb	28,30 Cb	0,3 6
E.E	0,37	0,15	0,23	

Letras mayúsculas indican diferencias significativas ($p < 0,01$) para la interacción sistema*fertilización para cada campaña estudiada (columnas) y letras minúsculas indican diferencias significativas ($p < 0,01$) entre años para la interacción sistema*fertilización (filas).

En la Tabla 1 se puede observar que hubo diferencias en el estatus hídrico entre campañas evaluadas, siendo la campaña 2022/23 la de mayor estrés hídrico. Sin embargo, para las tres campañas, los tratamientos de intercultivo expusieron menor estrés hídrico que los tratamientos de monocultivo fertilizado, siendo el tratamiento de monocultivo sin fertilizar el que expuso el mayor estrés hídrico. En cuanto al estatus nitrogenado (Tabla 2), si bien los tratamientos de intercultivo, fertilizado y sin fertilizar, tuvieron una caída entre la primera y la segunda campaña, los mismos pudieron mantenerlo en la tercer campaña, a pesar del mayor estrés hídrico (Tabla 1). Contrariamente el tratamiento de monocultivo fertilizado disminuyó su estatus nitrogenado a medida que aumentó el estrés hídrico. Por su parte, el estatus nitrogenado fue el menor para el tratamiento de monocultivo sin fertilizar, en todas las campañas, independientemente del déficit hídrico (Tabla 1). Estos hallazgos sugieren que hay un efecto positivo del intercultivo sobre el estatus hídrico y sobre la captura de nitrógeno, lo cual estuvo en consonancia con lo observado en rendimiento cultural de caña de azúcar.

Finalmente, la producción de biomasa aérea y radical de *Vicia villosa* también fue menor en la campaña 2022/23 (2862,83 y 1506,42 kg/ha, respectivamente), comparada con las producciones alcanzadas en las dos campañas previas, las cuales no mostraron diferencias entre ellas (3092,44 kg/ha y 1695,58 kg/ha, respectivamente).

Conclusiones

La siembra de *Vicia villosa* en lotes de caña de azúcar cosechados de manera extra-temprana (mayo) resultó una práctica de manejo adecuada. En base a los resultados evaluados, el mejor arreglo espacial fue de dos surcos ubicados en las costillas del surco de caña de azúcar y sembrados a una densidad de 15 kg/ha, resultando en un total de 124 surcos/ha de *V. villosa*.

El rendimiento cultural de caña de azúcar fue mayor en los tratamientos de intercultivo comparados los de monocultivo. Las caídas de rendimiento cultural a mayor déficit hídrico fueron menores en los tratamientos de intercultivo (cerca al 30%), seguidas del tratamiento de monocultivo fertilizado (40%), siendo el tratamiento de monocultivo sin fertilizar el que mostró mayor caída del rendimiento (45%).

Citas bibliográficas:

- Ali Raza, M; *et al.* 2024. Sugarcane/soybean intercropping enhances crop productivity, nutrient uptake, and net economic return with reduced inputs. *Field Crops Research*. Volume 314.
- Chalco Vera, J., Valeiro, A., Posse, G., Acreche, M.M. 2017. To burn or not to burn: The question of straw burning and nitrogen fertilization effect on nitrous oxide emissions in sugarcane. *Science of The Total Environment* 587–588, 399–406.
- Fandos *et al.* 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* Tomo 98 (2): 29-35.
- Fontana, P.D ; *et al.* 2019. MLST Reveals a separate and novel clonal group for *Acidovorax avenae* starins causing red strip in Sugarcane from Argentina. *Phytopatology*, 109:358-365.
- Garside, A. L.; M. J. Bell; J. E. Berthelsen and N. V. Halpin. 2001. Species and management of fallow legumes in sugarcane farming systems. *Proceedings 10 th Australian Agronomy Conference*
- Pinto, P; Fernandez Long, ME; Piñeiro, G. 2017. Including cover crops during fallow periods for increasing ecosystem services: Is it possible in croplands of Southern South America? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 248: 48-57.
- Piñeiro, G; Pinto, P; Arana, S; Sawchik, J; Díaz, JI; Gutiérrez F; Zarza, R. 2014. Cultivos de Servicio: integrando la ecología con la producción agrícola. En XXVI Reunión Anual de Ecología. ISBN 978-987-1937-40-0.
- Saez, JV. 2017. Dinámica de acumulación de sacarosa en tallos de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) modulada por cambios en la relación fuente-destino. Tesis Doctoral. FCA, UNC. <http://hdl.handle.net/11086/6836>
- Tesouro, O; Roba, M; Romito, A; Fernández de Ulivarri, E; Donato, L; Neiman, O. 2016. Cultivo de caña en Famaillá: Estudio de caso. Propiedades físicas del suelo: Evolución e impacto en el rendimiento del cultivo. Informe Técnico N° 29. Ediciones INTA. ISSN 1852-3080.
- USDA. 2006. Claves para la taxonomía de suelos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos Servicio de Conservación de Recursos Naturales. Décima Edición.

Agradecimientos: Los autores agradecen especialmente a los técnicos de la Sección Agrometeorología de la Estación Experimental Obispo Colombes: Lorena Soulé Gómez, Jorge Forciniti, Martín Leal y José María Medina, por la obtención y procesamiento de los datos agrometeorológicos y a la institución por permitir el uso de los mismos. A su vez, destacamos el trabajo de los auxiliares de INTA: Alejandro Abregú, Miguel Villarreal, Luis Nieva, Gerardo Cuello, Marcelo Galván y Fabián Mansilla, quienes hicieron posible este trabajo.

EFFECTO PROTECTOR DEL BIOINSUMO HOWLER® EN CAÑA DE AZÚCAR FRENTE AL INSECTO PLAGA *DIATRAEA SACCHARALIS* EN CONDICIONES CONTROLADAS Y EN CAMPO

Michavila G.^{1*}; Budeguer F.^{1*}; Padilla A.E.^{1*}; Pérez P.¹; Gastaminza G.¹; Ostengo S.¹; Racedo J.¹; Noguera A.S.¹; Chalfoun N.R.¹

*contribuyeron igual

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, Argentina.

Palabras Clave: biocontrolador, gusano barrenador

INTRODUCCIÓN

La principal plaga del cultivo de la caña de azúcar es el gusano barrenador *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae). En estado adulto la mariposa ovipone en las hojas de la caña. Las larvas se alimentan de la vaina y luego perforan el tallo formando galerías en el interior, las cuales constituyen puntos de entrada de hongos y bacterias. Como consecuencia se produce una reducción del contenido de sacarosa, lo cual afecta el rendimiento de azúcar recuperado y causa pérdidas económicas que oscilan alrededor de 58.000 tn de azúcar por año en la provincia de Tucumán (Pérez *et al.* 2023). Si bien a nivel mundial existen algunas estrategias para controlar *D. saccharalis* (métodos culturales, biológicos y químicos), éstas no han sido suficientemente efectivas en nuestra región. Actualmente, es deseable disponer de herramientas biotecnológicas complementarias que permitan controlar la sanidad de los cultivos de manera sustentable. La tendencia mundial en la agricultura moderna apunta a la implementación de bioinsumos antiestresantes, con efecto de protección frente a diferentes factores de estrés biótico y/o abiótico. Un bioinsumo con esta tecnología fue patentado y desarrollado en el Instituto de Tecnología Agroindustrial del Noroeste Argentino (ITANOA), y está disponible comercialmente con el nombre de Howler (Summit-Agro). Este producto posee como ingrediente activo una proteasa fúngica con actividad inductora de la defensa vegetal denominada AsES. Previamente se demostró que esta proteasa confiere protección sistémica frente a enfermedades virales, bacterianas y fúngicas en diferentes especies vegetales, incluyendo caña de azúcar (Chalfoun *et al.* 2013; Hael-Conrad *et al.* 2018, Chalfoun *et al.* 2018a; 2018b; Caro *et al.* 2022). Estudios moleculares del efecto de AsES en la especie modelo *Arabidopsis thaliana*, confirmó la activación de las tres vías de señalización de la defensa mediadas por las fitohormonas ácido salicílico, etileno y ácido jasmónico (JA). A partir de estos resultados se planteó la hipótesis que la acumulación de JA por el bioinsumo Howler en plantas induce un efecto protector frente al ataque de insectos. En caña de azúcar, se ha demostrado que una doble aplicación de Howler al 20% (4 y 2 días antes de la infestación) otorga una protección frente al ataque del insecto en plantas pequeñas, sin entrenudos, disminuyendo la mortalidad de plantas en un 37% (Budeguer 2020).

Objetivos

Evaluar el efecto de Howler en la protección de plantas de caña de azúcar con entrenudos frente al ataque de *D. saccharalis*, bajo condiciones controladas de infestación y en condiciones naturales de infestación en campo.

Materiales y métodos

Ensayos en condiciones controladas:

Se utilizaron plantas de caña de azúcar de la variedad TUC 95-10 con dos o más entrenudos en macetas de 4 l, colocando en cada planta diez larvas L1 de *D. saccharalis*. El ensayo se realizó dos veces en forma independiente, y se evaluaron dos tratamientos (Howler vs. control (agua)), con 30 repeticiones (plantas) por cada uno.

Ambos tratamientos recibieron dos aplicaciones foliares 4 y 2 días antes de la infestación (día 0) hasta punto de goteo, uno con el bioinsumo Howler al 20% y el control con Tween 20 al 0,02% (v/v). El volumen de aplicación usado fue de 5 ml/planta. La infestación se realizó colocando cinco larvas en el cogollo y otras cinco en la hoja +1 de cada planta.

A los 30 días de la infestación se analizaron las variables número (n°) de hojas, vainas y entrenudos con daño y la relación entre la longitud de galería y del tallo expresada en porcentaje, denominada daño en tallo. Los datos fueron analizados mediante un modelo lineal generalizado bajo distribución binomial con función de enlace logit. Se usó el test de comparación de medias DGC (Di Rienzo *et al.* 2018).

Ensayos en condiciones de campo:

Se realizaron dos ensayos durante la campaña 2022-23 en lotes comerciales del cultivo con manejo convencional, en edad de soca 1. Se evaluó la variedad LCP 85-384 en la localidad de Los quemados (Dpto. Leales) y TUC 95-10 en dos localidades, Los Quemados y La Tuna (Dpto. Burruyacú). Ambos ambientes se caracterizan por una fuerte presión del insecto plaga. Se evaluaron tres tratamientos con 4 cuatro repeticiones cada uno, distribuidas en bloques completamente aleatorizados. Cada parcela (repetición) consistió en 11 surcos de 50 m de largo.

Los tratamientos consistieron en una única aplicación foliar de Howler mediante dron en estadio fenológico de macollaje (aproximadamente a los 20 días posteriores a la fertilización nitrogenada), a diferentes dosis (4 l/ha o 40 l/ha), combinado con el coadyuvante Optimizer (Bayer) a la dosis comercial (2 cc/l de caldo). El testigo recibió la aplicación de agua con Optimizer a la dosis comercial.

El nivel de daño causado por *D. saccharalis* fue evaluado por la intensidad de infestación de la plaga (II%). Para ello, entre los meses de abril y mayo, se tomaron cinco muestras de diez tallos por cada parcela, y se realizó el recuento del número total de entrenudos y del número de entrenudos dañados encada tallo. Los datos fueron analizados mediante un análisis de la varianza bajo el enfoque de Modelos Lineales Generalizados Mixtos. El test de comparación de medias utilizado fue el LSD Fisher ($P < 0,05$) en R mediante Infostat (Di Rienzo *et al.* 2018).

Resultados

Efecto protector de Howler en caña de azúcar frente a *D. saccharalis* en condiciones controladas

En condiciones controladas de infestación se observó una reducción significativa ($P < 0,05$) en las variables n° de vainas y n° de entrenudos con daño en plantas aplicadas con Howler ($0,42 \pm 0,04$ y $0,26 \pm 0,03$, respectivamente), en comparación con el control aplicado con agua ($0,53 \pm 0,04$; y $0,36 \pm 0,04$, respectivamente). La misma tendencia se observó en la variable daño en tallo, destacándose una disminución en las plantas aplicadas con Howler ($5,00 \pm 0,98$) vs. el control aplicado con agua ($9,05 \pm 1,88$) (Figura 1). No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos en la variable n° de hojas con daño (dato no mostrado).

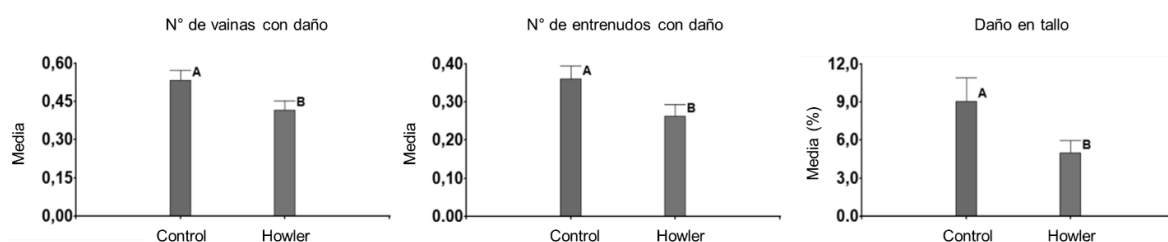


Figura 1. Efecto de Howler en la protección de la variedad TUC 95-10 de caña de azúcar frente a *D. saccharalis*. Se presentan las medias (\pm DS) de las características evaluadas bajo condiciones controladas de infestación en los tratamientos control (agua) y Howler. Análisis estadístico usado. Valor de P.

Efecto protector de Howler en caña de azúcar frente a *D. saccharalis* en condiciones naturales de infestación

Se observaron diferencias significativas entre tratamientos, con un menor nivel de daño en aquellos que recibieron la aplicación de Howler.

En Los Quemados, la variedad LCP 85-384 registró una II del 15% en el testigo. Los tratamientos con Howler evidenciaron una disminución significativa de II aproximadamente del 3% y 5% en relación al testigo para las dosis de 4 l/ha y 40 l/ha, respectivamente (Figura 2).

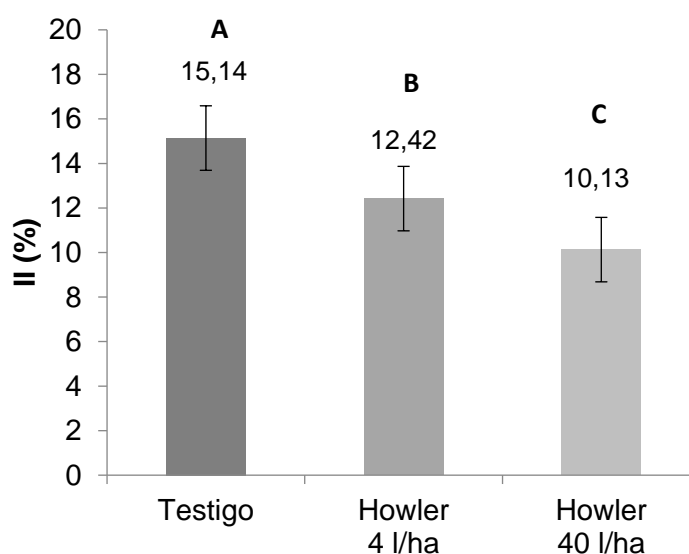


Figura 2. Intensidad de infestación de *D. saccharalis* registrada en parcelas de LCP 85-384 en la localidad de Los Quemados. Las dosis de Howler evaluadas fueron 4 l/ha y 40 l/ha y el testigo. Análisis estadístico utilizado. Valor de p.

En la variedad TUC 95-10, la mayor II% se registró en el tratamiento testigo en las dos localidades estudiadas, correspondiente a 16% en Los Quemados y 8% en La Tuna. Se observó una reducción significativa del 2-3% en el nivel de daño para el tratamiento con Howler 40 l/ha, siendo mayor la reducción (entre 4 y 5%) para el tratamiento con el bioinsumo aplicado a la dosis 4l/ha (Figura 3).

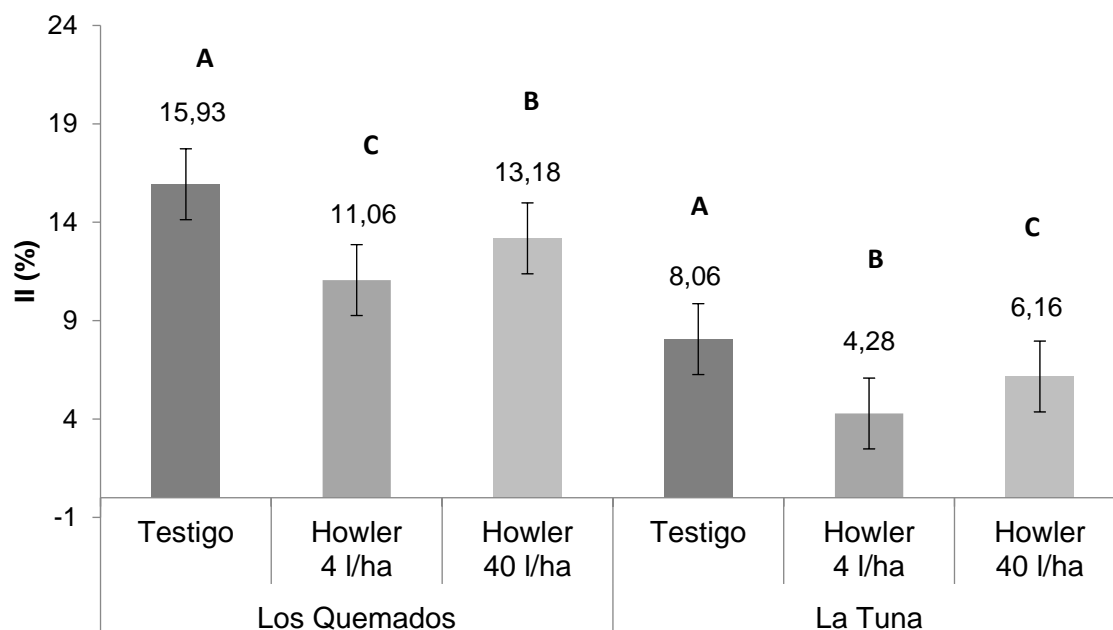


Figura 3. Intensidad de infestación de *Diatraea saccharalis* en TUC 95-10 en las localidades de Los Quemados y La Tuna. Los tratamientos evaluados fueron 4 l/ha y 40 l/ha de Howler, en comparación con el tratamiento testigo.

Conclusiones

La aplicación de Howler produce protección de la caña de azúcar contra el daño de *D. saccharalis*, tanto en condiciones controladas como en condiciones de campo (infestación natural). Una única aplicación del bioinsumo fue suficiente para reducir la intensidad de infestación del insecto plaga en las dos variedades estudiadas (LCP 85-384 y TUC 95-10). Ensayos complementarios deben ser realizados para determinar la dosis óptima para controlar *D. saccharalis* en campo.

Esta estrategia biotecnológica puede ser utilizada a futuro en un esquema de manejo más sostenible de *D. saccharalis* en el cultivo, tanto en sistemas de producción convencional como orgánica.

Apoyo financiero: EEAOC, PICT 2020-00243 de ANPCyT, PIP 2021-2023 GI (11220200101941CO01 de CONICET).

Bibliografía

Budeguer F., 2020. Estrategias biotecnológicas para el manejo sustentable del insecto plaga *Diatraea saccharalis* en caña de azúcar. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Tucumán.

Caro M.D.P.; Venturuzzi A.L.; Moschen S.; Salazar S.M.; Díaz-Ricci J.C. and Asurmendi S., 2022. A fungal protease named AsES triggers antiviral immune responses and effectively restricts virus infection in arabidopsis and *Nicotiana benthamiana* plants. *Annals of Botany*, 129(5): 593-606.

Chalfoun N.R.; Grellet-Bourmonville C.F.; Martínez-Zamora M.G.; Díaz-Perales A.; Castagnaro A.P. and Díaz-Ricci J.C., 2013. Purification and characterization of AsES protein: a subtilisin secreted by *Acremonium strictum* is a novel plant defense elicitor. *Journal of Biological Chemistry*, 288(20): 14098-14113.

Chalfoun N.R.; Durman S.B.; Budeguer F.; Caro M.D.P.; Bertani R.P.; Di Peto P.; ... and Castagnaro, A.P., 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 N.R.; Durman S.B.; González-Montaner J.; Reznikov S.; De Lisi V.; González V.; ... and Welin B., 2018b. Elicitor-based biostimulant PSP1 protects soybean against late season diseases in field trials. *Frontiers in Plant Science*, 9:763.

Di Rienzo J.A.; Casanoves F.; Balzarini M.G.; Gonzalez L.; Tablada M.; Robledo C.W. InfoStat versión 2018. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Available from: <http://www.infostat.com.ar>

Hael-Conrad V.; Perato S.M.; Arias M.E.; Martínez-Zamora M.G.; Di Peto P.D.L.Á.; Martos G.G.; ... and Chalfoun N.R., 2018. The elicitor protein AsES induces a systemic acquired resistance response accompanied by systemic microbursts and micro-hypersensitive responses in *Fragaria ananassa*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 31(1):46-60.

Pérez M.L.D.P.; Easdale C.; Iovane R.J.; Scandaliaris P.; Isa R.B.; Rodríguez D.; ... and Goebel F.R., 2023. Damage distribution and yield losses caused by the stem borer *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) in Northwestern Argentina. *Sugar Tech*, 25(3):610-618.

EFFECTOS DE LA VINAZA APLICADA AL SUELO BAJO CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR

Minervini MG; Iriarte JA; Gómez J

Salta s/n, Ledesma SAAI; Libertador General San Martín - Jujuy, Argentina

mminervini@ledesma.com.ar

airiarte@ledesma.com.ar

jgomez@ledesma.com.ar

Palabras Clave: fertilidad química, potasio, rendimiento, pH, conductividad eléctrica

INTRODUCCIÓN

La vinaza es un residuo líquido proveniente de la destilación del alcohol y está constituida principalmente por agua, materia orgánica y minerales, entre los cuales el potasio (K) es el más abundante. La vinaza aplicada al suelo incrementa la producción de caña, aporta las necesidades de K del cultivo y cubre parte de las necesidades de nitrógeno y otros nutrientes, tiene otros beneficios como el aumento de la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico del suelo. Sin embargo, la vinaza aplicada en altas cantidades y sin control puede causar desequilibrio de bases en el suelo por el incremento del K y por las cenizas de los jugos de caña, retrasando la maduración y causando problemas en la cristalización del azúcar en la fábrica. De tal manera, es importante tener un monitoreo constante de las propiedades químicas del suelo al aplicar vinaza procurando una relación de bases adecuada y así mantener la fertilidad del suelo.

OBJETIVO: estudiar la evolución de suelos regados con vinaza en sus propiedades químicas y sus efectos en el rendimiento del cañaveral en toneladas de caña por hectáreas (TCH) comparados con sitios que no recibieron vinaza.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en aproximadamente, 700 hectáreas bajo cultivo de caña de azúcar pertenecientes a Ledesma SAAI en la provincia de Jujuy, Argentina.

La vinaza se aplicó por aspersión con cañón regador, a una dosis de 150 m³ /ha o 15 mm 1 vez por año.

Se tomaron muestras de suelo de 0-20 cm y de 20-40 cm de profundidad, a razón de una 1 muestra cada 10 hectáreas después de la cosecha, tomando como dato base el primer año de muestreo según el siguiente esquema:

Unidades de Manejo	AÑOS DE MUESTREO
13 01,02,03	2018,2019,2020,2021
14 02,03,04	2018,2019,2020,2021
15 01,02	2016,2017,2018,2019,2020,2021
17 01,02,05,06	2018,2019,2020,2021

En el Laboratorio de Suelos, Riego y Drenaje - Departamento de Desarrollo Agrícola -Gerencia de Campo de Ledesma SAAI, se analizaron las siguientes propiedades químicas y físico químicas de suelo: conductividad eléctrica (CEdS,m-1), pH (1:2,5), carbono oxidable total CO (%), materia orgánica oxidable total(MO %) , fósforo Bray I P (ppm), potasio K (meq/100gr de suelo), Nt (%) y capacidad de intercambio catiónico (CIC).

También, se realizó un análisis comparativo de la producción (TCH) de dichos sitios, teniendo en cuenta otras unidades cercanas y la edad del cañaveral.

La información se procesó con el programa estadístico Infostat.

RESULTADOS

Del análisis estadístico se puede observar que, en los diferentes años de aporte de vinaza como riego, los parámetros de suelos analizados no sufrieron variaciones que puedan ser consideradas como perjudiciales para el crecimiento de la caña, resultados parecidos se obtuvieron por Hernández Melchor (2008) .

De las Tablas 1 al 6 se puede percibir que, si bien hay diferencias significativas entre los parámetros químicos de suelo analizados, la tendencia de los mismos en profundidad y en las diferentes unidades de manejo, no presentan un patrón definido. En general, se observa un incremento en los valores de Conductividad eléctrica (CE) en el suelo pero que no exceden los valores críticos para el cultivo de la caña de azúcar. Fogliata (1995) encontró en Sur África que valores de conductividad eléctrica menores de 2 dS/m, no afectaron el crecimiento de la caña de azúcar; entre 2 y 4 dS/m se afecta el crecimiento y con valores de 4,0 dS/m la producción la producción se redujo en forma significativa.

En cuanto al pH, hay una tendencia a disminuir pero siempre dentro del rango normal de lo establecido para un suelo. El pH óptimo del suelo es cercano a 6.5, pero la caña de azúcar puede tolerar un rango considerable de acidez y alcalinidad del suelo. Por esta razón se cultiva caña de azúcar en suelos con pH entre 5.0 y 8.5 (Ribón Carrillo , 2003).

Para los parámetros de fertilidad química como MO, P, K y N, tiene una tendencia a aumentar, situación que resulta favorable al cultivo.

Tabla1.Ubicación: Paulina UM 1301

Profundidad	Año	CE (dS.m- 1)	pH	CO (%)	MO (%)	P (ppm)	K (meq/100gr de suelo)	Nt (%)	CIC
0-20cm	2020	0,52a	7,21a	0,88a	1,25a	30,16a	0,68a	0,09a	13,86b
	2021	0,66a	7,01	1,06b	1,83b	59,38b	0,8a	0,11b	12,59a
20-40cm	2020	0,49a	7,44a	0,53a	0,91a	15,73a	0,37a	0,06a	13,22a
	2021	0,45a	7,43a	0,54a	0,93a	20,15b	0,34a	0,08a	11,49

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Sd=sin determinar

Tabla2. Ubicación: Paulina UM 1302

Profundidad	Año	CE (dS,m-1)	pH	CO (%)	MO (%)	P (ppm)	K (meq/100gr de suelo)	Nt (%)	CIC
0-20cm	2018	0,68ab	6,83	1,39a	2,40a	234,41b	2,15a	0,15a	Sd
	2019	1,017c	6,75a	1,38a	2,38a	230,9 a	2,19a	0,12ab	13,95a
	2020	0,49a	6,998ab	1,59a	2,74a	sd	2,42a	sd	15,54a
	2021	0,88bc	6,78ab	1,59a	2,82a	266,50b	2,32a	0,17b	18,61b
20-40 cm	2018	0,63ab	7,13a	0,84ab	1,46ab	165,36bc	2,15b	0,07c	Sd
	2019	0,75b	7,25a	0,66a	1,14a	174,2b	1,28a	0,10b	11,58b
	2020	0,44a	7,4a	1,05b	1,80b	Sd	2,15b	Sd	14,12c
	2021	0,74b	7,14a	0,79ab	1,36ab	161,41b	1,66ab	0,09b	16,01c

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Sd=sin determinar

Tabla3. Ubicación: Paulina UM 1303

Profundidad	Año	CE (dS,m-1)	pH	CO (%)	MO (%)	P (ppm)	K(meq/100gr de suelo)	Nt (%)	CIC
0-20cm	2018	0,61a	6,94ab	1,46a	2,51a	263,14c	2,06a	0,15ab	Sd
	2019	0,65ab	7,16b	1,47a	2,54a	195,6a	3,07b	0,14a	14,42a
	2020	0,362b	7,16b	1,53a	2,64a	Sd	3,09b	Sd	13,81a
	2021	0,85b	6,72a	1,68a	2,90a	273c	2,92b	0,17b	18,58b
20-40 cm	2018	0,52b	7,43ab	0,80ab	1,37ab	184,6b	2,06a	0,09a	Sd
	2019	0,5ab	7,75b	0,65a	1,27a	102,4a	2,33ab	0,07a	11,39a
	2020	0,358a	7,47ab	0,90b	1,55b	Sd	2,45ab	Sd	12,02b
	2021	0,83c	7,06a	0,94b	1,61b	231ab	2,61b	0,12ab	16,30c

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Sd=sin determinar

Tabla 4.Ubicación: Paulina UM 1402

Profundidad	Año	CE (dS,m- 1)	pH	CO (%)	MO (%)	P (ppm)	K(meq/100gr de suelo)	Nt (%)	CIC
0-20cm	2018	0,71ab	6,94a	1,34a	2,30a	239,33b	1,86a	0,09a	Sd
	2019	0,49a	7,11a	1,39a	2,39aa	262a	2,33a	0,11a	12a
	2020	0,96b	6,96a	1,58a	2,73a	102a	2,36a	0,28ab	15,32b
	2021	0,99b	6,79a	1,57a	2,71a	251b	2,44a	0,13b	18,59c
20-40 cm	2018	0,59a	7,09a	0,74a	1,27a	136,03ab	1,41a	0,08ab	sd
	2019	0,45a	7,42a	0,65a	1,12a	133,83ab	1,67a	0,06a	10,85b
	2020	0,59a	7,27a	0,99a	1,71a	138ab	1,89d	0,12b	12,13bc
	2021	0,903b	6,90a	0,89a	1,54a	199,33b	1,77a	0,09ab	16,25c

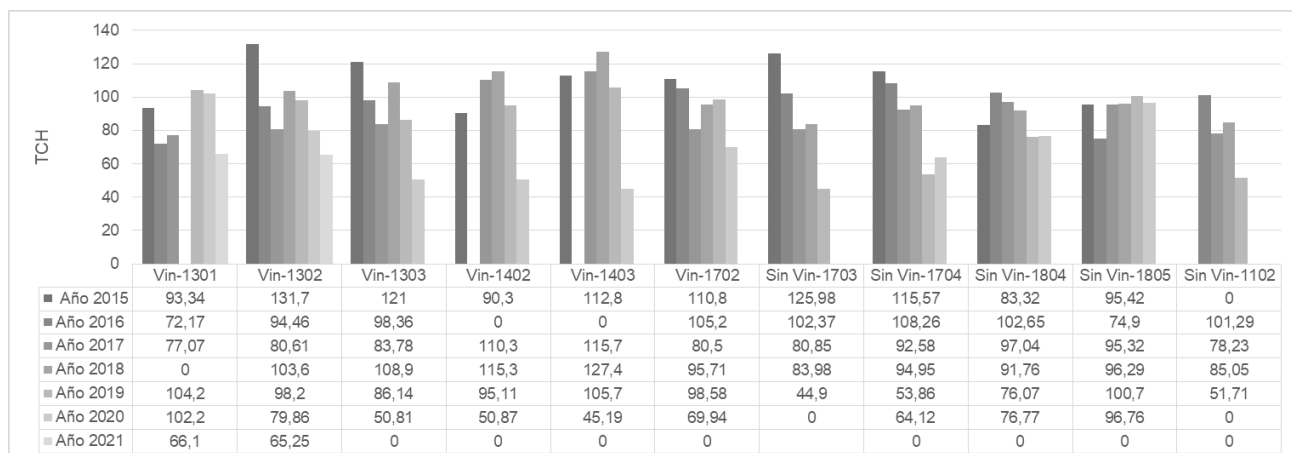
Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Sd=sin determinar

Tabla 5. Ubicación: Paulina UM 1403									
Profundidad	Año	CE (dS,m-1)	pH	CO (%)	MO (%)	P (ppm)	K (meq/100gr de suelo)	Nt (%)	CIC
0-20cm	2018	0,455a	7,05a	1,31a	182,93ab	265a	0,10	Sd	
	2019	0,586ab	7,24a	1,32a	2,28a	258,75b	2,96a	0,13a	14,45b
	2020	0,97ab	7,24a	1,41a	2,53a	102,40a	2,66a	0,15a	14,53b
	2021	0,915b	7,03a	1,47a	2,43a	190,37ab	2,65a	0,14a	15,54b
20-40 cm	2018	0,55a	7,34a	0,73ab	1,26ab	129,95ab	2,23a	0,08ab	sd
	2019	0,46a	7,74b	0,57a	0,98a	140,15ab	2,04a	0,05a	11,11b
	2020	0,96a	7,42a	1,01b	1,74b	95,20a	2,25a	0,11b	12,97b
	2021	0,81ab	7,17a	0,80ab	1,38ab	206,17b	2,51a	0,08ab	13,49b
Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0,05$).Sd=sin determinar									

Tabla6.Ubicación:PaulinaUM1702									
Profundidad	Año	CE (dS,m-1)	pH	CO(%)	MO(%)	P(ppm)	K (meq/100g r de suelo)	Nt(%)	CIC
0-20cm	2018	0,44a	6,83a	1,16a	2a	94,43a	1,00a	0,11a	Sd
	2019	0,36a	6,98ab	1,20a	2,07a	164,43b	1,11b	0,10a	14,29b
	2020	0,37a	7,30b	1,15d	1,98a	Sd	1,25ab	Sd	14,82b
	2021	0,88b	6,97ab	1,30a	2,25a	132,80b	1,67c	0,11a	18,89c
20-40 cm	2018	0,46a	7,22a	0,65a	1,12a	50,26a	0,66a	0,07a	Sd
	2019	0,33a	7,54a	0,56a	0,96a	76,14a	0,60a	0,05a	12,54a
	2020	0,37a	7,64a	0,68a	1,18a	Sd	0,85a	0,06a	13,88b
	2021	0,871b	7,39a	0,63a	1,08a	60,70a	0,80a	0,06a	15,96c
Letras distintas indicandiferenciassignificativas($p \leq 0,05$).Sd=sindeterminar									

El gráfico 1 y la tabla 7 muestra la producción en toneladas de caña por hectárea para las diferentes unidades de manejo regadas con vinaza (Vin), comparadas con 5 unidades de manejo que no fueron regadas con vinaza (Sin Vin) en 5 años consecutivos. Se puede observar una tendencia general a la disminución del rendimiento independiente de la aplicación de la vinaza como riego.

Gráfico 1 y Tabla 7. TCH para cada unidad regada con vinaza (Vin) y para unidades sin riego de vinaza (Sin Vin)



A los efectos de explorar otras variables que afecten el crecimiento se elaboró la Tabla 8 comparativa de las unidades de manejo regadas con vinaza y sin regar, por ejemplo de la UE 17, donde se observa un claro efecto de la edad del cañaveral en las toneladas de caña por hectárea producidas.

Tabla 8. TCH en función de la edad del cañaveral

Años	Con Vinaza				Sin Vinaza			
	UE17 UM01		UE17 UM02		UE 17 UM03		UE 17 UM04	
	Edad	TCH	Edad	TCH	Edad	TCH	Edad	TCH
2015	0	126,24	1	110,84	0	126,04	0	115,57
2016	1	111,98	2	105,2	1	104,39	1	108,26
2017	2	105,26	3	80,5	2	73,5	2	92,58
2018	3	117,76	0	95,71	3	86,05	4	94,95
2019	4	78,71	1	98,6	4	41,32	4	53,86
2020	5	78,77	2	69,94	5	renovación	5	64,12

CONCLUSIONES

Los resultados de los parámetros químicos analizados en el suelo demuestran que no hubo efectos nocivos para el crecimiento de la caña de azúcar y como efecto positivo aumenta el contenido de MO, N ,P y K en el suelo.

En cuanto al TCH se observa que hay otros factores a tener en cuenta y ser estudiados como la edad del cañaveral, la forma y época de cosecha, el manejo general del cultivo (malezas, riego, fertilización, etc)

Se sugiere realizar un análisis foliar a la caña de azúcar para corroborar iones como cloruros y sulfatos que contiene la vinaza y que pueden ser perjudiciales para la caña.

Se debería probar la aplicación de vinaza y su efecto con caña presente, y realizarle un seguimiento de crecimiento con análisis foliar para corroborar los nutrientes que la planta extrae del suelo.

Su uso sería limitado para cañaverales desarrollados en suelos con contenidos de sales solubles cercanos a los críticos para caña de azúcar (2,5 dS/m).

BIBLIOGRAFÍA

Fogliata, F. A. (1995). *Agronomía de la caña de azúcar*. Ediciones El Graduado.

28.

Hernández Melchor, G. I., Salgado García, S., Palma López, D. J., Lagunes Espinoza, L. D. C., Castelán Estrada, M., & Ruiz Rosado, O. (2008). Vinaza y composta de cachaza como fuente de nutrientes en caña de azúcar en un gleysol mólico de Chiapas, México. *Interciencia*, 33(11), 855-860.

Ribón Carrillo, M. A., Salgado García, S., Palma-López, D. J., & Lagunes-Espinoza, L. D. C. (2003). Propiedades químicas y físicas de un vertisol cultivado con caña de azúcar. *Interciencia*, 28(3), 154-159.

EFICACIA DE ACIBENZOLAR-S-METHYL EN EL CONTROL DE *Acidovorax avenae* subsp. *avenae*, AGENTE CAUSAL DE LA ESTRÍA ROJA EN CAÑA DE AZÚCAR

Monachesi, M.A.¹; Bertani, R.P.² y González, V².

¹Instituto 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.

²Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). Av. William Cross 3150, C.P. T4101XAC, Las Talitas, Tucumán, R. Argentina. E-mail: mmonachesi@eeaoc.org.ar

Palabras Clave: ácido salicílico, AUDPC, inductor de defensa

INTRODUCCIÓN

Los efectos del cambio climático, ocurridos en los últimos años, han dado lugar a eventos ambientales extremos, generando factores estresantes para los seres vivos, de origen tanto abiótico como biótico. Una consecuencia de esto es la modificación de la incidencia y distribución geográfica de los fitopatógenos, lo que afecta directamente a la productividad de los cultivos agroalimentarios.

Las enfermedades constituyen uno de los principales factores limitantes de la producción de caña de azúcar. Una de ellas, de especial importancia en la Argentina, es la estría roja causada por el patógeno *Acidovorax avenae* subsp. *avenae* (*Aaa*). La misma puede provocar dos síntomas característicos: estrías rojas en las láminas foliares y/o podredumbre del brote apical (polvillo). Si bien esta enfermedad fue considerada secundaria, en los últimos años su incidencia creció de manera notable en Tucumán y en el mundo (Zhao *et al.*, 2023; Bertani *et al.*, 2023) y cobró importancia debido a que provoca disminuciones en la productividad de la caña de azúcar (Yonzon & Devi, 2018).

Nuestro grupo de trabajo viene realizando, desde la campaña 2021/2022, monitoreos en el área cañera de Tucumán para determinar la prevalencia de estría roja y el comportamiento de las principales variedades cultivadas. Durante la campaña 2022/2023 se registró una prevalencia de la enfermedad del 28%; mientras que el 13% de los lotes enfermos evaluados presentó además polvillo (Bertani *et al.*, 2023). En este sentido, se debe destacar que la diseminación de *Aaa* ocurre por viento y lluvia, y su ingreso e infección en la planta se ven favorecidos por condiciones de alta temperatura y humedad (Rott & Davis, 2000). Por esta razón, las condiciones climáticas actuales en la provincia de Tucumán, producidas por el reciente fenómeno de “El Niño”, podrían causar un notable aumento de la incidencia y severidad de la enfermedad en el área cañera provincial.

Actualmente, la principal estrategia de control de enfermedades en caña de azúcar consiste en el uso de variedades resistentes. Sin embargo, el requerimiento de cultivares resistentes a enfermedades de importancia puede suponer la eliminación de aquellos agrónomicamente prometedores, pero susceptibles a una enfermedad (Raid & Comstock, 2000).

En Tucumán, el Programa de Mejoramiento Genético de Caña de Azúcar (PMGCA) de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) es el responsable del desarrollo, introducción, evaluación y difusión comercial de las variedades TUC, que ocupan el 99% de la superficie cultivada con caña de azúcar en la provincia (Henriquez *et al.*, 2023). Entre ellas, TUC00-19, junto con TUC06-7, TUC02-22, TUC00-65 y TUC03-12 (variedades de reciente liberación),

fueron catalogadas como moderadamente resistentes frente a estría roja, al momento de ser liberadas. Sin embargo, se registraron cambios en el comportamiento varietal a lo largo del tiempo. Tanto es así que, durante la campaña 2022/2023, la variedad TUC00-19 fue la más afectada por estría roja, exhibiendo síntomas de la enfermedad en más del 85% de los lotes monitoreados, seguida por TUC06-7 que alcanzó valores de prevalencia cercanos al 55% y TUC03-12 con un 20% de lotes enfermos (Bertani *et al.*, 2023). A su vez, los valores de incidencia máximos puntuales de estría roja fueron cercanos a un 54% en TUC06-7, 24% en TUC02-22 y TUC03-12, y 19% en TUC00-19 (Bertani *et al.*, 2023). Por estas razones, contar con otras herramientas de control representa una alternativa útil para el manejo de enfermedades a corto plazo.

El empleo de inductores de defensa vegetal constituye uno de los enfoques más prometedores de los últimos años para el control de enfermedades de manera eficiente y con bajo impacto ambiental. Los productos comerciales formulados en base a análogos químicos del ácido salicílico (AS) desencadenan una respuesta de inmunidad natural en la planta, dado por la participación de esta fitohormona como molécula señal durante las reacciones de defensa contra patógenos (Sanchez *et al.*, 2010). Con respecto a esto, Sakata *et al.* (2021) realizaron estudios en pastos de canchas de golf demostrando la reducción en las poblaciones bacterianas de *Aaa* al emplear un formulado en base a Acibenzolar-S-Metil.

En este sentido, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del inductor de defensa vegetal Acibenzolar-S-Metil 50% (BION® 50 WG, Syngenta) en el control de estría roja en caña de azúcar, a fin de determinar el momento y la dosis de aplicación más eficiente para el control de la enfermedad.

MATERIALES Y METODOS

Material vegetal

Se colectaron tallos saneados de la variedad TUC00-19 (susceptible a estría roja), a partir de los cuales se obtuvieron estacas uninodales que se plantaron en sustrato comercial, en macetas de 1 L. Las macetas fueron mantenidas en cámara de crecimiento hasta el desarrollo de cuatro hojas completamente expandidas. Cada tratamiento constó de 15 unidades experimentales. Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado.

Tratamientos e inoculación

Se empleó el producto comercial BION® 50 WG (Syngenta), el mismo es un activador sistémico del mecanismo natural de defensa de las plantas, recomendado para la protección preventiva de enfermedades en cultivos (<https://www.syngenta.cl/product/crop-protection/bionr-50-wg>).

En una primera instancia, se ensayaron cuatro momentos de aplicación: 3, 6 y 8 días antes de la inoculación (*dai*) y una doble aplicación a los 6 y a los 8 (6+8) *dai*. Se utilizó una dosis de 0,5 mg/ml de producto comercial. Se evaluaron dos ensayos en forma independiente.

Una vez establecido el momento de aplicación, se pusieron a prueba distintas dosis del producto: 0,5; 0,32 y 0,16 mg/ml. Se fijó el tiempo de aplicación a 8 *dai*.

La aplicación de BION® 50 WG se realizó por asperjado en hojas hasta punto de goteo.

Posteriormente las plantas fueron inoculadas hasta punto de goteo con una suspensión de *Aaa* de 10^8 UFC/ml. Se emplearon como controles de infección plantas tratadas con agua e inoculadas con *Aaa*. Las plantas se mantuvieron bajo las condiciones óptimas para el desarrollo de la enfermedad ($30 \pm 2^\circ\text{C}$, humedad relativa $>80\%$).

Evaluación de la severidad de estría roja

Se evaluó la severidad de estría roja, en todas las hojas de la planta, empleando una escala de 0 (sin enfermedad) a 9 (más del 50% del área foliar afectada por la enfermedad) (Bertani *et al.*, 2020). Las evaluaciones se realizaron en diferentes momentos, después de la inoculación con la bacteria.

Se calculó el Índice de severidad de la enfermedad (DSI por sus siglas en inglés: Disease Severity Index) para cada unidad experimental, en cada fecha de evaluación, como:

$$\text{DSI (\%)} = \frac{\sum (\text{nº hojas severidad } i \times \text{severidad } i)}{(\text{nº total de hojas}) \times (\text{máximo valor de severidad})} \times 100$$

Donde i = valores de escala de severidad de 1 a 9.

Con los valores de DSI se determinó el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (AUDPC) por integración trapezoidal (Campbell & Madden, 1990)

Los resultados obtenidos de los ensayos fueron analizados estadísticamente utilizando el programa InfoStat (Di Renzo *et al.*, 2010). Se emplearon modelos lineales generales y mixtos y un test de comparación de medias (LSD, $\alpha=0,05$).

La eficiencia de control fue calculada como:

$$\text{Eficacia de control (\%)} = \frac{(\text{AUDPC}_{\text{control de infección}} - \text{AUDPC}_{\text{tratamiento}})}{\text{AUDPC}_{\text{control de infección}}} \times 100$$

RESULTADOS

Con respecto a la evaluación de la eficacia preventiva de diferentes momentos de aplicación de BION® 50 WG, se registraron menores niveles de severidad en todos los tratamientos aplicados, con respecto al control de infección (Tabla 1). No se observó diferencia significativa entre los tratamientos aplicados con BION® 50 WG, a excepción de T4 (6 *dai*) que mostró porcentajes de control muy bajos (13,7%) con respecto al resto (Tabla 1). Por su parte, los tratamientos T1 (3 *dai*), T2 (8 *dai*) y T3 (6 + 8 *dai*) resultaron buenos controladores de la enfermedad, alcanzando eficiencias de control de 57,5%; 43,6% y 46,2% (Tabla 1), respectivamente.

Tabla 1. Evaluación de diferentes momentos de aplicación de BION® 50 WG (Syngenta) para el control de estría roja en caña de azúcar.

Tratamiento	Momento de aplicación	Dosis (mg/ml)	AUDPC*	Eficiencia de control (%)***
T1- BION® 50 WG	3 <i>dai</i>	0,5	98,5 ^{b**}	57,5

T2- BION® 50 WG	8 dai	0,5	130,6 ^b	43,6
T3- BION® 50 WG	6 + 8 dai	0,5	124,6 ^b	46,2
T4- BION® 50 WG	6 dai	0,5	199,8 ^a	13,7
T5 - Control de infección	-	-	231,5 ^a	-

dai: días antes de la inoculación

*AUDPC: área bajo la curva de progreso de la enfermedad

** medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

***eficiencia de control: $\frac{(\text{AUDPC control de infección} - \text{AUDPC tratamiento})}{\text{AUDPC control de infección}} * 100$

En base a los resultados, es importante destacar que, a medida que se incrementa el tiempo de aplicación de un producto preventivo antes del desarrollo de una enfermedad, sin causar una disminución en su eficiencia de control, resulta más sencillo extrapolar los resultados obtenidos en condiciones controladas a condiciones de campo. Por esta razón, el tratamiento donde BION® 50 WG fue aplicado una única vez a los 8 *dai*, implica una ventana temporal mayor a una semana con respecto a la aparición de los síntomas de la enfermedad, por lo que se consideró como el tratamiento más efectivo para el control de estría roja.

Por otro lado, el ensayo para evaluar el efecto de diferentes dosis de BION® 50 WG en el control de estría roja en caña de azúcar, mostro diferencias significativas entre todos los tratamientos. El tratamiento más eficiente resultó de aplicar 0,16 mg/ml de producto 8 *dai* (T2), alcanzando una eficacia de control del 31,9% y presentando valores muy similares a T1 (32,6%), con la ventaja de que la dosis utilizada es considerablemente menor.

Tabla 2. Evaluación de dosis de BION® 50 WG (Syngenta) para el control de estría roja en caña de azúcar.

Tratamiento	Momento de aplicación	Dosis (mg/ml)	AUDPC*	Eficiencia de control (%)***
T1	8 dai	0,5	105,83 ^d	32,6
T2	8 dai	0,16	106,94 ^c	31,9
T3	8 dai	0,32	142,22 ^b	9,4
T4- Control de infección	-	-	156,94 ^a	-

dai: días antes de la inoculación

*AUDPC: área bajo la curva de progreso de la enfermedad

** medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

***eficiencia de control: $\frac{(\text{AUDPC control de infección} - \text{AUDPC tratamiento})}{\text{AUDPC control de infección}} * 100$

CONCLUSIONES

La estría roja en caña de azúcar cobró una mayor importancia en la Argentina en la última década, debido a un aumento en la prevalencia de la enfermedad.

La principal estrategia de control de enfermedades en caña de azúcar es el uso de variedades resistentes; sin embargo, son necesarias otras herramientas que permitan el manejo de las enfermedades a corto plazo. Entre ellas, el uso de los inductores de defensa demostró ser efectivo en el control de enfermedades en diferentes especies vegetales.

En este trabajo se evidenció, por primera vez, que el uso de BION® 50 WG aplicado de forma preventiva, es capaz de reducir los síntomas de estría roja hasta un 57,5%.

De los cuatro momentos de aplicación ensayados, el asperjado de BION® 50 WG a los 3, 8 y 6+8 *dai* resultaron eficientes en el control de la enfermedad, alcanzando eficiencias de control superiores al 43%.

Adicionalmente, la menor dosis de BION® 50 WG analizada (0,16 mg/ml) controló la enfermedad en un 31,9%, valor similar al alcanzado por los restantes tratamientos que emplean una dosis de producto hasta tres veces superior.

Este constituye el primer trabajo reportado del uso de BION® 50 WG para el control de la estría roja en caña de azúcar.

BIBLIOGRAFÍA

- Bertani, R. P. (2016). Tesis doctoral, Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, Argentina.
- Bertani, R. P.; Funes, C.; Lobo, J. A.; Joya, C. M.; Monachesi, M. A. & González, V. (2023). Principales enfermedades que afectaron al cultivo de la caña de azúcar en Tucumán durante la campaña 2022/2023. Reporte Agroindustrial N° 280, ISSN 2346-9102, julio 2023. <https://www.eeaoc.gob.ar/wp-content/uploads/2023/08/RA280FINAL.pdf>
- Bertani, R. P., Joya, C. M., Henriquez, D. D., Funes, C., González, V., Perera, M. F., Cuenya, M. I. & Castagnaro, A. P. (2020). Assessment of inoculation techniques for screening sugarcane resistance to red stripe disease caused by 'Acidovorax avenae' subsp. *avenae*. *Australian Journal of Crop Science*, 14(11), 1764-1771.
- Campbell, C. L. & Madden, L. V. (1990). *Introduction to plant disease epidemiology*. John Wiley & Sons.
- Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M. G.; Gonzalez, L.; Cuadro, M. & Robledo, C. W. (2010). InfoStat versión 2009. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Henriquez, D.D.; Medina, P.; Aybar Guchea, M.; Figueroa, M. F.; Costilla, D.D.; Díaz J.V.; Díaz Romero, C. & Ostengo, S. 2023. Relevamiento de la distribución varietal y del uso de otras tecnologías en el cultivo de caña de azúcar en la provincia de Tucumán: campaña 2022/2023. Reporte Agroindustrial 282: 1-12, <https://www.eeaoc.gob.ar/wp-content/uploads/2023/08/RA-282.pdf>
- Raid, R. N. & Comstock, J. C. (2000). Common rust. En: Rott, P., Bailey, R. A., Comstock, J. C., Croft, B. J. & Saumtally, A. S. (eds). *A guide to sugarcane diseases*, (pp 85-89). Editions Quae
- Rott, P. & Davis, M. J. (2000). Red stripe (Top rot). En Rott, P., Bailey, R. A., Comstock, J. C., Croft, B. J. and Saumtally, A. S. (eds.), *A guide to sugarcane diseases*. (pp 60-62). CIRAD/ISSCT.
- Sakata, N.; Aoyagi, T.; Ishiga, T.; & Ishiga, Y. (2021). Acibenzolar-S-methyl efficacy against bacterial brown stripe caused by *Acidovorax avenae* subsp. *avenae* in creeping bentgrass. *Journal of General Plant Pathology*, 87(6), 387-393.
- Sánchez, G. R.; Mercado, E. C.; Peña, E. B.; de la Cruz, H. R. & Pineda, E. G. (2010). El ácido salicílico y su participación en la resistencia a patógenos en plantas. *Biológicas*, 12(2), 90-95.
- Yonzon, R. & Devi, M. S. (2018). Red Stripe/ Top Rot Disease of Sugarcane: A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(1), 1469-1478. doi: 10.20546/ijcmas.2018.701.179.
- Zhao, J. Y.; Chen, J., Hu; Z. T.; Li, J.; Fu, H. Y.; Rott, P. C. & Gao, S. J. (2023). Genetic and morphological variants of *Acidovorax avenae* subsp. *avenae* cause red stripe of sugarcane in China. *Front Plant Sci*. 6;14:1127928. doi: 10.3389/fpls.2023.1127928. PMID: 36814761; PMCID: PMC9939834.

IMPULSANDO EL CRECIMIENTO SOSTENIBLE: *Gluconacetobacter* sp. COMO PROMOTOR DEL CRECIMIENTO PARA CAÑA DE AZÚCAR

Núñez MA; Ludueña L; Dip A; Alderete M; Michavilla G; Romero E; Tortora ML

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

PALABRAS CLAVE: PGPB, biofertilizantes, sustentabilidad.

INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es el cultivo sacarífero más importante del mundo, responsable del 70 % de la producción total de azúcar. En la Argentina, la producción se concentra principalmente en la provincia de Tucumán. Por su elevada capacidad de producción de biomasa y prolongada duración de su ciclo, la caña de azúcar tiene elevados requerimientos, tanto de nutrientes como de agua. El nitrógeno (N) es considerado el nutriente más importante para su crecimiento y desarrollo, ya que forma parte de aminoácidos, ácidos nucleicos, proteínas y otros componentes orgánicos. Si bien la caña de azúcar puede asimilar gran parte del N disponible presente en el suelo, este resulta insuficiente para satisfacer los requerimientos del cultivo. Por esta razón, la fertilización nitrogenada constituye una práctica agronómica necesaria, que en Tucumán se lleva a cabo principalmente mediante el uso de fertilizantes químicos como la urea (Romero *et al.*, 2009). Durante los últimos años, la creciente necesidad de reducir el uso de fertilizantes químico e implementar sistemas sustentables en el manejo de los cañaverales, ha impulsado la utilización de biofertilizantes constituidos principalmente por bacterias promotoras del crecimiento de las plantas (*Plant Growth Promoting Bacteria*, PGPB). Entre las PGPB más estudiadas asociadas a la caña de azúcar, se encuentra el género *Gluconacetobacter* capaz de colonizar de forma endofítica los tallos y raíces de la planta. Esta bacteria es capaz de excretar más del 50 % del N fijado en una forma asimilable por la planta, ejerciendo un efecto directo en su interior, a diferencia de lo que ocurre con las bacterias rizosféricas (Cojho *et al.*, 1993). A pesar de las ventajas que tienen las PGPB por estar en estrecha relación con la planta, a nivel local no existen avances en el desarrollo de biofertilizantes constituidos por *Gluconacetobacter*. Por esta razón, el objetivo de este trabajo fue obtener una cepa autóctona de *Gluconacetobacter* con características promotoras del crecimiento que sea capaz de mejorar el crecimiento inicial de la caña de azúcar, a fin de ser utilizada como un potencial biofertilizante.

MATERIALES Y MÉTODOS

Aislamiento de cepas autóctonas de *Gluconacetobacter*

Se tomaron muestras de los tejidos internos de tallos enteros que se encontraban a fines del periodo de gran crecimiento del cultivo de la caña de azúcar de la variedad LCP 85-384. Las muestras se recolectaron de cañaverales de tres localidades diferentes ubicadas en la región central de nuestra provincia: Manchala, en el Departamento de Famaillá, Pomo Pozo perteneciente al Departamento de Leales y Amberes en el Departamento de Montero. Las bacterias del género *Gluconacetobacter* se aislaron siguiendo la técnica descrita por Döbereiner *et al.*, (1993). Los cultivos que presentaron crecimiento bacteriano en forma de una película sub-superficial densa de color amarillo se repicaron en medios de cultivos sólido LGI-P, suplementado con extracto de levadura (0,02 g/l) como fuente nitrogenada, y en agar papa glucosado (APG-G); luego de 7 días de incubación a 30 °C se observaron colonias planas e irregulares de color naranja y colonias cremosas color marrón con bordes claros, respectivamente. Posteriormente se realizó la caracterización morfológica de la misma, mediante observaciones microscópicas.

Análisis de la fijación biológica de nitrógeno (FBN)

La FBN se analizó según la capacidad del aislamiento obtenido de crecer en el medio de cultivo LGI-P semisólido libre de nitrógeno, observándose la formación de una película sub-superficial densa de color amarillo (Arshad and Frankenberger, 1997) y por amplificación por PCR de un fragmento de 700 pb del gen *nifD* de la nitrogenasa, enzima involucrada en el proceso de FBN. Para ello, se utilizaron los cebadores *nifDf* y *nifDr* (Sigma-Aldrich, EE.UU) y la cepa *G. diazotrophicus* PAL5 como control.

Solubilización de fosfatos

Se analizó según la metodología propuesta por Nautiyal (1999) en medio sólido NBRIP (*National Botanical Research Institute's Phosphate Growth Medium*). Como control positivo se utilizó la cepa K2198 de *Pseudomonas fluorescens*, la cual posee capacidad de solubilización de fosfatos comprobada. La aparición de un halo claro alrededor de las colonias indicó la solubilización del fosfato insoluble del medio, las muestras se analizaron por triplicado. Para las cepas evaluadas a las 24, 48, 72, 96 y 144 h de incubación, se calculó el índice de solubilización (IS) siguiendo la fórmula propuesta por Edi-Premono *et al.*, (1996), como la relación entre el diámetro total (colonia + halo) / diámetro de la colonia.

Producción de ácido indol acético (AIA)

La capacidad del aislamiento obtenido para producir fitohormonas se evaluó por cuantificación de indoles totales siguiendo el método colorimétrico descrito por Glickmann and Dessaux (1995). La evaluación se realizó en presencia y ausencia de triptófano (trp) (0,1 mg/ml) por ser un precursor en la producción bacteriana de ácido indol acético. Las muestras se analizaron por triplicado.

Caracterización molecular

Se llevó a cabo utilizando la técnica ARDRA (*Amplified rDNA Restriction Analysis*) que permite diferenciar los productos de PCR sobre la base de la digestión con enzimas de restricción. Para ello, se realizó la amplificación de un fragmento del gen 16S ADNr utilizando los cebadores 27f y 1492r (Biodynamics, Argentina), y posterior digestión durante 8 h a 37 °C con las enzimas *AluI* y *BsuRI*. Los fragmentos obtenidos se sembraron en un gel de agarosa al 2 % (p/v). El perfil de restricción obtenido se comparó con el de la cepa de referencia *G. diazotrophicus* PAL5.

Bioensayo de promoción del crecimiento

Para el inóculo, se realizó la siembra de colonias de la cepa aislada en el medio de cultivo DYGS y posterior incubación a 30 °C y 180 rpm durante 48 h. Los cultivos obtenidos se diluyeron hasta alcanzar una DO_{560nm} de 0,2, correspondiente a una concentración bacteriana de 10^8 UFC/ml. Se inocularon yemas aisladas obtenidas a partir de tallos saneados por cultivo de meristemas de la variedad LCP 85-384, por inmersión durante 20 min. Como control se utilizaron yemas tratadas con agua destilada. Una vez inoculadas, las yemas se escurrieron sobre una malla metálica 5 min y se plantaron en bandejas de 25 pocillos, conteniendo una mezcla combinada de sustrato comercial GrowMix (Terrafertil), arena y Perlome (3:1:1 p/p/p) no estéril, colocando una yema por pocillo y utilizando tres repeticiones por cada tratamiento evaluado. Las bandejas se conservaron en el invernáculo de la EEAOC, bajo condiciones controladas de temperatura y humedad (30°C y 90 % HR), en un diseño de bloques

completamente aleatorizado. Los plantines fueron regados periódicamente con agua corriente. A los 30 días posteriores a la inoculación (DPI) se determinó el peso fresco y seco del sistema aéreo y radicular. Los datos fueron analizados con el programa InfoStat (Software Estadístico, 2010) para Windows mediante el test LSD-Fisher con $p \leq 0,10$.

Identificación molecular de la cepa OCG1

Genotipificación por BOX-PCR

Finalmente, para obtener la huella genética del aislamiento, se optimizó una técnica de BOX-PCR en la que se utilizó además a la cepa *G. diazotrophicus* PAL5 como control y a una cepa de *Bacillus sp.* como cepa fuera de grupo. Esta técnica se basa en la amplificación por PCR de secuencias de ADN intergénicas, utilizando un cebador que hibrida de forma específica con secuencias repetitivas (secuencias *rep*) del genoma bacteriano. Los perfiles de bandas generados son únicos entre especies, incluso entre cepas. Se utilizó ADN genómico como molde para la amplificación. Los cebadores utilizados fueron (5'-CTACGGCAAGGCGACGCTGACG-3'); REP1R-I/REP2-I (REP1R-I: 5'-IIICGICGICATCIGGC-3', REP2-I: 5'-ICGICTTATCIGGCCTAC-3', I: inosine) y ERIC1R/ERIC2 (ERIC1R: 5'-ATGTAAGCTCCTGGGGATTCAC-3', ERIC2: 5'-AAGTAAGTGACTGGGGTGAGCG-3') (Invitrogen) y cada reacción de hibridación se realizó a diferentes temperaturas. Los productos amplificados fueron separados por electroforesis en gel de poliacrilamida, con acople a Li-Cor (Biosciences, USA).

Secuenciación

La muestra del ADNr 16S de la cepa aislada se envió a la Unidad de Genómica del INTA Castelar para su secuenciación utilizando los cebadores 27f y 1492r (Biodynamics, Argentina). Los resultados obtenidos se analizaron con el programa BLAST (*Basic Local Alignment Search Tool*) para la identificación del aislamiento a nivel de género.

RESULTADOS Y DISCUSION

A partir de tallos de la variedad LCP 85-384 se obtuvo un aislamiento denominado OCG1 con características similares a *G. diazotrophicus*, según su crecimiento en medios de cultivo selectivos. La cepa aislada fue capaz de crecer en el medio de cultivo semisólido LGI-P libre de N, formando una película amarilla sub-superficial, típica del género *Gluconacetobacter*, y en los medios de cultivos sólidos: LGI-P formando pequeñas colonias naranja y APG-G con formación de colonias color marrón cremosas. En cuanto a la caracterización morfológica por microscopía óptica, el aislamiento seleccionado se observó como bacilos cortos que presentan movilidad de forma vibroide mediante la presencia de flagelos polares que no forman endosporas ni cápsulas, lo cual coincide con lo reportado para el género *Gluconacetobacter* (Cavalcante and Döbereiner, 1988).

Caracterización molecular

Se observó que el aislamiento OCG1 presentó los mismos perfiles de restricción que la cepa de referencia *G. diazotrophicus* PAL5, tanto en la digestión con la enzima *BsuRI* como con *AluI* (Figura 1), por lo que se infiere que podría corresponder a dicho género bacteriano.

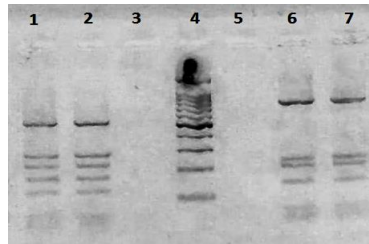


Figura 1. Perfil de electroforesis de los fragmentos obtenidos luego de la restricción de los amplicones del gen ADNr 16S con las enzimas de restricción *BsuRI* y *AluI*. Los patrones de restricción para *BsuRI* correspondientes a la cepa PAL5 usada como referencia se muestran en la calle 1 y los obtenidos para la cepa OCG1 en la calle 2. La calle 4 corresponde al marcador de peso molecular de 100 pb (ThermoScientific). Los patrones de restricción para *AluI* correspondientes a la cepa PAL5 se muestran en la calle 6 y los obtenidos para la cepa OCG1 en la calle 7.

Fijación biológica de nitrógeno (FBN)

Tanto la cepa OCG1 como la cepa *G. diazotrophicus* PAL5 utilizada como referencia, presentaron una banda de 700 pb correspondiente al fragmento del gen *nifD* de la nitrogenasa (datos no mostrados).

Solubilización de fosfatos

Según se observa en la Figura 2, la cepa OCG1 fue capaz de producir un halo claro de solubilización de fosfatos alrededor de las colonias, coincidente con lo observado para la cepa control *Ps. fluorescens* K2198.

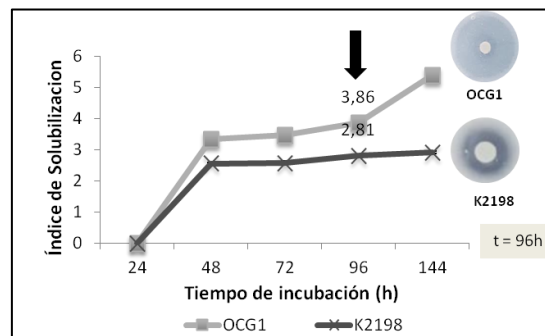


Figura 2. Índice de solubilización (IS) de las cepas OCG1 y *Ps. fluorescens* K2198 (control) en el medio de cultivo sólido NBRIP durante 144 h de incubación.

A partir de las 48 h se observaron diferencias en el IS entre ambas cepas analizadas. Estas diferencias se mantuvieron durante todo el tiempo de incubación hasta el final del ensayo. Es importante destacar que el aislamiento OCG1 presentó mayor IS en comparación con el control *Ps. fluorescens* K2198. La solubilización de fosfatos insolubles del medio, constituye un mecanismo de promoción del crecimiento debido a que los fosfatos solubilizados por la bacteria quedan disponibles para que puedan ser asimilados por las plantas.

Producción de ácido indol acético (AIA)

Los resultados expresados en la Tabla 1 indican que, luego de 96 h de incubación en presencia de trp, la cepa OCG1 y la cepa *G. diazotrophicus* PAL5 usada como control, mostraron un incremento en la biosíntesis de AIA, en comparación con la producción observada en ausencia de trp. Además, se observó que OCG1, en presencia de trp, produce mayor cantidad de AIA que la cepa control *G. diazotrophicus* PAL5. Ambas cepas presentaron baja producción de AIA en ausencia de trp.

Tabla 1. Análisis de la producción de AIA de la *Gluconacetobacter sp.* cepa OCG1.

CEPA BACTERIANA	AIA (µg/ml) sin trp	AIA (µg/ml) con trp
<i>Gluconacetobacter sp.</i> cepa OCG1	0,21 ± 0,12 a	10,04 ± 0,18 b
<i>G. diazotrophicus</i> PAL5	0,43 ± 0,08 a	3,54 ± 0,05 a

Bioensayo de promoción del crecimiento

Se observaron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos al evaluar el peso fresco y seco del sistema aéreo y radicular, a los 30 DPI. En este caso, las plantas inoculadas con la cepa OCG1 presentaron un incremento significativo en el peso fresco de 0,200 g y 0,560 g en el sistema aéreo y radicular, respectivamente frente al testigo sin inocular. Mientras que, en el peso seco el incremento observado fue de 0,111 g y 0,088 g en la parte aérea y radicular, respectivamente, en comparación al testigo sin inocular (Figura 3 a y b).

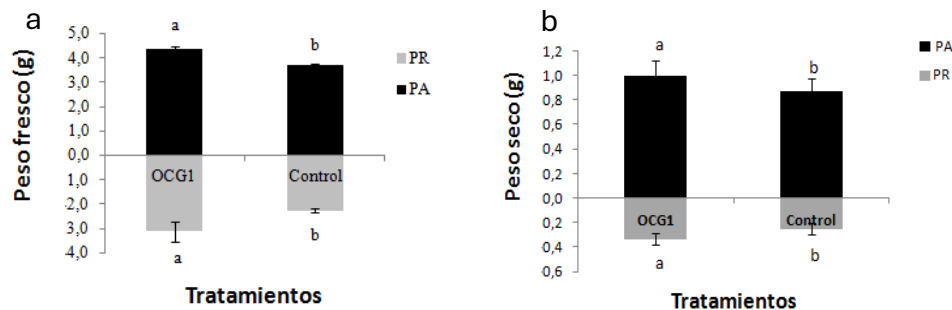


Figura 3. Evaluación del efecto promotor del crecimiento de *Gluconacetobacter sp.* OCG1 a los 30 DPI. Cuantificación del peso fresco (a) y seco (b) tanto del sistema aéreo (PA) (barras negras) como radicular (PR) (barras grises).

Identificación molecular de la cepa OCG1

El análisis de huella genética generado por BOX-PCR puede utilizarse para la identificación de bacterias recuperadas después de una inoculación en planta. En este caso, nos permitió obtener un perfil de bandas característico de la cepa aislada OCG1 para poder identificarla con precisión en posteriores estudios. En la Figura 4 se muestran las huellas genéticas de la cepa *Gluconacetobacter sp.* OCG1 (calle 3) en comparación con la cepa de referencia *G. diazotrophicus* PAL5 (calle 2) obtenidas por BOX-PCR.

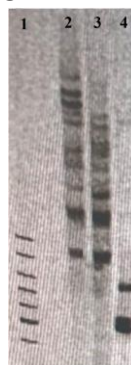


Figura 4. Huella genética de la cepa OCG1 obtenida por BOX-PCR. Calle 1: marcador de peso molecular (50-750 pb); calle 2: *G. diazotrophicus* PAL5; calle 3: *Gluconacetobacter sp.* OCG1; calle 4: control *Bacillus sp.* (fuera de grupo).

La técnica BOX-PCR utilizada permitió identificar un perfil de bandas característico del aislamiento OCG1 que difiere del de la cepa de referencia *G. diazotrophicus* PAL5, demostrando ser una herramienta valiosa para su detección de forma rápida, sensible y reproducible. Los resultados de la secuenciación del gen 16S del ADN de la cepa *Gluconacetobacter* sp. OCG1, se compararon con las disponibles en la base de datos del *National Center for Biotechnology Information* (NCBI) utilizando el programa informático BLAST (*Basic Local Alignment Search Tool*). Los datos obtenidos, confirmaron que el aislamiento OCG1 corresponde al género *Gluconacetobacter* especie *diazotrophicus* con un 97,12% de similitud. Según estos resultados, este trabajo sería el primer reporte del aislamiento de una cepa endófitica de *G. diazotrophicus* a partir de cañaverales de nuestra región.

CONCLUSIONES

En este trabajo se aisló y caracterizó una cepa endofítica de *Gluconacetobacter* denominada OCG1 a partir de tallos de caña de azúcar de la variedad LCP 85-384. Esta cepa demostró tener un significativo potencial como PGPB (bacteria promotora del crecimiento vegetal), al fijar N atmosférico gracias a la presencia del gen *nifD* de la nitrogenasa, producir ácido indolacético (AIA) y solubilizar fosfatos insolubles. La técnica BOX-PCR permitió conocer el perfil de bandas característico de este aislamiento, y la secuenciación del gen 16S del ADN confirmó que pertenece al género *Gluconacetobacter*, especie *diazotrophicus*, con un 97,12 % de similitud. En los bioensayos en invernáculo, la cepa OCG1 promovió significativamente el crecimiento inicial de las plantas de caña de azúcar, incrementando tanto el peso fresco como seco del sistema aéreo y radicular.

Por lo tanto, la cepa OCG1 podría ser utilizada como un biofertilizante potencial, promoviendo el rápido establecimiento del cañaveral y permitiendo el crecimiento de un mayor número de tallos, lo cual incrementa los rendimientos y la productividad. La utilización de biofertilizantes como la cepa OCG1 representa una estrategia clave para el manejo sustentable de los cañaverales, ya que reduce la dependencia de fertilizantes químicos, disminuye el impacto ambiental y contribuye a la sostenibilidad del cultivo de caña de azúcar a largo plazo.

BIBLIOGRAFIA

- ARSHAD, M.; FRANKENBERGER JR, W.T. (1997). Plant growth-regulating substances in the rhizosphere: microbial production and functions. *Advances in Agronomy*, 62, 45-151.
- CAVALCANTE, V.A.; DÖBEREINER, J. (1988). A new acid tolerant nitrogen-fixing bacterium associated with sugarcane. *Plant Soil* 108, 23-31.
- COJHO, E.H.; REIS, V.M.; SCHENBERG, A.C.G.; DÖBEREINER, J. (1993). Interactions of *Acetobacter diazotrophicus* with an amylolytic yeast in nitrogen-free batch culture. *FEMS Microbiology Letters* 106(3), 341-346.
- DÖBEREINER, J.; REIS, V.M.; PAULA, M.A.; OLIVARES, F.D. (1993). Endophytic diazotrophs in sugarcane, cereals and tuber plant, p: 671-676. In: *New horizons in nitrogen fixation*. Dordrecht: Springer.
- EDI-PREMONO, M.; MOAWAD, A.M.; VLEK P.L.G. (1996). Effect of phosphate-solubilizing *Pseudomonas putida* on the growth of maize and its survival in the rhizosphere. *Indones Journal of Crop Science* 11(1), 13-23.
- GLICKMANN, E.; DESSAUX, Y. (1995). A critical examination of the specificity of the Salkowski reagent for indolic compounds produced by phytopathogenic bacteria. *Applied of Environmental Microbiology* 61, 793-796.
- NAUTIYAL, C.S. (1999). An efficient microbiological growth medium for screening phosphate solubilizing microorganisms. *FEMS Microbiology Letters* 170, 265-270.
- ROMERO, E.R.; ALONSO, L.G.; CASEN, S.D.; LEGGIO NEME, M.F.; TONATTO, M.J.; SCANDALIARIS, J.; DIGONZELLI, P.A.; GIARDINA, J.A.; FERNÁNDEZ DE ULLIVARRI, J. (2009). Fertilización de la caña de azúcar- Criterios y recomendaciones, p: 79-83.

¿CUÁL ES LA ESTRATEGIA MÁS RENTABLE PARA LA FERTILIZAR LA CAÑA SOCA?

Paredes V.; Pérez D.; Rodríguez G.; Alonso L. y Romero E.R.

William Cross 3.150 Las Talitas. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina. virginiaparedes@eeaoc.org.ar

Palabras Clave: Caña de azúcar, urea, relación insumo producto, CAN, sustentable

INTRODUCCIÓN

La fertilización nitrogenada es considerada una práctica cultural de máxima importancia para que los cañaverales alcancen altos rendimientos, al tener incidencia directa en la productividad del cultivo y en la calidad del producto de cosecha. En Tucumán es factible obtener un incremento de rendimiento en promedio de 23 t/ha (entre 10 y 55 t/ha según tipo de suelo y edad de cañaveral) cuando se utiliza la dosis adecuada de nitrógeno y se aplica en la época recomendada. Esto representa una expectativa de incremento de la producción de entre 10% al 40% con respecto al mismo lote no fertilizado (Leggio *et al.*, 2018; Romero *et al.*, 2009.) El período óptimo para la aplicación de fertilizantes es de octubre a fines de noviembre. Su alto costo requiere un uso oportuno y efectivo para lograr los máximos beneficios. El objetivo del estudio es comparar desde el punto de vista económico varias alternativas de fertilización nitrogenada en caña soca, analizando también la oportunidad de compra del fertilizante en función al comportamiento de la relación insumo producto. Para evaluar cuál sería el momento más oportuno de adquisición del fertilizante, se analizó el comportamiento del precio de la urea, del precio del azúcar y de la relación insumo producto durante el periodo 2015 - 2023. Finalmente se calculó para la campaña 2023/2024 el gasto de la fertilización nitrogenada teniendo en cuenta seis posibles alternativas, que combinaron diferentes fuentes nitrogenadas, dosis de fertilizantes y máquinas de fertilización.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Evolución de precios: Se determinaron valores promedio mensuales y anuales, y tasas de crecimiento promedio anuales en el período 2015-2023 para las variables: precios de la urea, precios del azúcar blanco en el mercado interno y en los mercados internacionales, contratos N° 5 y N° 11. Para transformar el precio del azúcar en dólares se utilizó el tipo de cambio oficial mensual para cada año. Se utilizó moneda corriente.

2. Relación insumo/producto: este indicador representa la cantidad de unidades de producto (en este caso bolsas de azúcar de 50 kg) necesarias para adquirir una unidad de insumo (100 kg de fertilizante). A menor valor de esta relación más favorable resulta la compra del insumo. Para determinar cuál sería el mes más conveniente para la compra del fertilizante, se analizó el comportamiento de la relación insumo producto mensual con relación a su promedio 2015-2023.

3. Gasto en fertilización de la caña soca: Se tuvieron en cuenta diferentes alternativas de manejo, las que fueron sugeridas por técnicos del Subprograma Agronomía de la Caña de Azúcar de la EEAOC. Los tratamientos elegidos para este análisis fueron: urea 2 kg/surco + biofertilizante 10 l/ha; nitrato de amonio calcáreo (CAN) 2 kg/surco + biofertilizante 10 l/ha y urea 4 kg/surco. En el caso

de la urea se consideró su aplicación con un fertilizador-cultivador o un 4 paquetes; para el CAN una fertilizadora neumática o un equipo de 4 paquetes. Para el biofertilizante se consideró una aplicación dirigida con una pulverizadora. Los precios de insumos y labores fueron los vigentes al momento en el que se efectuaron las tareas (octubre 2023). No se incluye IVA.

RESULTADOS

1. Evolución de los precios

Precio de la urea

Entre 2015-2023 el precio promedio de la urea fue 581 USD/t y su tasa promedio anual de crecimiento fue de 4,19%. Entre 2015 y 2020 los precios promedio mensuales de la urea oscilaron entre 360 USD/t y 560 USD/t y se mantuvieron por debajo del valor promedio del período de 581USD/t. Durante el año 2020, los precios variaron entre 400 USD/t y 447 USD/t, en enero de 2021 comenzó un incremento continuo que alcanzó el valor más alto en los meses de abril y mayo de 2022 (1.370 USD/t) (Figura 1). Luego hubo una disminución de precio, pero se mantuvo en promedios mensuales superiores a la media del periodo, con excepción de los meses de marzo, junio y julio de 2023 que registraron valores de entre 575 USD/t y 580 USD/t. En el año 2023 el precio de la urea vario entre 575 USD/t y 945 USD/t.

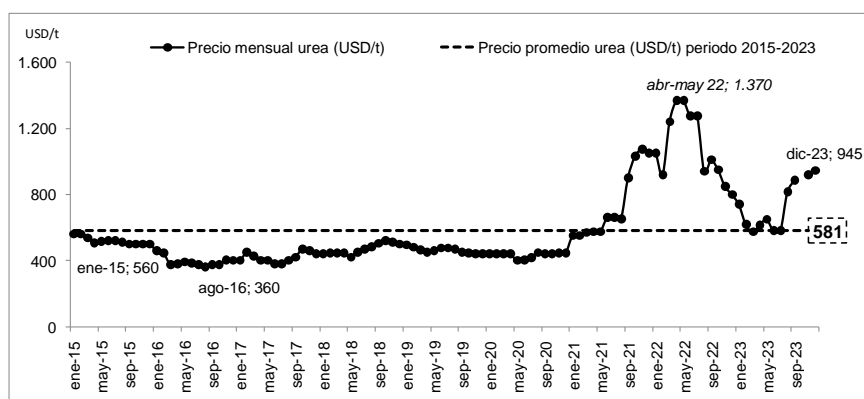


Figura 1. Precio mensual y precio promedio (USD/t) de la urea en el período 2015-2023.
Nota. Precios promedio de la urea sin IVA, suministrados por agroquímicas.

Precio de la bolsa de azúcar

En la Figura 2 se observa la evolución del precio promedio anual de la tonelada de azúcar, tanto en el mercado interno como en el internacional (Contrato N°5 y Contrato N°11). En el periodo 2015-2023 la media del precio en el mercado interno fue de 479 USD/t, se observaron valores superiores a este promedio en los años 2022 y 2023. Los valores extremos se observaron en los años 2019 (mínimo) y 2023 (máximo). Para el mercado internacional, la media del mismo período fue de 448 USD/t para el Contrato N°5 y de 356 USD/t para el contrato N° 11, valores superiores a la media se observaron en los años 2016, 2021, 2022 y 2023, en ambos contratos. Los picos de máxima se dieron en el año 2023 para ambos contratos, mientras que los valores de mínima se dieron en 2019 para el Contrato N°5 y en 2018 para el Contrato N°11. Se observa que el promedio del precio doméstico fue un 7% superior al promedio del Contrato N°5 y un 35% superior al del Contrato N°11. También, el precio en el mercado interno superó al precio internacional (ambos contratos) en seis de los nueve años del período (2015, 2017, 2018, 2020, 2022 y 2023).

En términos nominales, se prevé que los precios seguirán una tendencia moderada al alza, dada la previsión de que la demanda regresará a los niveles previos a la pandemia de COVID-19, suponiendo pocos cambios en los precios relativos del etanol y del azúcar. (OCDE-FAO, 2023).

El excelente nivel de precios del azúcar alcanzado en el período 2015-2023 queda de manifiesto si se comparan los precios y tasas de crecimiento de este periodo con los registrados entre 1992 y 2015. Entre 1992 y 2015 el precio de la tonelada de azúcar en los contratos 5 y 11 pasó de 273 a 373 USD/t y de 199 a 290 USD/t, respectivamente con una tasa de crecimiento anual promedio de más del 1%. Mientras que el precio del azúcar en el mercado interno tuvo un crecimiento del 1,95% (Perez *et al.*, 2016). Entre 2015-2023 las tasas anuales promedio fueron de alrededor de 7% en los contratos N° 5 y N°11 y del 14% en el mercado interno.

En el año 2023, el precio promedio corriente de la tonelada de azúcar en el mercado interno fue de \$328.790 (sin IVA), el valor mínimo se observó en enero (136.404 \$/t) y el máximo en septiembre (483.488 \$/t). En el mes de enero el precio promedio fue de 468.290 \$/t equivalente a 572 USD/t.

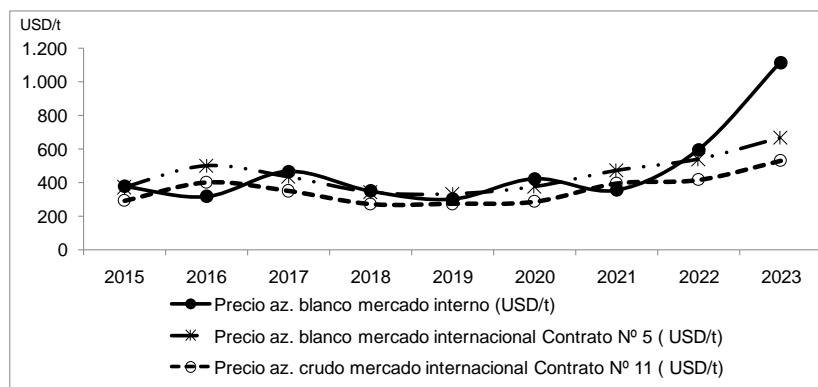


Figura 2. Precio promedio anual del azúcar blanco común en el mercado interno (\$ constantes/t) y de los contratos N°5 y N°11 (USD/t) entre 2015-2023.

Nota. Precios promedio azúcar blanco común sin IVA mercado interno, Dirección de Comercio Interior de Tucumán y Centro de Agricultores Cañeros de Tucumán (CACTU). Precios internacionales Asociación de cultivadores de caña de azúcar de Colombia (ASOCAÑA).

Relación insumo/producto

Durante el período 2015-2023 se necesitaron en promedio 2,69 bolsas de azúcar para comprar 100 kg de urea. Al comparar el valor mensual de esta relación con el promedio del periodo, se distinguen valores inferiores y superiores al mismo (Figura 3).

Desde el punto de vista de la productividad el momento más oportuno y recomendado para la fertilización nitrogenada de las cañas socas en Tucumán va desde mediados de octubre a fines de noviembre. La fertilización en esta época impacta positivamente en el rendimiento y en la calidad del jugo de la caña. Pero la mejor relación insumo producto puede que no coincida con este espacio de tiempo. En busca del mejor momento para comprar el fertilizante se contrastaron las relaciones mensuales con el promedio del período 2015-2023

Se observa que, en cinco de los nueve años analizados, entre septiembre y octubre, (representados con barras en color negro) la relación insumo producto fue superior al promedio establecido, y además fueron los valores más altos de esos años, a excepción del año 2022 (Figura 3). Mientras que las menores relaciones de insumo producto ocurrieron en el segundo trimestre (abril-junio) en

cuatro de los nueve años analizados (2015, 2017, 2018 y 2020). Además, se observó, que en los años 2017 y 2020 las relaciones insumo producto mensuales fueron inferiores al promedio del periodo (2,69 bolsas/100 kg de urea), debido especialmente a un menor valor del precio del fertilizante.

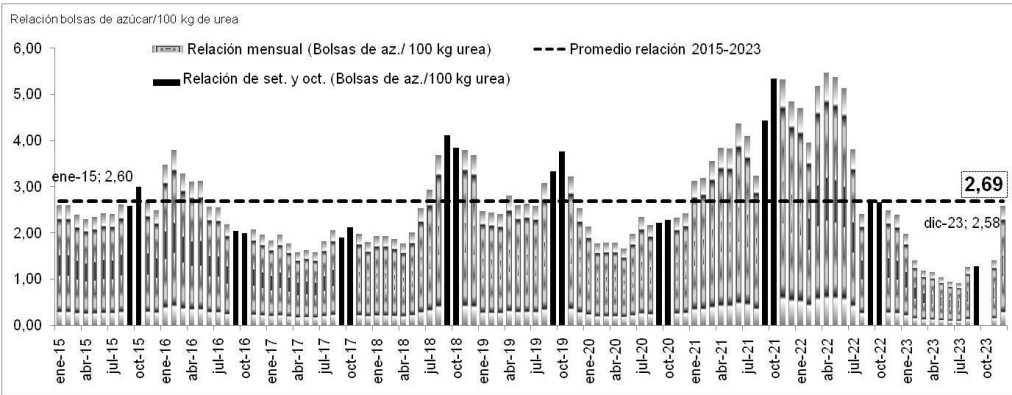


Figura 3. Relación mensual insumo producto de la urea entre 2015-2023 y relación promedio del periodo 2010-2023.

Analizando particularmente el año 2023, se observa que la relación insumo producto también se encontró por debajo de 2,69 todo el año, siendo los meses más favorables junio y julio. La disminución se debe principalmente a la suba en el precio de la bolsa de azúcar.

3. Inversión para fertilizar la caña soca

Para fertilizar una ha de caña soca (gasto en el producto y su aplicación) la inversión varió entre \$53.720 y \$100.140, esto significó un incremento del 126% de los gastos con respecto a la campaña pasada (Figura 4).

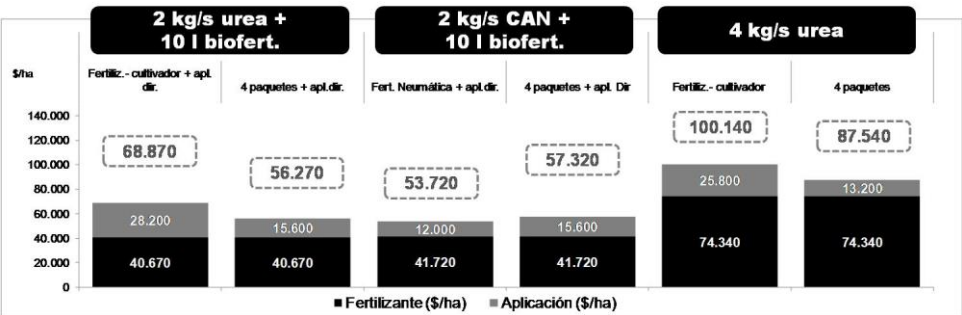


Figura 4. Gastos para diferentes alternativas de fertilización en caña de azúcar, expresados en \$/ha, campaña 2023/2024.

Este gasto, expresado en bolsas de azúcar/ha, varió entre 2,4 y 4,4 bolsas/ha para un precio de azúcar sin IVA de 22.511 \$/bolsa correspondiente a octubre de 2023 (Figura 5). Comparando con la campaña 2022/2023 la cantidad de bolsas de azúcar necesarias para cubrir los gastos de fertilización fue un 45% inferior en 2023/2024.

Los gastos variaron según las alternativas tecnológicas consideradas maquinaria, fuente sintética de N y uso o no de biofertilizantes. En este cálculo se utilizó el precio de los fertilizantes correspondientes a septiembre, al realizar la determinación con los precios de urea y CAN de junio-julio (de mejor relación

insumo producto) las distintas alternativas hubieran resultado aún más rentables (de 1,5 bolsas/ha a 2,8 bolsas/ha).

El desafío global es disminuir la emisión de gases de efecto invernadero en campo, lo cual se puede lograr tanto gracias a las características propias de los productos (menor huella de carbono), como a la reducción de la dosis por ha pero manteniendo los niveles productivos (mayor eficiencia de uso), y también por la logística y los métodos de aplicación.

La fertilización nitrogenada puede generar, en promedio, un incremento de 23 toneladas de caña de azúcar por ha (entre 10 y 55 t/ha según el tipo de suelo) (Romero *et al.*, 2009), las que equivalen a 27 bolsas de azúcar de 50 kg (teniendo en cuenta un rendimiento fabril del 10% y una participación del 58%). Esta cantidad de bolsas, supera ampliamente el gasto que implica la práctica, para cualquiera de las alternativas consideradas en este trabajo, tanto en esta campaña como en la pasada.

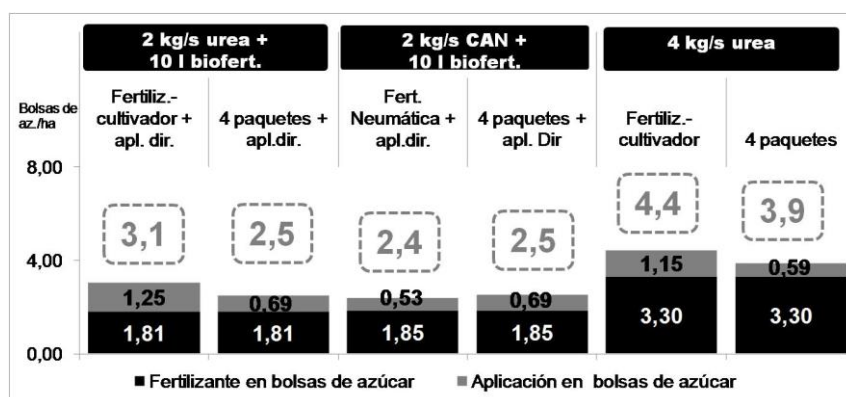


Figura 5. Gastos para diferentes alternativas de fertilización en caña de azúcar, expresados en bolsas de azúcar/ha, campaña 2023/2024.

CONSIDERACIONES FINALES

-Entre 2015-2023 el precio de la urea fue de 581 USD/t, alcanzando un pico máximo de 1.370 USD/t en los meses de abril y mayo de 2022. En 2023 sus valores variaron entre 575 USD/t y 945 USD/t.

-Las tasas de crecimiento de los precios del azúcar, tanto en el mercado interno como internacional, tuvieron un importante incremento en el periodo analizado con respecto al periodo 1992-2015. El año 2023 se destaca como el año de mejores precios en todos los mercados.

-Durante el período 2015-2023 se necesitaron en promedio 2,69 bolsas de azúcar para comprar 100 kg de urea. Adquirir el fertilizante en el segundo trimestre (abril a junio) del año fue lo más favorable, en cuatro de los nueve años analizados.

-El costo de fertilizar varió entre 53.720 \$/ha y 100.140 \$/ha, o expresado en bolsas de azúcar entre 2,4 y 4,4 bolsas de azúcar (precio de la bolsa de azúcar de 50 kg de 22.511 \$ de octubre 2023). Comparando con la campaña 2022/2023, los valores fueron entre un 125% y 127% superiores en pesos por hectárea, pero entre un 44% y 46% inferiores en cantidad de bolsas de azúcar por ha.

-Sólo se necesitaron entre 2,4 a 4,4 bolsas de azúcar para cubrir el gastos para fertilizar una ha, de modo que todas las alternativas de fertilización analizadas son rentables, si se contrastan frente al beneficio obtenido por fertilizar que en

promedio sería de 27 bolsas de azúcar/ha. El gasto hubiera sido menor si la compra del fertilizante se realizaba entre junio y julio.

-La alternativa más económica es la que consideró la fertilización neumática con CAN y biofertilizante. Esta combinación además es más sustentable, porque, emitiría menos gases de efecto invernadero al reducir la dosis, usar biofertilizante, y emplear implementos de menor potencia y tiempo operativo, lo que implica menor consumo de combustible fósil. De esta manera se contribuye a las metas de desarrollo sostenible indicadas por la Organización de las Naciones Unidas (Objetivo 1: poner fin al hambre y Objetivo 12 Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles)

Bibliografía

Leggio Neme, M. Fernanda; Alonso, Luis G.; Fernández González, Pablo G.; Luque, Belén; Quintana, Diego; Paredes, Virginia y Romero, Eduardo R. 2018 Evaluación del nitrato de amonio calcáreo como fertilizante nitrogenado en caña de azúcar en Tucumán, Argentina. Libro resúmenes de XI Congreso Atalac-Tecnicaña 2018.

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. El Manual del Cañero (Romero, E.R; Digonzelli, P.A.; Scandaliaris, J. Eds), pp. 79. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, Tucumán. Disponible en <https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=mdc7> (Consultado 1 de septiembre de 2022).

Pérez, D.; V. Paredes; G. Rodríguez; y J. Scandaliaris. 2016. Indicadores económico - productivos de la industria azucarera en Tucumán en el período 1992-2015. XX Reunión Técnica Nacional de la Caña de azúcar.

OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2023-2032, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/2ad6c3ab-es>.

COMPARACIÓN DE INDICADORES ECONÓMICOS DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR EN TUCUMÁN, ARGENTINA EN EL PERÍODO 2012/2013-2022/2023

Pérez, D. R.; Paredes, M.V.; Rodriguez, G.V.

danielaperez@eeaoc.org.ar, Las Talitas, Tucumán, Argentina

Palabras claves: gastos de producción, margen bruto, precio de azúcar, rindes.

Introducción

El resultado económico varía de una empresa cañera a otra, pero al momento de la elaboración de políticas públicas es importante tener información de la actividad productiva en la provincia, más allá de las situaciones particulares. La rentabilidad del productor cañero está determinada por numerosas variables, asociadas a la ubicación del cañaveral y de la gestión que realice el productor. Por ejemplo los gastos de producción están en relación con la cantidad de insumos que requiere la producción, éstos a la vez dependen del planteo técnico, y también de la forma y del momento en que se adquieran y paguen los productos y servicios que se utilicen. Igualmente ocurre con los ingresos los que dependerán de los rendimientos del cañaveral y de la manera en que se realice la comercialización del producto. De modo que 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 y calcular un gasto que represente a la actividad. También los rendimientos promedios y provinciales, así como el precio promedio del azúcar pueden dar lugar a una renta referente de la actividad bajo ciertos parámetros. El objetivo del presente trabajo fue analizar el resultado económico del cultivo de caña de azúcar en Tucumán en el período 2012/2013-2022/2023, utilizando como indicador el margen bruto y considerando un determinado paquete tecnológico, una modalidad de adquisición de insumos y servicios, y el nivel productivo promedio de la provincia. Este indicador se determinó en pesos corrientes y bolsas de azúcar por hectárea para cada campaña. Expresar el gasto en bolsas de 50 kg azúcar blanco tipo A, permite observar de una manera más asertiva la realidad del cañero. También relacionar el gasto con el ingreso del productor, lo que resulta especialmente práctico en Tucumán donde funciona mayormente el sistema de maquila (los ingenios pagan a los cañeros con azúcar).

Materiales y métodos

Se determinó para cada campaña el Margen bruto (MB) de una hectárea (ha)

$$MB (\$/ha) = \text{Ingreso bruto } (\$/ha) - \text{Costos directos } (\$/ha) = A - B$$

$A = \text{Ingreso bruto (IB)} = RC \text{ (t/ha)} \times RF \text{ (\%)} \times P \text{ (\$/t)} \times Pr \text{ (\$/t)}$.

Dónde: RC=rinde cultural, t de caña de azúcar por ha; RF= rinde fabril %; P=“participación %”; Pr= precio del azúcar en pesos corrientes /t. Sobre la participación, los acuerdos son variables y en este estudio se utilizó un valor del 58%.

$B = \text{Costos directos (\$/ha)} = \text{Gastos de fertilización} + \text{Gastos de cultivo y control de malezas} + \text{Amortización de la plantación} + \text{Gastos de cosecha y transporte}$

Para el cálculo de 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 (4 kg de urea por surco) y cosecha integral. Se supone una distancia al ingenio de 30 km. Cultivo y control de malezas en caña soca para un 80% de la hectárea. Se tuvo en cuenta la renovación de un 20% de la superficie todos los años (amortización de la plantación en cinco años). Para calcular cosecha y transporte por ha se utilizó el rinde cultural bruto promedio provincial de cada campaña. Los precios de los insumos y labores fueron los vigentes al momento en el que técnicamente corresponde efectuar las diferentes tareas, (por ejemplo octubre – noviembre de cada año para la fertilización). Los gastos de plantación, aplicaciones, cosecha integral y flete corresponden a valores de contratista. No se incluyó IVA, otros impuestos, ni gastos de administración.

Finalmente los IB, costos directos y margen bruto se transformaron de pesos corrientes a bolsas de azúcar. Los precios de la bolsa de azúcar empleados en este cálculo son promedios que resultan de valores vigentes al momento en el que se estima deben ser efectuadas las tareas (por ejemplo precio promedio de octubre – noviembre de 2022 para la fertilización de la campaña 2022/2023 o zafra 2023).

Resultados

Gastos de producción

En la Figura 1 se muestra como variaron los gastos de producción, cosecha y transporte del cultivo de caña de azúcar en Tucumán para el período 2013 – 2023, expresados en pesos corrientes y en bolsas de azúcar por hectárea. Se observa el importante crecimiento del gasto en pesos (41,86% en crecimiento promedio anual), especialmente en la última campaña del período (121% variación interanual), efecto del proceso inflacionario y devaluatorio que atravesaba el país. En cuanto a la representatividad de cada rubro en el rango de análisis, es decir para los 11 años analizados en promedio la cosecha representó un 35%, el flete un 26%, siendo los rubros de mayor impacto, luego se ubican cultivo, control químico de malezas y la fertilización caña soca (22%), amortización de plantación (14%) y cultivo de caña planta (3%).

Para determinar el gasto de fertilización se utilizó la aplicación de 4 kg de urea por surco, sin embargo es cada vez más frecuente el uso de una dosis reducida

(2kg/surco) de urea o de nitrato de amonio calcáreo CAN, más el agregado de 10 l/ha de biofertilizante en ambos casos, resultando el CAN+ biofertilizante la opción más económica y amigable con el medioambiente (Paredes *et al.*, 2024). Además, se consideró una renovación de caña - sobre caña, no en rotación con soja, práctica que reduciría, el gasto en herbicidas y la amortización de la plantación al prolongar la vida útil del cañaveral por lo menos en dos campañas (Pérez *et al.*, 2021).

Con este planteo técnico se esperaría un rendimiento de por lo menos 60 t/ha, sin embargo para la determinación de los gastos de cosecha y de transporte se utilizó el rinde promedio de la provincia en cada campaña.

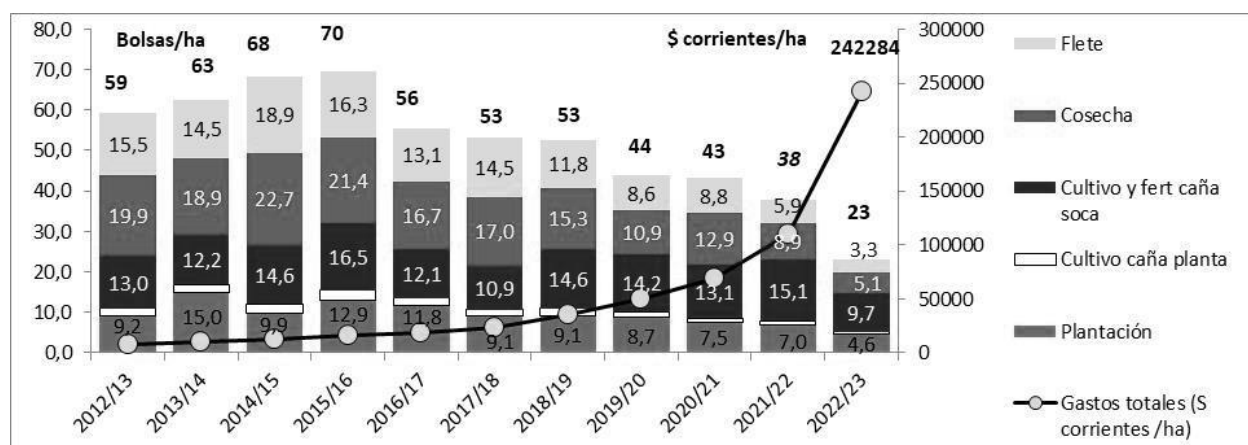


Figura 1. Evolución del gasto de producción, cosecha y transporte del cultivo de caña de azúcar en Tucumán, periodo 2013 - 2023. Expresado en \$ corrientes y bolsas de azúcar por hectárea.

Margen bruto

El margen bruto (MB) por hectárea es un indicador ampliamente utilizado en 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).

En la Tabla 1 se muestra el ingreso bruto (IB), que se utilizó para la determinación del MB en cada zafra del período analizado, y también las variables con las que se lo determinó. Se utilizaron rendimientos culturales y fabriles y precios promedios de cada zafra. Se observa que el rendimiento cultural promedio de caña bruta por hectárea, para el período 2012/2013 - 2022/2023 fue de 60,7 t/ha; este indicador no mostró variaciones importantes en el rango de análisis. Al asumir un descuento del 8% de trash, el rinde promedio de caña neta resultó en 56,2 t/ha. Es importante destacar que hay empresas con rendimientos que superan las 75 t/ha y otras en las que el rinde promedio se encuentra por debajo de las 53 t/ha (Fandos *et al.*, 2021).

Por su parte el rinde fabril promedio del período fue de 9,7%, indicador que tampoco experimentó variaciones importantes en el período analizado. Es importante mencionar que éstos son promedios de zafra de todas las fábricas de la provincia, y que se registran valores superiores, entre 1 a 3 puntos, en algunas de ellas (Pérez *et al.*, 2017).

Tabla 1. Rinde cultural y rinde fabril % de caña de azúcar promedio en Tucumán, en el período 2013-2023.

	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22	2022/23	Promedio 2012/13- 2022/23
Rinde cultural (t/ha)	58,5	61,3	66,5	64,6	58,6	60,6	61,0	59,5	60,3	58,2	58,9	60,7
Rinde caña neta (-8% trash)(t/ha)	54,2	56,7	61,6	59,8	54,3	56,1	56,5	55,1	55,8	53,5	54,2	56,2
Rinde fabril (%)	9,3%	10,3%	10,5%	10,6%	9,6%	9,4%	9,0%	9,8%	9,0%	9,6%	9,3%	9,7%
Participación %	58,0%	58,0%	58,0%	58,0%	58,0%	58,0%	58,0%	58,0%	58,0%	58,0%	58,0%	58,0%
Precio azúcar meses zafra (\$/t)	2470	3804	3798	5300	7463	9389	16234	29611	36717	85072	391845	
Precio azúcar meses zafra (USD/t)	447	459	399	352	444	329	320	404	377	632	1286	495
Ingreso bruto (\$/ha)	7.204	12.887	14.301	19.411	22.469	28.785	47.822	92.551	107.443	254.289	1.149.829	
Ingreso bruto (bolsas/ha)	58	68	75	73	60	61	59	63	59	60	59	63

Fuente. Elaborados con datos de: rinde cultural, SR y SIG EEAOC; Rinde fabril % IPAAT o CAA; precio del azúcar, CACTU.

En la Figura 2 se observa la evolución del MB del cultivo de caña de azúcar en \$corrientes/ha y en bolsas/ha para el período 2012/2013-2022/2023. Los MB de las últimas cinco zafras del período analizado fueron superiores a los de las primeras zafras, con incluso alguna con valor negativo. Se destaca la campaña 2022/2023, en la que el precio del azúcar tuvo un incremento significativo desde mediados de zafra, impactando especialmente en el costo de cosecha cuando lo expresamos en bolsas.

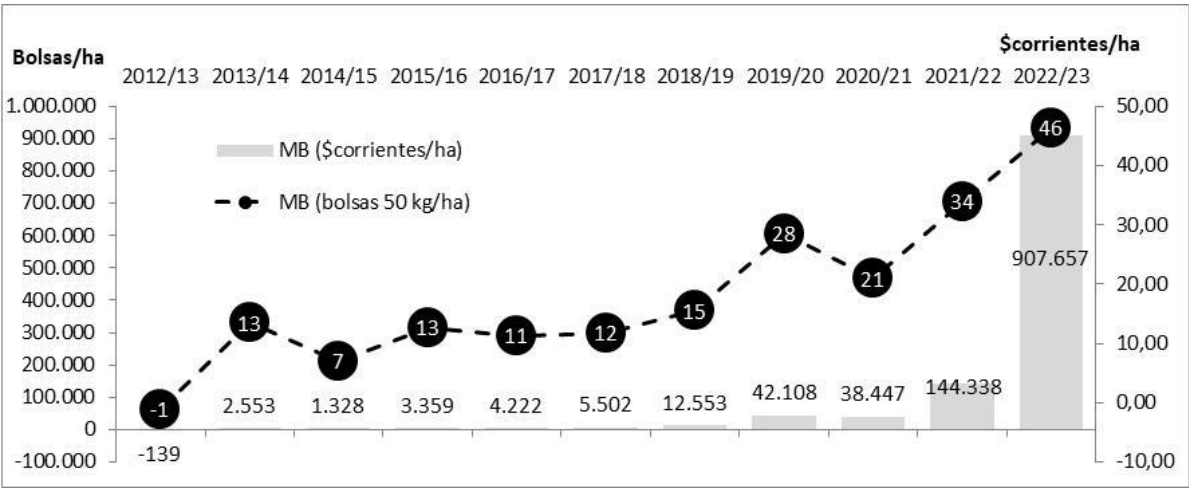


Figura 2. Margen bruto del cultivo de caña de azúcar en bolsas/ha y en \$corrientes/ha para Tucumán. Período 2013-2023.

Consideraciones finales

El gasto promedio (producción, cosecha y transporte del cultivo) del período 2013-2023 expresado en bolsas de azúcar fue de 52 bolsas/ha. Si se contrastan las distintas campañas contra esta media, resalta la campaña 2022/2023 como la mejor del período. Esto debido principalmente a la excelente relación servicio (de cosecha y transporte) y producto (precio azúcar).

El MB promedio del período 2013-2023 fue de 18,2 bolsas por ha. Se destaca la campaña 2022/2023 con 46 bolsas fue la mejor del ciclo analizado, al compararla con la media del período. Hacia el final del periodo el MB tuvo un mejor performance, con origen especialmente en la tonificación del precio del azúcar.

Bibliografía

Casari, M, G.Gorziglia. 2014.Margen bruto: ¿Concepto precario para la toma de decisiones agropecuarias?Instituto de Investigaciones Teóricas y Aplicadas, Escuela de Contabilidad Decimotavas Jornadas "Investigaciones en la Facultad de Ciencias Económicas y Estadísticas".

Ghida Daza C., P. Alvarado, H. Castignani, J. Caviglia, M.LD' Angelo. 2009. PE AEES 1731 Economía de los Sistemas de Producción. Indicadores económicos para la gestión de empresas agropecuarias. Bases Metodológicas. Serie Estudios socioeconómicos de la sustentabilidad de los sistemas de producción y recursos naturales N°11. ISSN: 1851-6955.

Pérez D., V. Paredes, G. Rodriguez, A. y E.R Romero. 2017 Estadísticas, costos y margen bruto del cultivo de caña de azúcar, campaña 2015/16 vs 2014/15. Gasto de plantación para la zafra 2017 en Tucumán. Reporte Agroindustrial 134. En <https://www.eeaoc.gob.ar/wp-content/uploads/2018/11/RA134.pdf>.

Pérez D., V. Paredes, G. Rodriguez, A. Sanchez Ducca, L. Alonso y E.R Romero. 2021 Cultivo de caña de azúcar en Tucumán, margen bruto zafra 2020 y comparación de costos de fertilización, control de malezas y plantación entre las campañas 2019/20 y 2020/21. Reporte Agroindustrial EEAOC 208. En <https://www.eeaoc.gob.ar/wp-content/uploads/2021/03/RA-208-FINAL.pdf>

Fandos C., J. Scandaliaris, P. Scandaliaris, J. I. Carreras Baldrés, F.J. Soria, J.G, J. Fernandez de Ullivarri y E. R. Romero. 2021. Área cosechable y producción de caña de azúcar y azúcar para la zafra 2021 en Tucumán. Reporte Agroindustrial EEAOC 217. <https://www.eeaoc.gob.ar/wp-content/uploads/2021/06/RA-217-final.pdf>.

Paredes V., D. Pérez, G. Rodriguez, L. Alonso y E.R Romero. 2024. Gasto de fertilización de caña soca en Tucumán para la zafra 2024, influencia del precio de la urea y del azúcar en la rentabilidad de la práctica. Reporte Agroindustrial EEAOC 303. En <https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=gasto-de-fertilizacion-de-cana-soca-en-tucuman-para-la-zafra-2024-influencia-del-precio-de-la-urea-y-del-azucar-en-la-rentabilidad-de-la-practica>

IMPACTO AMBIENTAL DEL MANEJO DE MALEZAS DEL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR, ESTUDIO DE CASOS MEDIANTE CALCULADORA CREA DEL INDICE EIQ (CAMPAÑA 2022-2023)

Pérez M. L. del P.

Grupo CREA Yungas, Tucumán, Argentina, mlperez795@gmail.com

Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola

Introducción

El uso de fitosanitarios en el cultivo de caña de azúcar es esencial para alcanzar eficiencia en la productividad del cultivo. Es una tendencia en los últimos años medir o evaluar el desempeño ambiental de los manejos de los cultivos que permitan alcanzar altas producciones con un menor impacto. La cantidad de ingrediente activo utilizado es un buen indicador, pero no podemos limitarnos a abordar el uso de pesticidas y no abordar la cuestión más relevante, que es el riesgo asociado a su uso. Hasta la fecha, la mejor opción disponible es el EIQ propuesto por Kovach et al. (1992) (Carbonari & Velini, 2021). La Gestión Ambiental CREA (GAC) es un proceso de mejora continua que busca instalar la dimensión ambiental en las empresas y los grupos CREA con una visión sistémica de los modelos productivos (<https://gac.crea.org.ar>). Una de las herramientas que brinda la GAC es la calculadora de EIQ.

El Índice de impacto ambiental (EIQ por su sigla en inglés - Environmental Impact Quotient) es un valor numérico y adimensional que permite evaluar el impacto ambiental de los fitosanitarios. Surge del promedio de tres componentes: Riesgo del trabajador (WR); Riesgo del consumidor (CR); Riesgo Ecotoxicológico (ER).

El riesgo del trabajador (WR) agropecuario es contemplado como la suma de los riesgos del aplicador (toxicidad dérmica) y del cosechador (vida media de los productos en la planta). Ambos riesgos se multiplican por el valor de toxicidad crónica específica del fitosanitario.

El riesgo del consumidor (CR) se evalúa el potencial de exposición del consumidor al fitosanitario. En él se evalúa la toxicidad crónica, la vida media de los productos en el suelo, la vida media en las plantas y el modo de acción, ya sea si es de contacto o residual. La segunda parte tiene en cuenta el agua subterránea, y explica la probabilidad de que los productos se lixivien en profundidad.

El Riesgo Ecológico (ER) incluye el impacto ambiental en los sistemas acuáticos y terrestres.

Este calculador permite comparar el indicador EIQ y sus parámetros WR, CR, ER, para planteos de aplicaciones químicas, en función del tipo de producto utilizado (Principio Activo) de herbicidas, insecticidas o fungicidas y la dosis aplicada de cada producto.

El índice EIQ puede ser calculada por área tratada a nivel de lote o de manera general por explotación, para toda una región o por kg de producto producido.

Una cuestión importante a tener en cuenta cuando se calcula este índice es que se establece como supuesto que las aplicaciones se hicieron bajo las condiciones adecuadas de cuidado personal y condiciones ambientales.

Tanto en caña de azúcar, como en otros cultivos, en los ensayos de evaluación de herbicidas en la República Argentina se viene sumando índice EIQ como un dato relevante para la toma de decisión en el manejo de malezas.

Carbonario & Velini, 2021 estimaron el EIQ anual de distintos cultivos en Brasil desde 2002 al 2014 y determinaron que en el cultivo de la caña de azúcar el índice promedio fue de 54.5 y el EIQ/tn de caña fue de 0.7.

El objetivo del presente informe fue estimar, mediante el uso de la calculadora del índice EIQ del CREA, el impacto ambiental de miembros CREA productores de caña de azúcar de la provincia de Tucumán y relacionar este índice con el rendimiento cultural.

Materiales y métodos

Se estudiaron 8 Miembros Crea (MC) que producen caña de azúcar en la provincia de Tucumán distribuidas en distintas regiones agroecológicas y con distintas problemáticas de malezas (área de influencia aprox 40000 has). En primer lugar, se calculó la cantidad de producto fitosanitario aplicado por hectárea en la campaña 2022-2023 de cada miembro. Luego, se calculó el EIQ de cada producto mediante la calculadora CREA, donde se especificó el producto usado (concentración de ingrediente activo) y la cantidad aplicada total por ha. Se estableció un ranking de los productos con mayor EIQ por empresa y se compararon las posiciones hasta el puesto 5. El EIQ de cada empresa se estimó mediante la suma de los EIQ de cada producto. Además, se calculó el EIQ promedio de los casos estudiados. Por último, se estimó el EIQ por tonelada de caña producida, dividiendo el EIQ de cada empresa en su rendimiento cultural promedio por hectárea.

Resultados

Los valores de EIQ de los MC cañeros variaron entre 28 y 83,9 con un promedio de 58,3 (Figura 1).

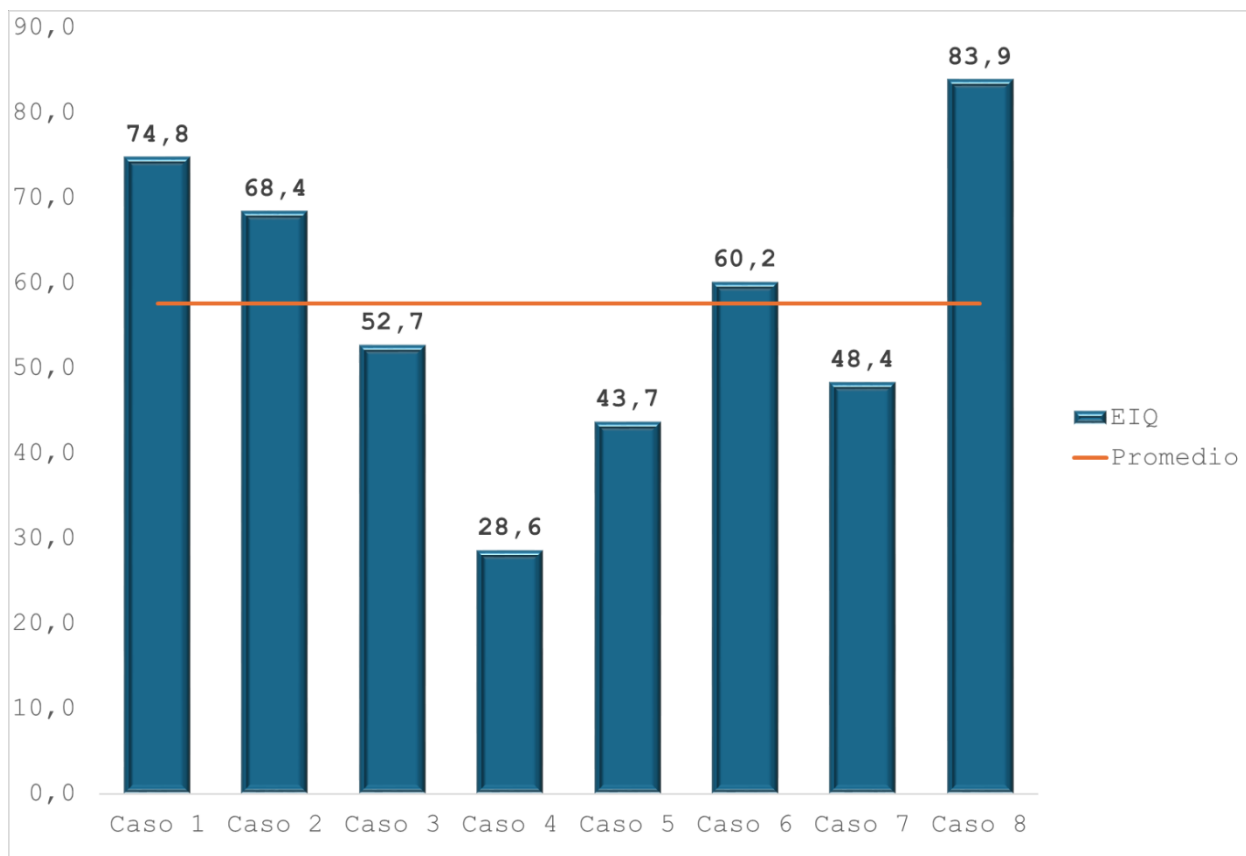


Figura 1. Impacto ambiental por el uso de agroquímicos en miembros CREA productores de caña de azúcar de la provincia de Tucumán.

Al relacionar el EIQ con el rendimiento cultural los valores variaron entre 0,5 y 1,4, con un promedio general de 1 (Figura 2).

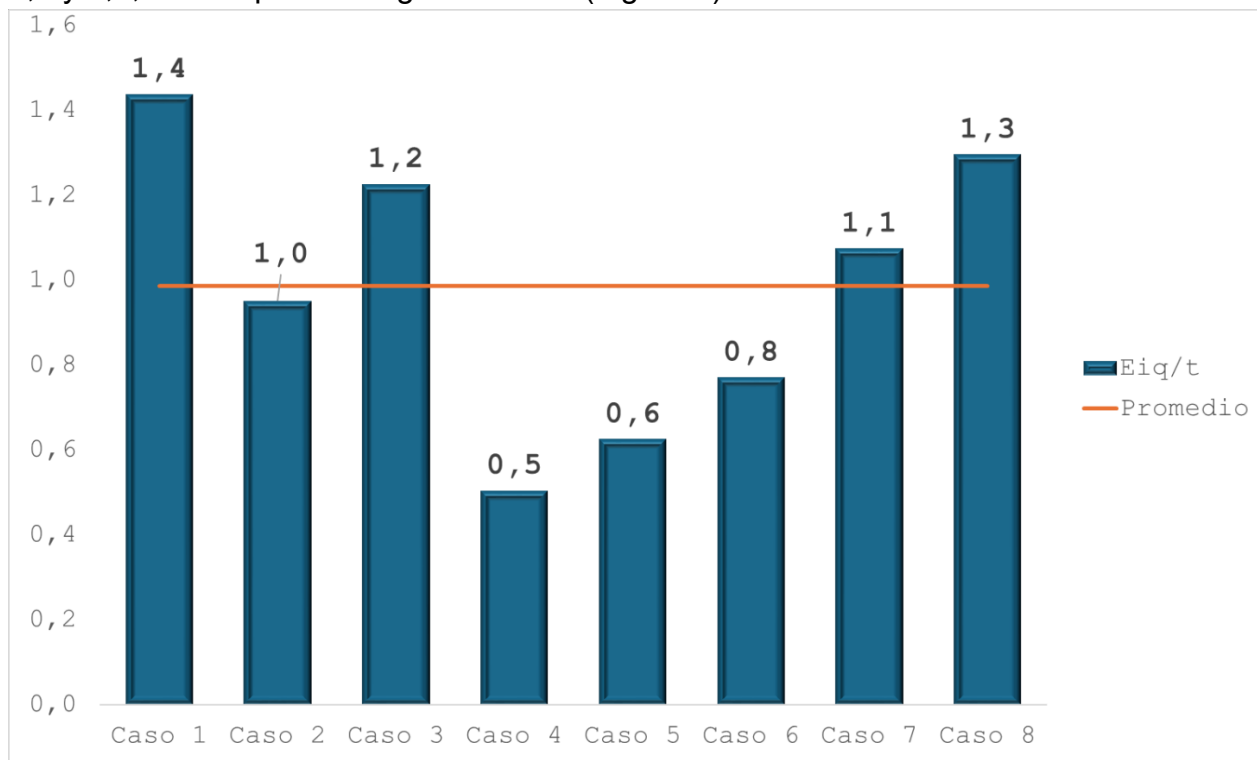


Figura 2. Estimación del impacto ambiental por tonelada de caña de azúcar producida en miembros CREA productores de caña de azúcar de la provincia de Tucumán.

En el ranking de producto con mayor EIQ se observa que los productos que incluyen Atrazina, 2,4-D, Fluroxypyr, Ametrina y MSMA presentan mayor frecuencia de aparición en los casos estudiados.

Tabla 1. Frecuencia absoluta de los productos que representan el mayor impacto ambiental en los casos estudiados.

Categorías	FA
Atrazina	8
Ametrina	6
Fluroxypyr	6
2,4-D	6
MSMA	6
Acetoclor	3
Glifosato	2
Dicamba	1
Imazapir + Imazapic	1

Consideraciones finales

Este trabajo representa el primer estudio de EIQ por empresa y permite comenzar a generar información sobre la temática. La calculadora de Índice EIQ es una importante herramienta que permitió estimar el impacto ambiental del manejo de malezas en caña de azúcar en los MC y con esto detectar los productos que presentan mayores valores a fin de diseñar estrategias de manejo tendientes a disminuirlo. Se considera necesario continuar sumando casos a la base de datos de manera de incluir la variabilidad de situaciones de la región. En adelante, se podrá analizar la asociación del índice a variables como edad, campaña, zona agroecológica y otras variables que permitirán medir la sostenibilidad del sistema productivo cañero en distintas situaciones y establecer comparativas y oportunidades de mejora.

Agradecimientos

Se agradece a las empresas del Grupo CREA Yungas que apoyaron y aportaron información para el desarrollo de este estudio: Ingenio La Providencia, Cía Azuc. Los Balcanes, Ingenio Bella Vista, Cultivos Invernales SRL, La Quimera SA, Biotuc SRL, Siempre Verde SA y Graneros SA.

Bibliografía

Carbonari, C. A., & Velini, E. D. (2021). Risk assessment of herbicides compared to other pesticides in Brazil. *Advances in Weed Science*, 39, e21202032.

Gestión Ambiental CREA (GAC). <https://gac.crea.org.ar>,

MANEJO Y EVALUACION DE VITROPLANTAS DE CAÑA DE AZUCAR EN LA FASE DE ACLIMATACION CON SUSTRATOS ALTERNATIVOS

M.I. Pérez Zamora¹; S.I. Rodríguez².

¹ Centro Integral de Biotecnología Aplicada (CIBA) de la Universidad de San Pablo Tucumán. ² Facultad de Agronomía, Zootecnia y Veterinaria (FAZyV) - UNT. F. Ameghino s/n, CP 4105.

E-mail: mariaisabelperezamora94@gmail.com

Palabras claves: Sustrato alternativo, Cachaza, Fase de aclimatación, Caña de azúcar.

Introducción

Saccharum officinarum L., es una gramínea de origen tropical que necesita para la expresión de sus potenciales genéticos: temperatura, humedad y fertilidad de suelos. El gran porcentaje del área productora de caña de azúcar del mundo se encuentra entre los trópicos o en zonas muy cercanas a ellos.

Argentina se puede considerar un productor mediano dentro de la industria sucroalcoholera a nivel mundial, tanto por la superficie como por el volumen de producción. Sin embargo, la caña de azúcar en el NOA es un cultivo con fuerte identidad cultural y constituye una producción clave para la economía de la región con una participación del 98% sobre el total de la producción nacional (Benedetti, 2018).

Tucumán es una de las zonas del mundo en donde la producción de caña de azúcar se hace a mayores latitudes, en climas subtropicales, según describe Fogliata en 1995. Es el principal productor de caña de azúcar en Argentina, produce el 69% del total nacional y ocupa un área de 276.400 hectáreas, predomina la condición en secano y se extiende desde zonas con pluviometría de 1000 mm (Pedemonte) hasta zonas con 600 mm en la llanura Chacopampeana.

En el cultivo de caña de azúcar la aplicación de métodos biotecnológicos ha jugado un papel muy importante en el incremento de la producción y con ello se han alcanzado progresos sustanciales (Dookun, 1998).

Desde el año 2002, Tucumán incorporó la micropropagación en caña de azúcar como una herramienta tecnológica para incrementar los rindes azucareros. Esta técnica elimina la enfermedad del raquitismo (RSD) producida por la bacteria *Leifsonia xyli* subsp. *xyli*, confiriéndole a la planta la posibilidad de usar más eficientemente todo el fertilizante que se le aplica y el agua de lluvia y/o riego (Digonzelli *et al.*, 2019).

El área cañera de Tucumán está dominada desde hace más de una década por la variedad LCP 85-384, la cual es altamente susceptible a los efectos del raquitismo (Ostengo *et al.*, 2017). En este sentido las políticas de las instituciones técnicas de fomentar el uso de semilla alta calidad, que provengan de la micropropagación representa uno de los hitos tecnológicos en la historia de la agricultura cañera local.

La aclimatación de plantas provenientes de cultivo de tejidos vegetales es considerada como la fase crítica de la micropropagación, debido a los cambios de las condiciones ambientales del tubo de ensayo (*in vitro*) a las de invernadero o vivero (*ex vitro*), donde no se presentan las condiciones adecuadas, como: un ambiente estéril, elevada humedad relativa y un medio rico en nutrientes (Sandoval *et al.*, 1991; García *et al.*, 2004).

La fertilización nitrogenada es la base del abonado en el cultivo de la caña de azúcar en todos los países del mundo. Estudios comparativos sobre los efectos individuales de las deficiencias de N, P y K en la fotosíntesis revelaron que cuando hay carencia de fósforo, la fotosíntesis decrece su actividad en un 63%, en tanto con el nitrógeno es 41% y con el potasio 19%. Los compuestos a base de fósforo juegan roles fundamentales a través de todo el proceso de la fotosíntesis, hasta la formación de la sacarosa (Fogliata, 1995).

Los sustratos usados en la fase de aclimatación se basaron tradicionalmente en sustratos comerciales para invernaderos, formulados en base a turba como componente principal. Sin embargo, la necesidad de incrementar el desarrollo del sistema radicular, la tasa de acumulación de biomasa y disminuir los costos en esta fase, se busca evaluar alternativas de tratamientos con proporciones crecientes de cachaza estacionada y estabilizada en mezclas con el sustrato tradicional.

Es así, que la cachaza y la vinaza, residuos de la agroindustria azucarera, por su composición mayormente orgánica han sido utilizados como enmiendas en los campos cañeros (Quiroz *et al.*, 2013).

La cachaza es un residuo que se obtiene en el proceso de clarificación de los jugos de caña, que incluye materias terrosas e impurezas orgánicas. Es rica en N, P, K y Ca, y su uso como abono favorece las propiedades físicas y químicas del suelo; incrementa temporalmente la capacidad de intercambio catiónico del suelo por la producción de humus, aumenta la capacidad de retención de humedad del mismo, y durante su descomposición se produce gran cantidad de CO₂ que al transformarse en H₂CO₃, disuelve junto con otros ácidos de origen orgánico, los nutrientes insolubles en suelos con pH alcalino (Hernández *et al.*, 2008)

El compostaje de la cachaza es una alternativa que permite reducir las dosis de aplicación, facilita su transporte, aplicación en el campo, favorece el proceso de mineralización y permite una mayor disponibilidad de nutrientes para el cultivo (Hernández *et al.*, 2008).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes proporciones crecientes de cachaza en la mezcla utilizada como sustrato en la fase de aclimatación de vitroplantas de caña de azúcar.

Materiales y métodos

Se utilizaron vitroplantas de caña de azúcar del cultivar LCP85-384, provenientes de biorreactores de cultivo en inmersión temporal marca SETIS, generados por el laboratorio de micropropagación vegetal del Centro Integral de Biotecnología aplicada (CIBA) de la Universidad de San Pablo Tucumán.

Las plántulas enraizadas fueron sometidas a un proceso de aclimatación en invernadero bajo condiciones controladas. Se colocaron en bandejas plásticas de 72 alveolos, de 75 cc por alveolo. Se utilizó una mezcla de sustrato marca Kekkila profesional formulado a partir de turba y fibras de coco, perlita marca Perlome y proporciones variables de cachaza seca estacionada por 14 meses y tamizada, de composición: 12% de humedad, 62% de materia orgánica, 2,2% de nitrógeno total/materia seca, 1,23% de fósforo total/materia seca, 2,1% de calcio total/materia seca y pH 6,5. Los tratamientos aplicados fueron: T1 (testigo):

sustrato 100%, T2: Sustrato 50% + cachaza 50%, T3: Sustrato 30% + cachaza 70% y T4: cachaza 100%. Se utilizaron 2 bandejas por tratamiento. El ensayo tuvo tres repeticiones en diferentes fechas (15/09/23, 29/09/23 y 13/10/23). Cada repetición utilizó, una nueva población de plantas de la misma variedad obtenidas del laboratorio de vitroplantas. Se evaluó a) longitud de la parte aérea y radicular del plantín y b) el peso fresco y peso seco de la parte aérea y radicular.

A los 90 días, se tomaron muestras de 50 plantas por tratamiento de manera aleatoria, con la ayuda de una regla, se midió la altura de las plántulas (desde el ras de suelo hasta la hoja +1). Luego se lavó cuidadosamente el sistema radicular con agua para eliminar el sustrato adherido, se separó cuidadosamente la parte aérea de la parte radicular, con la ayuda de un bisturí y se pesó el material vegetal por separado en balanza analítica. El material vegetal se colocó dentro de bolsas de papel identificadas con el tratamiento correspondiente y se llevaron a estufa marca Stainless Steel a 70°C hasta peso constante, para determinar el peso seco de la parte aérea y radicular.

Para el análisis de los datos se utilizó el software Statistic Versión 2.0.

Resultados

En todos los casos el método de comparación de medias fue DLS al 1%.

Efecto de los tratamientos sobre los pesos frescos aéreos

En las evaluaciones de la (Fecha 1): el peso fresco aéreo de las plantas del (T1) promedió en 12,22 g, mientras que en (T3) y en (T4) elevaron significativamente los pesos frescos aéreos a 36,67 g y 35,56 g respectivamente. En la Fecha 2, el (T4) arrojó valores de 46,46 g, superando significativamente al testigo (20,72 g). El resto de los tratamientos no presentó diferencias significativas. En la Fecha 3, el peso fresco aéreo del testigo (16,02g) fue superado significativamente por todos los tratamientos de reemplazo de sustrato parcial y totalmente (figura 1).

Con estos resultados se verifica que el reemplazo parcial o total del sustrato por cachaza, representaría una herramienta de viabilidad práctica para mejorar la tasa de crecimiento de la parte aérea de los plantines de caña de azúcar en su periodo de aclimatación en invernadero.

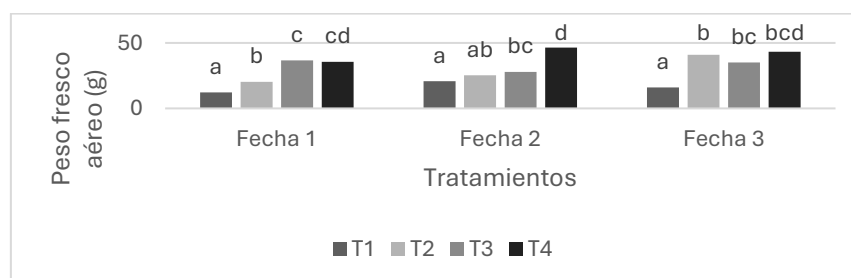


Figura 1: Pesos frescos aéreos de las plántulas en los tratamientos aplicados para las tres fechas.

Efecto de los tratamientos sobre los pesos secos aéreos

En la fecha 1, los tratamientos generaron diferencias significativas de peso seco (biomasa) 3g de incremento, con respecto al testigo. En la fecha 2, sólo el tratamiento de 100% de cachaza tuvo un incremento de peso seco de la parte aérea significativo, con valores en gramos que duplican al testigo. Los

tratamientos de combinaciones intermedias no produjeron diferencias significativas. En la fecha 3, los tratamientos T2, T3 y T4 generaron crecimientos significativos con respecto al testigo, aunque entre ellos no presentaron diferencias significativas (figura 2).

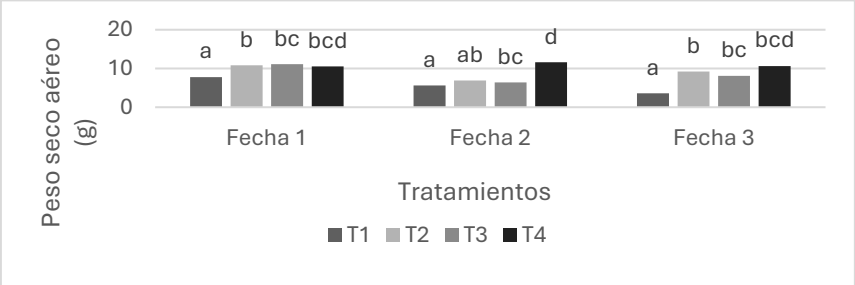


Figura 2. Pesos secos aéreos de las plántulas en los tratamientos evaluados en las tres fechas.

Efecto de los tratamientos sobre la longitud de parte aérea

En los ensayos la fecha 2, sólo T2 presento diferencias significativas respecto al testigo. En la fecha 3, todos los tratamientos generaron un incremento de longitud significativa frente al testigo (34,94 cm). En la fecha 1, a pesar que se observa incrementos que van de 3 a 5 cm, estos no fueron significativos (figura 3).

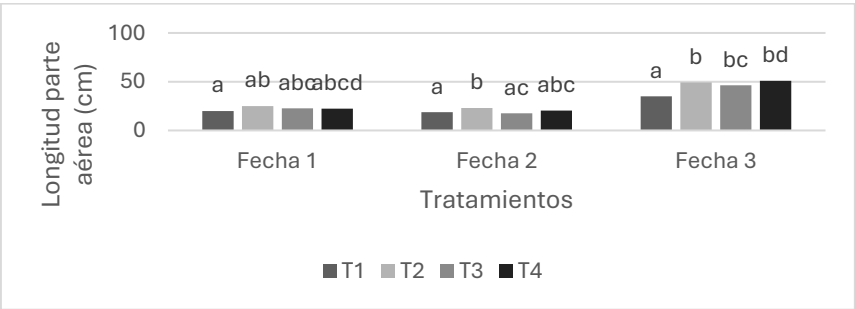


Figura 3: Longitud aérea de las plántulas en los tratamientos evaluados para las tres fechas.

Efecto de los tratamientos sobre los pesos frescos radiculares

En la fecha 1, los T3 y T4 presentaron incrementos significativos respecto a los otros tratamientos. En la fecha 2, el tratamiento con cachaza presentó una diferencia significativa con el testigo y con el resto de los tratamientos. En la fecha 3, los tratamientos que superaron significativamente al testigo fueron el 2 y 3 (figura 4).

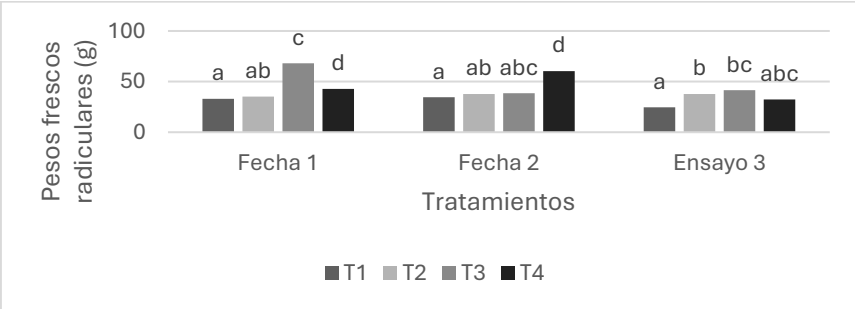


Figura 4: Pesos frescos radiculares de las plántulas en los diferentes tratamientos evaluados en las tres fechas.

Efecto de los tratamientos sobre los pesos secos radiculares

El incremento del peso del sistema radicular tuvo un comportamiento similar en la fecha 1 y 3 en lo que se refiere a los comportamientos porcentuales de peso. En la fecha 2, el T4 incrementó la materia seca del sistema (figura 5).

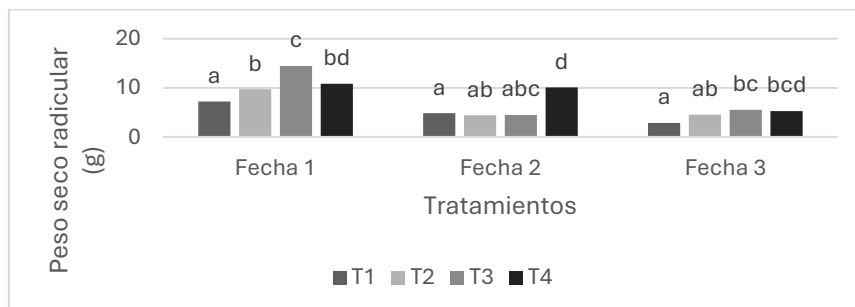


Figura 5: Pesos secos radiculares de las plántulas por tratamientos evaluados en las tres fechas.

Efecto de los tratamientos sobre la longitud de parte radicular

En las fechas 1 y 3 los tratamientos no presentaron diferencias significativas. Por el contrario, en la fecha 2 los tratamientos 2, 3 y 4 presentaron diferencias con el testigo.

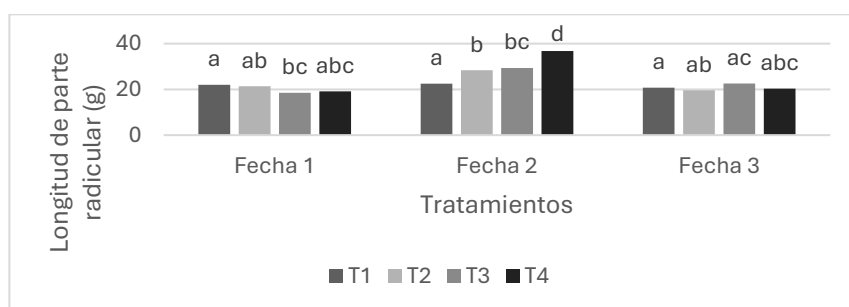


Figura 6: Longitud de la parte radicular de las plántulas por tratamientos evaluados en las tres fechas.

Conclusión

Se concluye que el reemplazo de un porcentaje del sustrato original utilizado por cachaza representa una alternativa viable, efectiva y económica para incrementar los pesos frescos y secos de la parte aérea y radicular de las vitroplantas de caña de azúcar en su fase de aclimatación. En este sentido se obtuvieron incrementos del 21 y más del 100% de los pesos secos como referencia de biomasa aérea.

Bibliografía

- Benedetti, P. (2018). Primer relevamiento del cultivo de caña de azúcar de la República Argentina a partir de imágenes satelitales para la campaña 2018. Informe elaborado por el Laboratorio de Sistemas de Información Territorial del INTA Famaillá. <https://inta.gob.ar>
- Digonzelli P.A.; Giardina J.A.; Duarte D.; Fajre S.; Medina M.M.; Barceló M.F.; 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). *Rev. Agronómica del Noroeste Argentino (RANAR)* 39 (2): 117-125. ISSN 0080-2069.

- Dookun, A. (1998). Biotechnology for sugarcane. AgBiotech News and Information (United Kingdom).
- Fogliata F. A. (1995). *Agronomía de la Caña de Azúcar*. Tecnología-Costos-Producción. Tomo I. Ed. El Graduado. Ayacucho 28 - Tucumán. Argentina. P. 261
- García, M.; R. Quintero & A. López. 2004. Biotecnología alimentaria. Edit. LIMUSA S.A: México.
- Hernández Melchor, G.I.; Salgado García, S.; Palma López, D.J.; Lagunes Espinoza, L.; Castelán Estrada, M.; Ruiz Rosado, O. (2008). Vinaza y composta de cachaza como fuente de nutrientes en caña de azúcar en un gleysol mólico de Chiapas, México. *INCI*. V.33 N.11 Caracas.
- Ostengo S.; Díaz J.; Espinosa M.; Chavanne E; Aybar Guchea, M.; Costilla D.; Cuenya, M.I. (s.f). Distribución de variedades comerciales de caña de azúcar en la provincia de Tucumán. *Sección Caña de Azúcar, EEAOC*.
- Quiroz Guerrero, I.; Pérez Vázquez, A. (2013). Vinaza y compost de cachaza: efecto en la calidad del suelo cultivado con caña de azúcar. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Pub. Esp. Núm. 5.
- Sandoval, J.; G. Brenes & L. Pérez. 1991. Micro propagación del “plátano” y “banano” (Musa AAB, AAA) en el CATIE. Edit. Bib. Orton IICA / CATIE: Costa Rica.

IMPLEMENTACIÓN EFECTIVA DE HERRAMIENTAS MOLECULARES EN EL PROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENÉTICO DE LA CAÑA DE AZÚCAR DE LA EEAOC

Racedo, J.*; Perera, M.F.*; Noguera, A.S.; Castagnaro, A.P.; 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.

*Ambas autoras contribuyeron en igual medida.

e-mail: franciscaperera@yahoo.com.ar

Palabras clave: diversidad, identificación, pureza genética, rendimiento, resistencia a enfermedades.

Introducción

El programa de mejoramiento genético de la caña de azúcar (PMGCA) de la EEAOC busca obtener variedades de mayor productividad de azúcar y/o biomasa, y resistentes a las enfermedades de importancia regional. Para ello, cada ciclo de mejora incluye la selección de progenitores a partir de una colección de germoplasma, la hibridación, y la evaluación fenotípica de la progenie en sucesivas etapas de selección. Éste es un proceso laborioso y lento que dura entre 10 y 15 años hasta la liberación comercial de un nuevo cultivar.

En este sentido, los marcadores moleculares (MM) resultan esenciales para asistir a la mejora clásica ya que pueden acelerar las diferentes etapas del esquema y permiten tener una mayor certidumbre en los procesos que rigen en dichas fases, mejorando la eficiencia y aportando precisión. Así, por ejemplo, en el banco de germoplasma se detectan MM ligados a resistencia a enfermedades (Racedo *et al.*, 2013) para utilizarlos en Selección Asistida por Marcadores (M.A.S.) y se estima la diversidad genética de los genotipos más frecuentemente empleados como progenitores (Perera *et al.*, 2012; 2023). Respecto a los cruzamientos, es posible determinar el grado de hibridez que se alcanza en la progenie (Perera *et al.*, 2012), mediante la utilización de MM como así también identificar los progenitores de una variedad obtenida por policruzamiento (Perera *et al.*, 2020). En las etapas avanzadas de selección se implementan estrategias de mapeo asociativo (Racedo *et al.*, 2016) y biparental (Chaves *et al.*, 2022) para identificar marcadores ligados a características de rendimiento y resistencia a enfermedades, que pueden utilizarse posteriormente en selección asistida por marcadores. Entre las aplicaciones más recientes, merece destacarse a la selección genómica (SG), en la que todos los MM generados a lo largo del genoma son utilizados en forma simultánea para predecir el valor de mejora de los individuos.

Las variedades de caña de azúcar que el PMGCA libera son caracterizadas inequívocamente no solo con descriptores morfológicos sino también con MM (Perera *et al.*, 2020) y son multiplicadas mediante las técnicas de cultivo de tejidos y micropropagación que permiten proveer plantines de pureza genética y sanidad garantizadas (Racedo *et al.*, 2023) al sistema productivo. Por otra parte, los genotipos que se introducen desde el extranjero a la cuarentena fitosanitaria y que resultan positivos para alguna de las enfermedades evaluadas son introducidos al esquema de micropropagación

para su saneamiento. Todas las líneas (plantines obtenidos a partir de un meristema) son evaluadas con MM para asegurar su pureza genética.

Considerando lo expuesto, este trabajo propone presentar la utilidad de diferentes herramientas moleculares para asistir al mejoramiento genético clásico de la caña de azúcar.

Materiales y métodos

Determinación de la diversidad genética

El conocimiento de la diversidad genética en el banco de germoplasma proporciona información valiosa para diseñar los mejores cruzamientos y ampliar la base genética, contribuyendo a un mejor uso de los recursos genéticos. Para ello, en primera instancia, 36 progenitores fueron caracterizados con AFLP (“Amplified Fragment Length Polymorphisms”) y SSR (“Simple Sequence Repeat”). Más recientemente, a fin de detectar polimorfismos en regiones codificantes se caracterizaron 47 progenitores empleando diez marcadores TRAP (“Target Region Amplified Polymorphism”) y 10 SSR, de los cuales ocho corresponden a secuencias expresadas (EST-SSR) y dos son de origen genómico.

Caracterización de progenitores portadores de marcadores moleculares ligados a la resistencia a enfermedades

La detección de la presencia y el estudio de la frecuencia de alelos de resistencia en el germoplasma a través de MM ligados permite realizar una selección asistida por MM (M.A.S) y diseñar cruzamientos, con el objetivo de incorporar tales genes en la progenie. En primer lugar, se evaluó la utilidad de marcadores diagnóstico asociados al gen *Bru1* (Costet *et al.*, 2012) para predecir el fenotipo de resistencia a roya marrón (*Puccinia melanocephala*) bajo condiciones naturales de alta presión de inóculo en 129 genotipos. Además, para determinar la frecuencia del gen *Bru1* en el germoplasma se evaluaron 190 accesiones adicionales.

Recientemente, se evaluó la presencia de los mismos marcadores diagnóstico y otro asociado a la resistencia a roya naranja (*P. kuehni*) (Yang *et al.*, 2018) en 47 genotipos.

Determinación del grado de hibridez

Los MM, especialmente los SSR, permiten determinar la autopolinización con facilidad y precisión e identificar la verdadera progenie híbrida de forma rutinaria, incluso en las primeras etapas del programa de mejoramiento. Por ello, un SSR fue empleado para caracterizar la progenie de cruzamientos en los que intervinieron progenitores emasculados (RA 87-3 y LCP 85-384).

Identificación de progenitores en policruzas

La variedad TUC 00-65 se obtuvo en una policruza en la que intervino HOCP 91-555 como progenitor femenino, y TUC 72-16 o TUC 89-20 como progenitores masculinos. A fin de inferir el progenitor masculino efectivo se analizaron los perfiles genéticos de todos los progenitores potenciales y de TUC 00-65 utilizando cinco reacciones TRAP y cinco SSR.

Identificación de marcadores ligados a características de rendimiento

Se estableció un protocolo de mapeo de asociación en una población de mejoramiento para encontrar MM asociados al rendimiento que sean consistentes a través de edades de corte. Para ello, un total de 86 clones de la etapa de Ensayos Internos fueron genotipados con DArT (“Diversity Array Technology”) y TRAP y evaluados para rendimiento de caña y contenido de azúcar en dos localidades, durante tres ciclos de cultivo sucesivos. El mapeo se realizó con un procedimiento novedoso, en un marco de modelo mixto que contempla la estructura de la población considerando los valores del Análisis de Componentes Principales como componente aleatoria.

Identificación de marcadores ligados a la resistencia a enfermedades

Con el objetivo de identificar MM ligados a una nueva fuente de resistencia a la roya marrón en la caña de azúcar, se obtuvo una progenie F1 de 300 clones a partir de un cruzamiento entre TUC 00-36 y RA 87-3, altamente susceptibles y altamente resistente a la enfermedad, respectivamente. Se seleccionaron un total de 60 clones F1 con fenotipo extremo, 30 altamente susceptibles y otros 30 altamente resistentes. Esta población “PT” (“pooled tails”) fue evaluada exhaustivamente en su reacción a la roya marrón bajo infección natural en el campo durante dos temporadas de cultivo y bajo infección artificial en el invernadero. El perfil molecular del genoma completo se realizó mediante tecnología DArT-seq.

Selección genómica

Se evaluaron distintos modelos de SG sobre una población de 182 accesiones del banco de germoplasma de la EEAOC. Las accesiones fueron fenotipadas en una localidad para pol (%), fibra y azúcar recuperable, en tres edades de corte. La información molecular se obtuvo por secuenciación de alto caudal DArT-seq. Se ajustaron los métodos Ridge Regression (RR), Bayes A (BA), Bayes B (BB) y Bayes C (BC). La eficiencia se evaluó para cada carácter mediante la correlación entre los valores GEBVs (“Genomic-Estimated Breeding Values”) estimados por cada modelo y los BLUPs del efecto genotípico.

Identificación de variedades

Para caracterizar tres cultivares de caña de azúcar recientemente liberados por el PMGCA (TUC 00-65, TUC 02-22 y TUC 06-7) se utilizaron cinco reacciones TRAP y cinco SSR, en combinación con marcadores fenotípicos propuestos por la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV).

Determinación de pureza genética

La identidad genética de los plantines micropropagados en el marco del Proyecto Vitroplantas de la EEAOC (variedades comerciales, clones promisorios y/o materiales en cuarentena fitosanitaria), es garantizada mediante análisis moleculares, en los cuales se comparan los perfiles genéticos de las vitroplantas al final del proceso (etapa de aclimatación) con el de la planta que les dio origen (planta madre). Para ello se emplean de rutina, siete combinaciones de cebadores TRAP.

Resultados

Diversidad genética

Los 36 genotipos fueron caracterizados molecularmente, sus distancias genéticas fueron estimadas con precisión, y estuvieron comprendidas en el rango de 0,09 y 0,43. En los 47 genotipos caracterizados recientemente con MM funcionales, se amplificaron en total 566 marcadores TRAP y SSR, de los cuales 93% resultaron polimórficos. El índice de diversidad de Nei fue igual a 0,44. Los MM empleados fueron útiles para diferenciar los genotipos, lo que sugiere que existe una base genética amplia, con alelos que pueden ser explorados.

Marcadores ligados a la resistencia a enfermedades

De los 129 genotipos, 49 (38%) fueron fenotipados como resistentes a roya marrón, y solo 8 (16,3 %) tenían los marcadores asociados al gen *Bru1*. En los 190 genotipos adicionales, sólo en el 7% se detectaron los marcadores asociados al *Bru1*.

En las evaluaciones más recientes, en el 82% de los genotipos no se detectaron los marcadores asociados al gen *Bru1*, lo que corrobora la existencia de fuentes de resistencia independientes a este gen. El marcador G1, asociado a resistencia a roya naranja estuvo presente en el 60% de los genotipos evaluados.

Determinación del grado de hibridez

Los resultados revelaron que el tratamiento de emasculación en las variedades RA 87-3 y LCP 85-384 fue exitoso, sin provocar una reducción importante tanto del estigma como de la viabilidad del ovario. El marcador SSR empleado permitió inferir la naturaleza híbrida de la progenie.

Identificación de progenitores en policruzas

A partir del análisis de similitud entre los perfiles moleculares bajo estudio se logró inferir que el progenitor masculino de TUC 00-65 es TUC 72-16.

Identificación de marcadores moleculares ligados a características de rendimiento

A partir del análisis de asociación se detectaron 43 MM significativamente asociados con el rendimiento de la caña de azúcar en la edad de planta, 42 en soca 1 y 41 en soca 2. De estos marcadores, 20 se asociaron en 2 años. Además, se encontraron 38 MM asociados con contenido de azúcar en caña planta, 34 en soca 1 y 47 en soca 2. Para esta característica, un MM resultó significativo para los 3 años del estudio, mientras que 12 marcadores fueron significativos en 2 edades. En el modelo multi-QTL se encontraron varios marcadores con un gran efecto de sustitución alélica.

Identificación de marcadores moleculares ligados a resistencia a enfermedades

Se obtuvieron datos fenotípicos robustos en ambas condiciones de infestación (naturales y artificiales), además de 23.299 SNP ("Single Nucleotide Polymorphism") a partir del genotipado DArT-seq. El análisis de mapeo simple y la regresión múltiple posterior mostraron que 34 marcadores SNP estaban significativamente relacionados con alelos de resistencia. Estos SNP explicaron conjuntamente el 69% y el 66% de la variación fenotípica total (R^2) observada

en condiciones de campo y controladas, respectivamente. Estos loci marcadores podrían contribuir al desarrollo de herramientas moleculares para el mejoramiento asistido por marcadores moleculares.

Selección genómica

A partir de la secuenciación DArT-seq de las 182 accesiones del banco de germoplasma y el posterior filtrado de alelos de baja frecuencia, se obtuvo un total de 34.869 SNP que fueron utilizados para los procedimientos de SG.

Con respecto a las precisiones observadas para cada característica, no se detectaron diferencias importantes en la precisión de la predicción entre los modelos. Se encontró que las mejores precisiones de GEVBs fueron 0,43 para azúcar recuperable (%) predicho por el modelo BRR; y 0,40 para Pol% por los modelos BC y BRR. Sorprendentemente, las precisiones del porcentaje de fibra fueron mucho más bajas en todos los modelos evaluados (0,09-0,13).

Identificación de variedades

Al ser caracterizadas con los MM las tres variedades recientemente liberadas, se observó que TUC 06-7 compartió el mayor porcentaje de similitud con su progenitor masculino (LCP 85-384). En el caso de TUC 00-65 presentó mayor similitud con TUC 03-12 con la que comparte el progenitor masculino (TUC 72-16), mientras que la tercera variedad (TUC 02-22) es la más diferente de todas las caracterizadas.

Respecto a la caracterización morfológica, todas las variedades resultaron fácilmente diferenciables, ya que las dos que mayor similitud compartieron son TUC 00-65 y TUC 02-22 (62%).

Determinación de pureza genética

Desde que la evaluación de la variación somaclonal fue incorporada al esquema de producción anual de vitroplantas en 2007, la totalidad de las líneas evaluados superaron el límite de similitud genética establecido como aceptable (>95%). Este resultado indica que los protocolos de micropropagación optimizados en el marco Proyecto Vitroplantas evitan la aparición de variantes somaclonales, lo que permite asegurar la identidad genética del genotipo que se está multiplicando.

Conclusiones

El desarrollo y la incorporación de herramientas moleculares en un esquema de mejora genética tradicional es un gran desafío y en este caso han sido implementadas de manera efectiva para el mejoramiento de caña de azúcar (Figura 1). Cabe aclarar que estrategias muy novedosas, como la identificación de MM para implementar selección asistida por MM y la selección genómica, requieren de estudios adicionales para la validación de las mismas antes de su implementación rutinaria en el Programa.

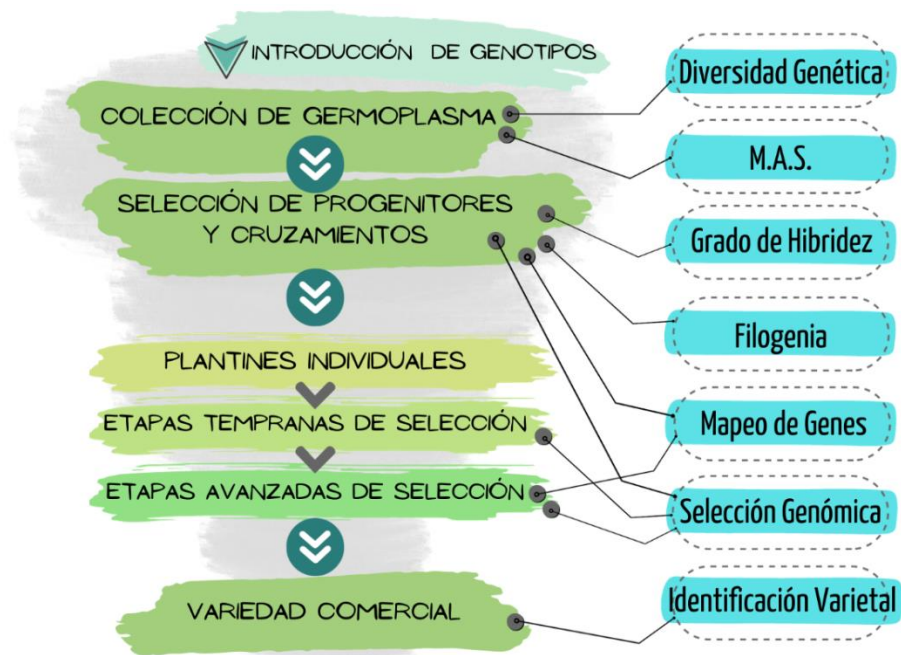


Figura 1: Implementación de marcadores moleculares en el esquema simplificado del Programa de Mejoramiento Genético de Caña de Azúcar de la EEAOC.

Citas bibliográficas

- Chaves, S.; Ostengo, S.; Bertani, R.P.; et al. 2022. Novel alleles linked to brown rust resistance in sugarcane. *Plant Pathology*, 71(8), 1688-1699.
- Costet, L.; Le Cunff, L.; Royaert, S. et al. 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.
- Perera, M.F.; Arias, M.E.; Costilla, D. et al. 2012. Genetic diversity assessment and genotype identification in sugarcane based on DNA markers and morphological traits. *Euphytica*. DOI: 10.1007/s10681-012-0661-9. 185 (3):491–510.
- Perera, M.F.; Costilla, D.D.; Ovejero, N.S. et al. 2020. Caracterización botánica mediante marcadores fenotípicos y moleculares de variedades de caña de azúcar obtenidas por el PMGCA de la EEAOC. *RIAT* 97(2): 5-9.
- Perera, M.F.; Ostengo, S.; Peña Malavera, A.N. et al. 2023. Genetic diversity and population structure of *Saccharum hybrids*. *PlosOne*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289504>
- Racedo, J.; Gutierrez, L.; Perera, M.F. et al. 2016. Genome-wide association mapping of quantitative traits in a breeding population of sugarcane. *BMC Plant Biology*. 16: 142. doi: 10.1186/s12870-016-0829-x
- Racedo, J.; Noguera, A.S.; Castagnaro, A.P.; Perera, M.F. 2023. Biotechnological strategies adopted for sugarcane disease management in Tucumán, Argentina. *Plants*, 12, 0.
- Racedo, J.; Perera, M.F.; Bertani, R. et al. 2013. Alternative sources of resistance to sugarcane brown rust disease. *Euphytica*. 191: 429-436, doi: 10.1007/s10681-013-0905-3
- 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.

ENRAIZAMIENTO DE PLANTINES MICROPROPAGADOS DE CAÑA DE AZÚCAR: COMPARACION DE DOS SISTEMAS DE PRODUCCION *IN VITRO*

S.I. Rodríguez^{1*}; N del V. Paz; A. Peña Malavera; P.A. Digonzelli^{1,2}; A.S. Noguera²;

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.

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 un cultivo perenne perteneciente a la familia Poaceae, y es originario del sudeste asiático y Nueva Guinea (Moore *et al.*, 2013). Este cultivo es importante en más de 100 países tropicales y subtropicales siendo su principal utilización en la producción de azúcar refinada y bioetanol. Según los datos más recientes del Censo Nacional Agropecuario, existen un total de 3.198 explotaciones agropecuarias dedicadas al cultivo de caña de azúcar en el país (INDEC, 2021).

Argentina se puede considerar un productor mediano dentro de la industria sucroalcoholera a nivel mundial, 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. Según un análisis realizado a partir de imágenes satelitales existieron 278.410 ha netas cosechables con caña de azúcar estimadas en Tucumán para la zafra 2023 (Fandos *et al.*, 2023).

La caña de azúcar se propaga comercialmente en forma agámica, mediante el empleo de estacas que se conocen como "caña semilla", lo cual favorece la difusión de enfermedades sistémicas que ocasionan graves pérdidas de producción. Es por esto que resulta fundamental la utilización de "caña semilla" con ciertos estándares de calidad tales como: sanidad, identidad genética y vigor. Disponer de este tipo de simiente es fundamental para aumentar la productividad de los cañaverales.

Las técnicas de cultivo de tejidos son 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 jóvenes 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. 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* (Alvard y otros, 1993; Mc Alister y otros, 2005).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la eficiencia del sistema de Inmersión Temporal (SIT) en la fase de enraizamiento de la micropropagación *in vitro*, en comparación con el sistema de micropropagación convencional.

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* de los cultivares de caña de azúcar TUC 00-19 y TUC 97-8 provenientes de la fase de multiplicación en el sexto subcultivo. Para inducir la fase de enraizamiento se empleó el medio de cultivo líquido propuesto por Murashige y Skoog (1962) (MS), enriquecido con 7 ml de ácido indolbutírico (IBA).

En el sistema convencional las plantas se colocaron en medio de enraizamiento en frascos de mayor tamaño agrupando el material vegetal de dos o tres frascos provenientes de la fase de multiplicación. En el caso de los SIT, se realizó el cambio de medio de cultivo a enraizamiento para inducir la formación de raíces. Se utilizó un tiempo de inmersión de 5 minutos con una frecuencia de 3 horas (8 inmersiones al día).

Las condiciones de la cámara de cría fueron de $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ con un fotoperiodo de 16 horas de luz/8 horas de oscuridad. Luego de un mes, finalizada la fase de enraizamiento se tomaron muestras para determinar: a) altura de planta (desde ras de suelo a hoja +1) cada muestra estuvo representada por 25 plantas de cada frasco/bidón y se tomaron 8 frascos/bidones al azar; y b) peso fresco y peso seco de la parte aérea y radicular: cada muestra estuvo representada por 50 plantas de cada frasco/bidón y se tomaron 8 frascos/bidones al azar.

Para el análisis de los datos se utilizaron Modelos lineales generales y mixtos para las variables: altura, peso fresco y seco de las plántulas.

Resultados

Se puede observar que existen diferencias significativas respecto a la altura en las salidas de los sistemas, variedad e interacción Sistema*Variedad ($\text{valor-}p < 0,0001$). Se muestran las comparaciones de medias mediante el test de comparación de medias LSD de Fisher (Tablas 1,2 y 3).

Tabla 1: Altura de los plantines en los dos sistemas estudiados. Tucumán – Argentina, 2019. LSD Fisher (Alfa=0,05)

Sistema	Medias	E.E.
BIT	5,68	0,19 A
Convencional	4,00	0,18 B

Tabla 2: Altura de los plantines en las dos variedades estudiadas. Tucumán – Argentina, 2019. LSD Fisher (Alfa=0,05)

Variedad	Medias	E.E.
TUC 97-8	5,12	0,18 A
TUC 00-19	4,57	0,18 B

Tabla 3: Altura de los plantines en la interacción sistema*variedad estudiada. Tucumán – Argentina, 2019. LSD Fisher (Alfa=0,05)

Sistema	Variedad	Medias	E.E.
BIT	TUC 97-8	6,54	0,22 A
BIT	TUC 00-19	4,82	0,22 B
Convencional	TUC 00-19	4,31	0,19 C
Convencional	TUC 97-8	3,69	0,19 D

En la fase de enraizamiento *in vitro* se observó en el Sistema de Inmersión Temporal un incremento significativo en la altura promedio en los genotipos evaluados. Las plántulas del cultivar TUC 97-8 y TUC 00-19 alcanzaron una altura de 5,68 cm y 4,82 cm, respectivamente mientras que en el sistema convencional TUC 00-19 alcanzó los 4,31 cm y TUC 97-8 los 3,69 cm (figura 1).

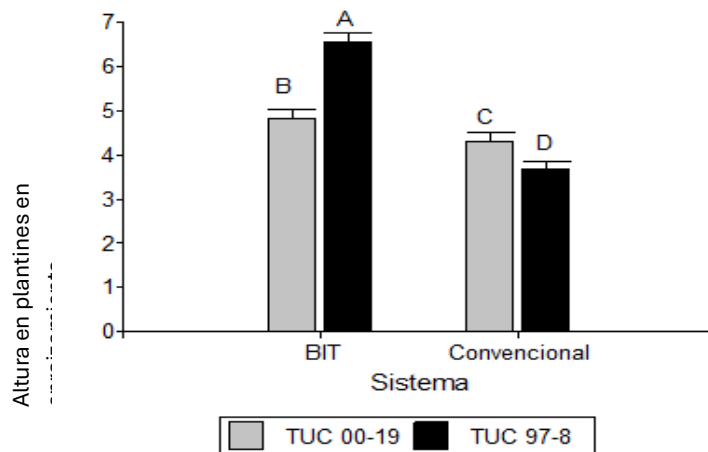


Fig. 1: Altura de plantines en los sistemas de inmersión temporal y Convencional en los cultivares TUC 00-19 y TUC97-8.

Las tablas 4 y 5 muestran el comportamiento del peso fresco para cada sistema evaluado (SIT vs micropropagación convencional), analizados para cada cultivar en forma separada.

Tabla 4: Peso fresco de la raíz en la interacción Sistema*Variedad estudiada. Tucumán – Argentina, 2019. LSD Fisher (Alfa=0,05)

Sistema	Variedad	Medias	E.E.	
Sistema BIT	TUC00-19	6,66	0,64	A
Sistema BIT	TUC97-8	3,69	0,64	B
Sistema convencional	TUC00-19	2,29	0,22	C
Sistema convencional	TUC97-8	1,67	0,22	C

Tabla 5: Peso seco de la raíz en la interacción Sistema*Variedad estudiada. Tucumán – Argentina, 2019. LSD Fisher (Alfa=0,05)

Sistema	Variedad	Medias	E.E.	
Sistema BIT	TUC00-19	0,83	0,06	A
Sistema BIT	TUC97-8	0,37	0,06	B
Sistema convencional	TUC00-19	0,24	0,02	C
Sistema convencional	TUC97-8	0,15	0,02	D

Con respecto al peso fresco de las raíces, también se observaron diferencias significativas en el promedio del mismo. En el caso del SIT, en los cultivares TUC 00-19 y TUC 97-8 se obtuvieron plántulas de 6,66 gr y 3,69 gr, respectivamente mientras que en el sistema convencional se observaron plántulas de 2,29 gr y 1,67 gr en TUC 00-19 y TUC 97-8, respectivamente (figura 2).

El peso seco de las raíces también evidenció diferencias significativas, en promedio, para ambos genotipos. En el SIT, TUC 00-19 y en TUC 97-8 evidenciaron plántulas de 0,83 gr y 0,37 gr, respectivamente mientras que en el sistema convencional el promedio observado fue de 0,24 gr y 0,15 gr en TUC 00-19 de y en TUC 97-8, respectivamente (figura 3).

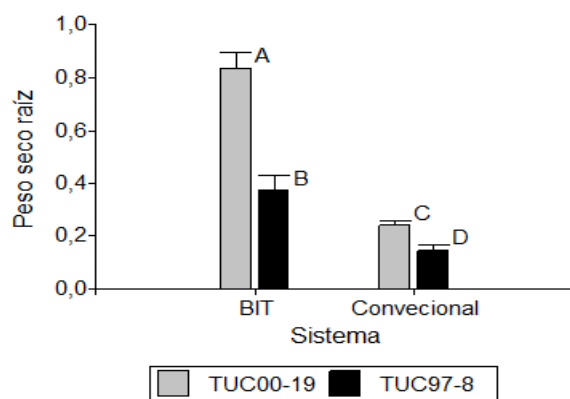


Fig. 2: Peso fresco de raíces de plantines de los cultivares TUC00-19 y TUC97-8, en los sistemas de inmersión temporal y Convencional

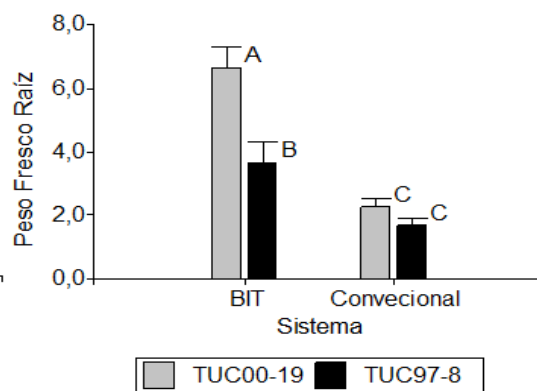


Fig. 3: Peso seco de las raíces de plantines de los cultivares TUC00-19 y TUC97-8 en los sistemas de inmersión temporal y Convencional

Las tablas 6 y 7 muestran el comportamiento del peso seco para cada sistema evaluado (SIT vs micropropagación convencional), analizados para cada cultivar en forma separada.

Tabla 6: Peso fresco de la parte aérea en la interacción Sistema*Variedad estudiada. Tucumán – Argentina, 2019. LSD Fisher (Alfa=0,05)

Sistema	Variedad	Medias	E.E.
Sistema convencional	TUC00-19	15,02	0,69
Sistema BIT	TUC00-19	14,30	0,69

Sistema BIT	TUC97-8	11,24	0,69
Sistema convencional	TUC97-8	9,33	0,69

Tabla 7: Peso seco de la parte aérea en la interacción Sistema*Variedad estudiada. Tucumán – Argentina, 2019. LSD Fisher (Alfa=0,05)

Sistema	Variedad	Medias	E.E.
Sistema BIT	TUC00-19	1,86	0,09
Sistema convencional	TUC00-19	1,73	0,09
Sistema BIT	TUC97-8	1,42	0,09
Sistema convencional	TUC97-8	1,11	0,09

Con respecto al peso fresco y seco de la parte aérea de las plántulas, no se observaron diferencias significativas, en cuanto al sistema, variedad e interacción (Figuras 4 y 5)

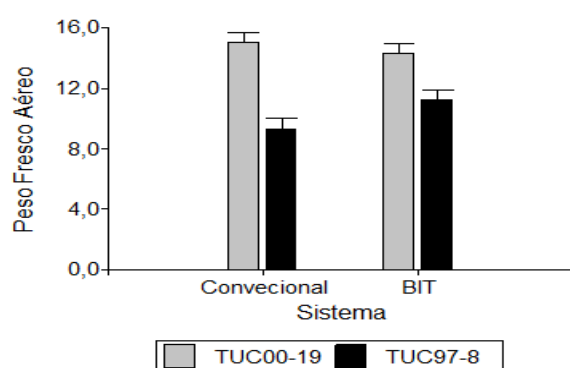
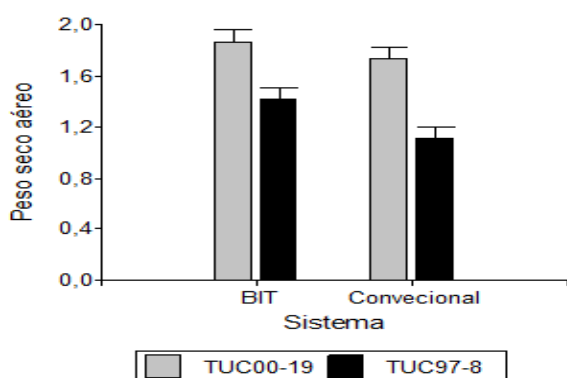


Fig. 4: Peso fresco de la parte aérea de plantines de los cultivares TUC 00-19 y TUC 97-8 en los sistemas de inmersión temporal v Convencional

Fig. 5: Peso seco de la parte aérea de plantines de los cultivares TUC 00-19 y TUC 97-8 en los sistemas de inmersión temporal v Convencional.



Las diferencias significativas que existen en altura de las plantas y peso de las raíces podría fundamentarse en el hecho en que en el Sistema de Inmersión Temporal el medio de cultivo toma contacto en forma intermitente con el material vegetal. Este contacto intermitente permite 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 CO₂ y la oxigenación de los tejidos.

Por otra parte, este ensayo evidenció que los cultivares de caña de azúcar presentan comportamientos diferenciales durante el cultivo *in vitro*. Así, en términos generales, TUC 97-8 alcanzó una mayor altura en comparación a TUC 00-

19 (figura 1). Así mismo, TUC 00-19 desarrolló mayor cantidad de raíces en comparación a TUC 97-8 (figura 2 y 3).

Las diferencias de comportamiento entre los cultivares evaluados 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 y que la duración del proceso *in vitro* sea diferente lo cual afecta la eficiencia del proceso.

Por otra parte, se destaca que en el SIT se obtuvieron plantines de mayor tamaño y vigor que en el sistema de micropropagación convencional, lo cual favoreció la fase de aclimatación de los plantines en invernadero (datos no mostrado).

Conclusión

Se concluye que las variedades de caña de azúcar evaluadas tuvieron un comportamiento diferencial en ambos sistemas de producción, el sistema SIT permitió obtener plántulas de mayor altura y con un sistema radical más desarrollado, en ambos genotipos estudiados, en comparación con el sistema de micropropagación convencional. Se observó que las plántulas del cultivar TUC 97-8 presentaron mayor altura mientras que las de TUC 00-19 presentaron mayor peso radicular (fresco y seco). En el caso del peso fresco/seco aéreo no se observaron diferencias significativas.

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.
- Fandos, C.; J. Scandaliaris; P. Scandaliaris; J. I. Carreras Baldrés y F. J. Soria. 2023. Área cosechable y producción de caña de azúcar para la zafra 2023 en Tucumán. *Reporte Agroindustrial N° 278*. Junio 2023. ISSN 2346-9102.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2021). FAOSTAT statistical database. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- 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.
- Moore, P. H., Paterson, A. H. y Tew, T. (2013). Sugarcane: the crop, the plant, and domestication en Moore P. H. y Botha F. C. (Eds.), *Sugarcane: physiology, biochemistry, and functional biology* (pp. 1-17). John Wiley & Sons.

- 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.

APORTE DEL AZUFRE COMO COMPLEMENTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN LA CAÑA DE AZÚCAR EN TUCUMAN. ARGENTINA

Romero, J.I.^{1*}; García Vallejo C.¹; Correa, R.¹; Navarro Di Marco J.P.¹; Peña Malavera A.²; Rojas Quinteros H.¹; Sanzano A.¹

¹Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC); ² ITANOA (EEAOC-Conicet). Tucumán, Argentina. jiromero@eeaoc.org.ar

Palabras Clave: nutrición balanceada, eficiencia de uso del nitrógeno.

INTRODUCCIÓN

En Tucumán, el cultivo de la 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 alta fertilidad natural de los suelos locales, en su condición prístina, aún no se tienen en cuenta otros nutrientes en el plan de fertilización del cultivo, en la gran mayoría de los casos. Sin embargo, la ciencia demostró que el uso agrícola continuado del suelo sin una estrategia conservacionista ni reposición de nutrientes lleva a la pérdida de materia orgánica y al empobrecimiento nutricional del mismo, lo que conduce a paulatina pérdida de su capacidad productiva (García y Díaz-Zorita, 2015, Leite *et al.*, 2016).

Para avanzar hacia una mayor integración entre la producción agrícola y la sustentabilidad del sistema productivo, es necesario un continuo ajuste en el manejo de la fertilización. En este sentido, uno de los mayores desafíos es incrementar la eficiencia del uso del nitrógeno aplicado, manteniendo o incrementando los rendimientos. En ocasiones, no detectar la deficiencia de otro nutriente, lleva a incrementar las dosis de nitrógeno para lograr los incrementos de producción pretendidos (con implicaciones económicas y ambientales) sin lograr la respuesta esperada (Sumner, 2000).

Arroyo *et al.*, 2022, determinó que el 56% de los suelos del área cañera de Tucumán presenta niveles bajos de materia orgánica, con contenidos menores al 2%. Las dinámicas del N y el S en el suelo están estrechamente ligadas a la dinámica de la materia orgánica del suelo (MOS) (García y Díaz-Zorita, 2015) por lo que el azufre (S), además del N, podría ser limitante en algunas de estas situaciones. En la actualidad, ya existen numerosos reportes de respuesta positiva en los rendimientos ante el agregado de azufre (S) además de N y P al sistema en cultivos de grano en Argentina.

El azufre (S) cumple importantes funciones en el metabolismo vegetal, por ejemplo, participa en la síntesis de clorofila y es constituyente de

aminoácidos esenciales, etc. Además, se sabe que la asimilación de N es sub óptima cuando hay un nivel insuficiente de azufre en la planta. De tal manera, para obtener una elevada eficiencia de uso del nitrógeno del fertilizante por el cultivo, es importante contar con una adecuada disponibilidad de azufre (Maldonado José Maria, 2008).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la adición de azufre como complemento de la fertilización nitrogenada en caña de azúcar en suelos con baja materia orgánica, buscando incrementar la eficiencia en el uso del nitrógeno agregado y los rendimientos obtenidos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo estuvo ubicado en la localidad de Arcadia (27°18'47"S; 65°37'41"O) – Dpto. Chicligasta provincia de Tucumán (Argentina), en un lote de la variedad LCP 85-384, de edad soca 3.

El suelo del sitio presenta textura franca, pH 5,6 y no presentó concentraciones significativas de carbonato de calcio. El contenido de materia orgánica fue de 1,5% y el contenido de fósforo extractable (Bray-Kurtz II) de 40 ppm. Este valor de fósforo se encontró por arriba del valor crítico establecido para el cultivo de caña de azúcar (25 ppm Bray Kurtz II), por lo que no debería limitar la productividad del cultivo. Las precipitaciones ocurridas en el sitio durante la campaña sumaron 900 mm.

Se evaluaron cinco tratamientos (Tabla 1) en un diseño en bloques completamente aleatorizados con cuatro repeticiones. Cada unidad experimental constó de 6 surcos de frente por 10 m de largo. La distancia entre surcos es de 1,6 m.

Tabla 1. Tratamientos de fertilización evaluados. Arcadia. Var LCP 85-384. Soca 3. 2021-2022.

	Tratamiento	Dosis (kg/ha)
T1	N dosis Baja (n)	50 N
T2	N dosis Baja, más S (n+s)	50 N + 13S
T3	N dosis Alta (N)	65 N
T4	N dosis Alta, más S (N+S)	65 N + 16 S
T5	N dosis Baja, más S + P (n+s+P)	50 N + 40 P ₂ O ₅ + 10 S

La fuente nitrogenada en todos los casos fue nitrato de amonio calcáreo. Los tratamientos 1 y 3 son dos dosis de un mismo producto y los tratamientos 2 y 4 son dos dosis de otro producto comercial. El tratamiento 5 (compuesto NPS) se agregó para evaluar el efecto del agregado de P en un suelo con niveles suficientes de dicho nutriente.

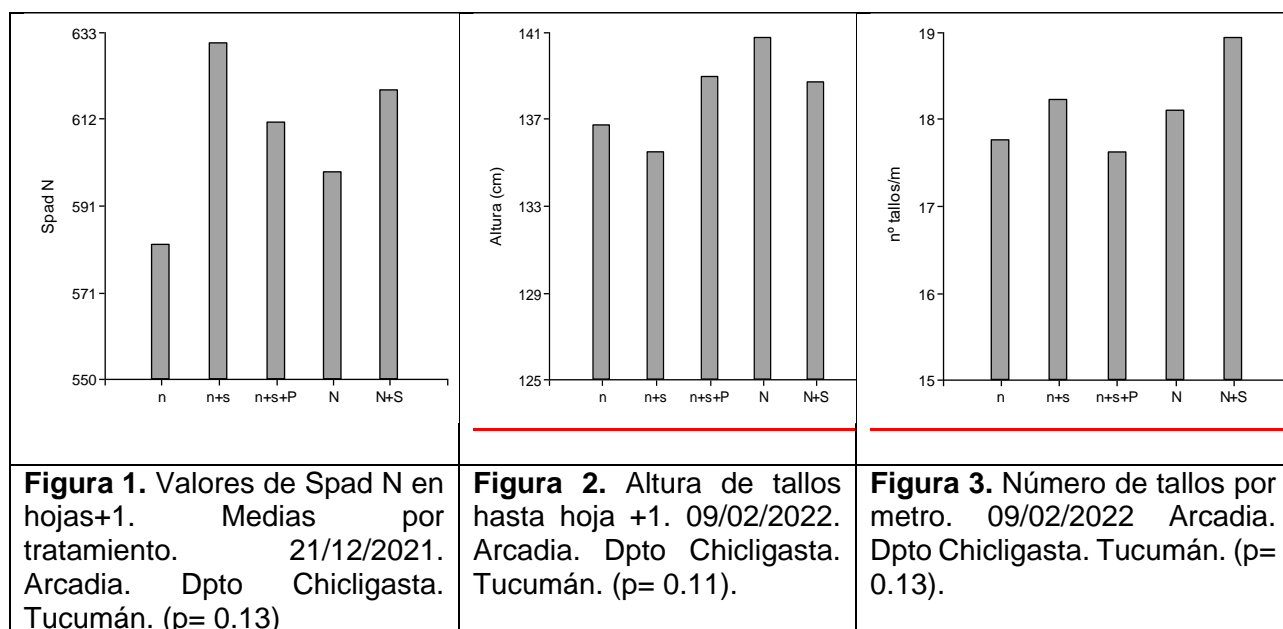
El 19 de octubre del 2021 se aplicaron los tratamientos. Todos fueron aplicados en superficie sobre la línea del surco. El 21 de diciembre del 2021 se evaluó el contenido de clorofila en hojas +1 utilizando el SPAD N (medidor de clorofila). El 9 de febrero del 2022 se evaluó altura y población de tallos. La población de tallos se evaluó mediante tres conteos de cinco metros lineales por parcela. El 22 de abril 2022 se realizó la medición de población final de tallos molibles (3 conteos de 10 m por parcela) y altura hasta hoja +1 (en 15 tallos consecutivos por parcela con una regla graduada). El 1 de junio 2022 se realizó la determinación del peso fresco promedio de tallos, a partir de tres muestras de 10 tallos consecutivos de cada parcela. A partir de estos datos (población final y peso promedio de tallos) se estimó el rendimiento cultural. Posteriormente dichas muestras de tallos se llevaron al trapiche de la Sección Química de la Estación Experimental Agro Industrial Obispo Colombres, para la extracción de jugo y determinación de parámetros de calidad.

Con los datos obtenidos se ajustaron modelos lineales, tomando como efectos fijos tratamiento y bloque. El test de comparación de medias utilizado fue el LSD Fisher ($p < 0,05$). Se utilizó el Software estadístico Infostat (Di Rienzo, 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto en el crecimiento vegetativo

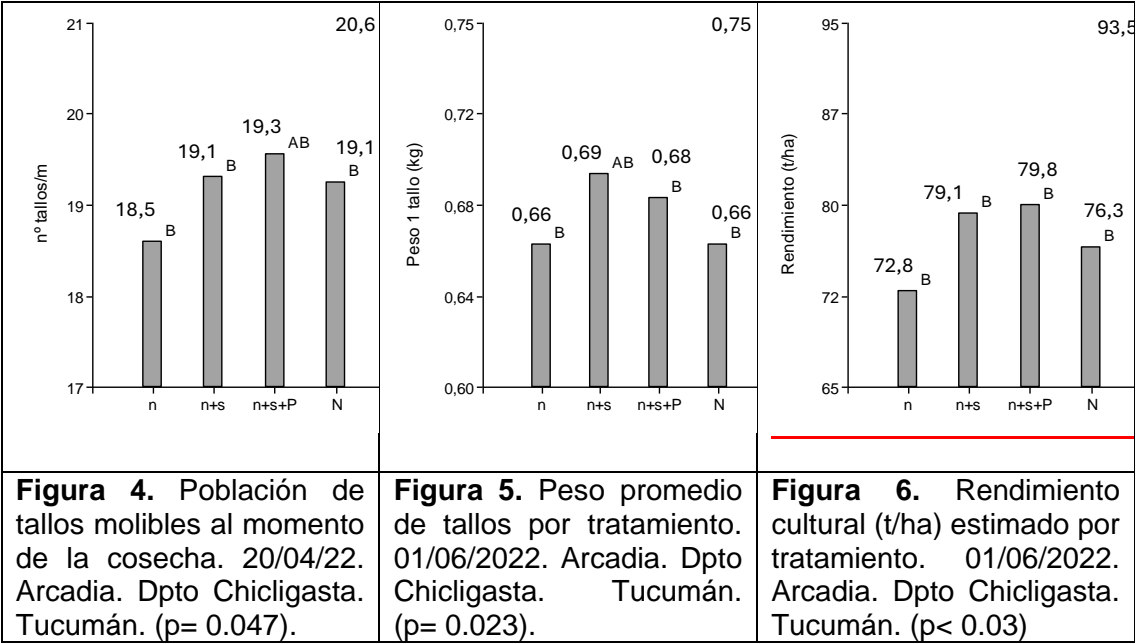
La medición de la concentración de clorofila realizada en hojas +1 a fines diciembre, no mostró diferencias estadísticas entre tratamientos pero sí una tendencia a mayores contenidos del pigmento en los tratamientos con S (Figura 1).



En las evaluaciones realizadas en el mes de febrero, no se observaron diferencias estadísticamente significativas en altura ni en población de tallos (Figuras 2 y 3). Sin embargo, las mayores alturas de tallo promedio se midieron en los tratamientos con dosis alta de N, independientemente del azufre (Figura

2). Mientras que en la población de tallos pareciera haber un efecto positivo del agregado de azufre (Figura 3), excepto en T5 (n+s+P) que presentaba mayor altura pero menor población que T1 y T3 (tratamientos con isodosis de N que T5).

Efecto en los componentes del rendimiento cultural



A finales de la campaña, se determinaron los componentes del rendimiento de cada tratamiento. Respecto a la población de tallos, como se observa en la Figura 4, el tratamiento N+S (T4) superó significativamente a los tratamientos n (T1), n+s (T2) y N (T3), los que a su vez no se diferenciaron entre sí, ni respecto al n+s+P (T5). El peso promedio de tallos (Figura 5), mostró una tendencia similar a la del número de tallos (población) con la diferencia de que N+S (T4) superó significativamente a todos los tratamientos excepto a T2 (n+s).

En función de las diferencias en población y peso de tallos, los rendimientos culturales estimados mostraron (Figura 6) efectos positivos significativos del agregado de azufre a la dosis alta de nitrógeno. En la dosis baja de N, el incremento de rendimiento logrado por el agregado de S no fue estadísticamente significativo. Los incrementos de producción promedio observados por el agregado de azufre fueron del 9% y del 22% para las dosis baja y alta de nitrógeno respectivamente.

Con respecto a la calidad del jugo, los resultados obtenidos en el trapiche de la EEAO nos indicaron que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos en este parámetro.

Tabla 2. Rendimiento fabril de los diferentes tratamientos. Arcadia. Dpto. Chicligasta. Tucumán. ($p < 0,05$).

Tratamientos	Rendimiento Fabril (%)	
T1	11.21	A
T2	11.25	A
T3	11.31	A
T4	11.15	A
T5	11.31	A

El azufre (S) habría aumentado la eficiencia en el uso del nitrógeno (N) por el cultivo. Esto puede observarse al comparar T4 (N+S) con T3 (N), donde se observan mejoras significativas de la producción de caña a igual dosis de N, asociadas al agregado de S. Al comparar T2 (n+s) con T1(n) se observó una mejora aunque no fue significativa.

A su vez, cabe destacar que la dosis baja de N con agregado de S (n+s) generó iguales (o levemente mayores) rendimientos que la dosis alta de N (T3), lo cual plantea una alternativa para lograr mejoras de rendimiento a menores costos, haciendo un uso más eficiente del N ante condiciones de escases de este insumo y con menores riesgos de contaminación ambiental.

El agregado de fósforo (P) no generó respuesta en el rendimiento del cultivo, como era de esperarse por los valores de P disponible determinados en el sitio del ensayo. Esto se observa al comparar los rendimientos de los tratamientos T5 y T2, que rindieron igual, a pesar de que T5 recibió aportes de P y T2 no.

CONCLUSIONES

- En el tratamiento de dosis alta de N, el agregado de azufre generó aumentos significativos en población y en peso de tallos que se tradujeron en incrementos significativos de la producción (t/ha). Con la dosis baja de N, la tendencia observada fue similar pero no significativa. Los incrementos de producción promedio observados por el agregado de azufre fueron del 9% y del 22% para las dosis baja y alta de nitrógeno respectivamente.
- El agregado de azufre habría aumentado la eficiencia de uso del nitrógeno agregado (EUN) al cultivo.
- El agregado de fósforo en un suelo con valores superiores a los críticos no generó incrementos en los rendimientos.
- Los resultados sugieren que en ciertas situaciones de suelo, la incorporación de azufre dentro del plan de fertilización de los cañaverales tucumanos podría generar beneficios productivos, y aumentaría la eficiencia de uso del nitrógeno.

- Para dar solidez a la tendencia observada en este estudio deben realizarse más ensayos en la región.

BIBLIOGRAFÍA

- Arroyo, E.; Sanzano A.; Rojas Quinteros H. y Navarro Di Marco J.P. 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).
- Di Rienzo J.A., Balzarini M., Casanaves F., Gonzáles L., Tablada M., Robledo C.W. 2020. Infostat Profesional. Versión 2020. Fac de Ciencias Agropec. Univ. Nac. de Córdoba. Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- García, F. y M. Díaz-Zorita. 2015. El deterioro del suelo y el ambiente en la Argentina. La fertilidad de los suelos y el uso de nutrientes en la producción agrícola extensiva de Argentina Vol. 1(Tomo I):183-195.
- Leite, J. M.; I. A. Ciampitti; E. Mariano; M. Vieira-Megda y P. Trivelin. 2016. Nutrient Partitioning and Stochiometry in Unburnt Sugarcane Ratoon at Varying Yield Levels. Frontiers in Plant Science 7. Article 466.
- Maldonado José María. Asimilación de Nitrógeno y Azufre. En libro Fundamentos de fisiología vegetal. Joaquín Azcón Bieto – Manuel Talón.2008 ISBN: 978-84-481-9293-8. Edición Universidad de Barcelona.
- 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.

OPTIMIZACIÓN DEL MANEJO DEL FÓSFORO EN CAÑA DE AZÚCAR EN TUCUMÁN-ARGENTINA. RESULTADOS EN CAÑA PLANTA Y SOCA 1.

Romero, J.I.¹; García Vallejo C.; Navarro Di Marco J.P.¹; Peña Malavera A.²; Rojas Quinteros H.¹; Sanzano A.¹; Romero, E.R.¹

¹Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC); ² ITANOA (EEAOC-Conicet) Tucumán, Argentina. jiromero@eeaoc.org.ar

INTRODUCCIÓN

El fósforo (P), es el segundo nutriente limitante de la productividad agrícola a nivel mundial, después del nitrógeno (N). Su eficiencia de uso por los cultivos es muy baja debido a la limitada solubilidad y movilidad en el suelo (Fixen and Bruulsema, 2014). En el cultivo de caña de azúcar, niveles insuficientes de P disponible resultan en menores rendimientos y longevidad del cañaveral. Aproximadamente el 20% del área cañera de Tucumán presenta valores de P deficitarios para el cultivo (Arroyo *et al.*, 2019).

Tradicionalmente el fertilizante fosfatado se aplica en el fondo del surco de plantación en una sola dosis elevada, teóricamente suficiente para cuatro a cinco cosechas, que generalmente coincide con la vida económica del cañaveral.

Las dosis de P recomendadas en nuestra área cañera varían entre 20 y 35 kg de P₂O₅/ha*año⁻¹ en función del nivel de P en suelo (Bray-Kurtz II) y del rendimiento esperado. Estas dosis fueron establecidas siguiendo el criterio de suficiencia y, de acuerdo con estudios posteriores, podrían ser en muchos casos insuficientes para cubrir las salidas de P del lote, especialmente en lotes muy productivos y/o con quema del RAC, pudiendo afectar los rendimientos y la longevidad del cañaveral (Romero *et al.* 2020, 2022, 2023 a; y Zambrosi 2020). Por otro lado, recientes experiencias locales, mostraron mejoras en la eficiencia del uso del fertilizante (NyP) por cañas socas cuando se agregó azufre (S) a la mezcla en suelos con bajos niveles de P y materia orgánica (Romero 2023 b). En estos ensayos, la aplicación superficial de P en cañas socas (sobre la maloja) mostró respuestas similares que la incorporada. Estos resultados, sumado a nuevas fuentes compuestas (NPS) permiten plantear alternativas al manejo tradicional de la fertilización fosfatada, que resultarían convenientes desde lo productivo, ambiental y financiero.

Con el objetivo de evaluar algunas de estas alternativas en suelos deficitarios de P, se estableció un ensayo con diferentes estrategias de fraccionamiento del P desde la plantación buscando aumentar la eficiencia de uso del fertilizante, el rendimiento y la longevidad del cañaveral.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se estableció en la campaña 2022-2023, en la localidad de Taco Palta (26°46'51" S; 65°00'58" O), departamento Burruyacú –Tucumán, en una plantación de caña de azúcar de la variedad TUC 03-12. El suelo presentó textura franca, pH 6; 0,2 dS/m de conductividad eléctrica (CE), y no presentó concentraciones significativas de carbonato de calcio. El contenido de materia orgánica determinado fue de 2,4% y el contenido de P extractable (Bray-Kurtz II) de 11 ppm. Este valor se encuentra dentro del rango de “respuesta segura” (deficiencia) al agregado de P y la dosis actualmente recomendada en estos casos es de 30-35 kg de P₂O₅ /ha*año (Pérez Zamora *et al.*, 2002).

Se realizó un ensayo en microparcels (seis surcos por 10 m de largo), con 5 tratamientos en un diseño en bloques al azar con cuatro repeticiones. La plantación y aplicación de los tratamientos en el fondo del surco se realizó en

julio y el bajado de bordo el 10 de octubre de 2022. Se usaron dos fuentes de P: superfosfato triple (SFT) y un fertilizante compuesto que contiene P y S. En la caña planta no se agregó nitrógeno. Los tratamientos aplicados en las dos campañas (planta y soca 1) se muestran en la Tabla 1.

En la campaña 2022-2023 se registraron precipitaciones acumuladas de 838 mm y en la 2023-2024, hasta mayo, fueron de 800 mm (Fuente: agromet.eeaoc.gob.ar).

En la soca 1, el súper fosfato triple (SFT) se incorporó en la costilla del surco utilizando herramientas manuales (azada), mientras que el CAN y el Sulfan se aplicaron en la línea del surco sobre la maloja, de acuerdo con las recomendaciones comerciales.

Tabla 1. Tratamientos de fertilización evaluados en caña de azúcar en edad de planta y soca 1. Taco Palta, departamento Burruyacú. Tucumán-Argentina.

Caña Planta – Campaña 2022-2023				Soca 1 – Campaña 2023-2024			
	Tratamiento	Producto	Dosis Nutriente (kg/ha)		Tratamiento	Producto	Dosis Nutriente (kg/ha)
T0	P0	----	0	→	N	CAN	57 N
T1	P x5	SFT (5,4 kg/surco)	150 P ₂ O ₅	→	N+P residual	CAN (3,5kg/surco)	57 N
T2	P x1	SFT (1,1 kg/surco)	30 P ₂ O ₅	→	N+P	CAN+SFT (3,5+1,1kg/sur)	57 N+ 30 P ₂ O ₅
T3	P x2	SFT 2,2 kg/surco	60 P ₂ O ₅	→	N+P residual	CAN (3,5kg/surco)	57 N
T4	P x2 + S	fertilizante compuesto (3,3 kg/surco)	60 P ₂ O ₅ + 12 S	→	N+S + P residual	Sulfan (4kg/surco)	57 N+14 S

P0: testigo sin P; Px1: dosis para un año; Px2: dosis para dos años; Px2 +S: dosis para dos años más azufre; Px5: dosis para cinco años.

En marzo de ambas campañas se realizaron análisis foliares del contenido de N y P en cada parcela (30 hojas +1 por parcela) en el Laboratorio de Suelos (EEAOC).

Durante abril y mayo de 2023 y 2024 se realizaron las mediciones de población (tres conteos de 10m lineales en los surcos centrales de cada parcela) y, del peso de tallos (tres submuestras de 15 tallos consecutivos por parcela) de los diferentes tratamientos para luego estimar los rendimientos culturales.

Análisis estadístico: Para las variables medidas en cada campaña se ajustaron modelos lineales, con efectos fijos de tratamiento y bloque. Las medias de los tratamientos se compararon mediante el test LSD de Fisher ($p<0,05$).

RESULTADOS

Caña Planta – Campaña 2022-2023

Tabla 2. Análisis foliar. Muestreo: 8/03/2023. Caña planta. Taco Palta, Dpto Burruyacu, Tucumán, Argentina. $p=0.0015$

Tratamiento	%P foliar	%N foliar
T0 - P0	0,15 A	1,93 A
T4 - Px2+S	0,18 B	2,18 B
T3 - Px2	0,19 BC	1,93 A
T2 - Px1	0,19 BC	1,90 A
T1 - Px5	0,20 C	1,93 A

En marzo de 2023 se realizó el muestreo foliar, cuyos resultados mostraron que todos los tratamientos con P superaron a T0 en %P en hojas. El valor de P foliar crítico reportado para caña de azúcar en Tucumán y otras zonas cañeras del mundo varía entre 0,16% y 0,19% por lo que podemos decir que solamente T0 (sin P agregado) mostró valores deficitarios de P en concordancia con lo esperado dada la baja disponibilidad determinada en el suelo. Algo interesante es que T4 (Px2+S) presentó menor valor de %P foliar que el resto de los tratamientos con P, siendo significativamente menor que T1 (Px5), pero al mismo tiempo fue el que mayores niveles de %N foliar mostró, superando significativamente a los otros tratamientos. Esto podría deberse a que el azufre ayudó a una mayor eficiencia de asimilación del N disponible en el suelo. Los demás tratamientos, incluyendo el testigo, no se diferenciaron en %N foliar.

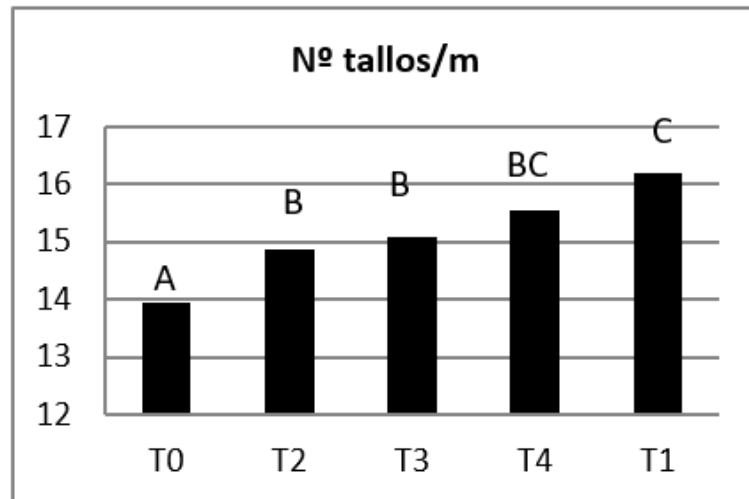


Figura 1. Población final de tallos 12/05/23. Caña planta. $p<0.0001$

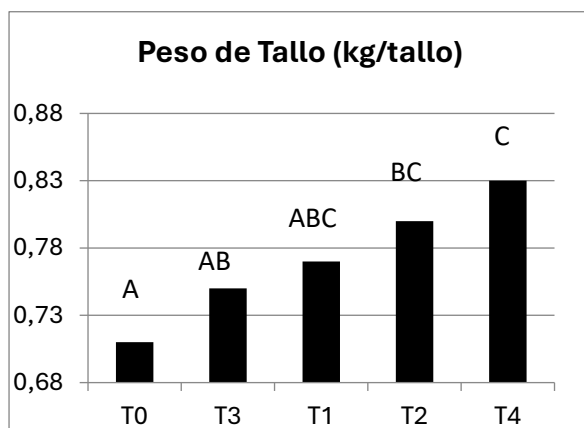


Figura 2. Peso medio (kg) de tallos molibles.19/05/23. C. planta. $p=0.0294$

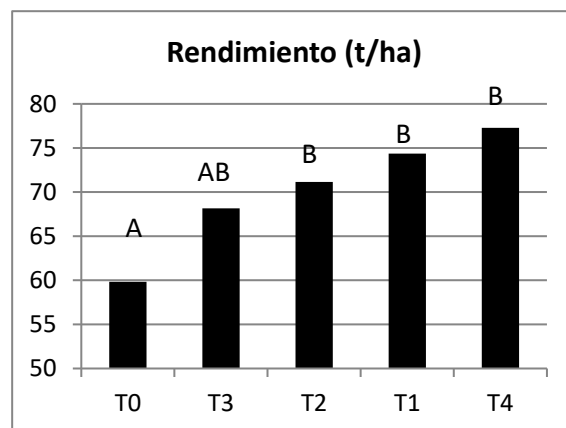


Figura 3. Rendimiento Cultural (t/ha) por tratamiento. C. planta. $p=0.0188$

En abril y mayo se determinaron los componentes del rendimiento cultural de los tratamientos. En la Figura 1 podemos ver que los tratamientos con P superaban a T0 en el número final de tallos por metro. En el peso medio de los tallos (Figura 2), solo T4 y T2 superaron estadísticamente a T0. Finalmente, en el rendimiento cultural (Figura 3), T0 (sin P) fue superado por T2, T1 y T4, que mostraron respuestas de 19, 24 y 29% respecto al tratamiento T0. T3, con una diferencia de 14%, no se diferenció estadísticamente de T0.

Estos resultados, mostraron una importante respuesta de la caña planta al P aplicado en el fondo del surco de plantación. Las mayores respuestas productivas fueron las de T4 (Px2 +S) y T1 (Px5), que superaron a T0 por un 29% y 24% respectivamente.

Soca 1 – Campaña 2023-2024

En el análisis foliar (Tabla 3), los mayores contenidos de P fueron los de T1 (Px5 en plantación) y T2 (Px1, P aplicado cada año), y el menor fue el de T0 (sin P), que no se diferenció estadísticamente de T3 y T4, ambos con P aplicado en plantación para dos cosechas (Px2). En esta campaña, todos los tratamientos obtuvieron valores de P% foliar superiores a 0,16%, incluso T0, pero recordemos que para algunos investigadores el valor crítico de P foliar es de 0,18-0,19% (MacCray *et. al*; 2006) y en ese caso T0 y T4 estarían por debajo. Respecto al contenido de N foliar no hubo diferencias significativas entre tratamientos.

Tabla 3. Tabla 3: Análisis foliar. Muestreo: 12/03/2024. Soca 1. Taco Palta, Dpto Burruyacu, Tucumán, Argentina. $p=0.0015$.

Tratamiento	%P foliar	%N foliar
T0 - P0	0,17 <u>A</u>	1,93 <u>A</u>
T4 - Px2+S	0,17 AB	1,93 <u>A</u>
T3 - Px2	0,18 AB	1,88 <u>A</u>
T2 - Px1	0,18 BC	2,05 <u>A</u>
T1 - Px5	0,19 C	1,9 <u>A</u>

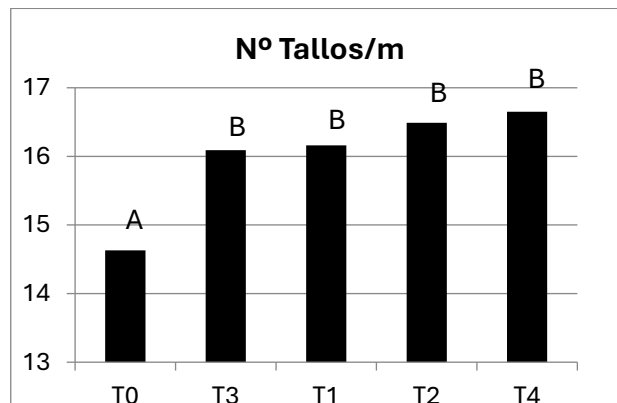


Figura 4. Población final de tallos .04/04/2024. Soca 1 .p= 0.0001

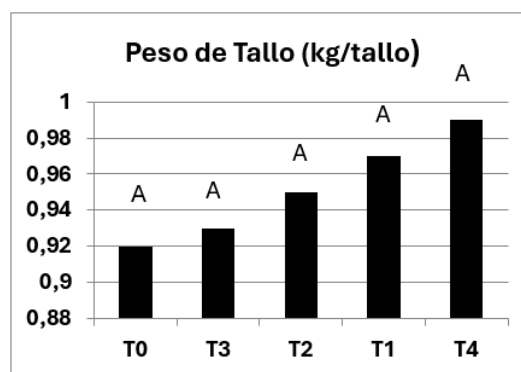


Figura 5. Peso de tallos (kg) promedio por tratamiento. 20/04/2024. Soca 1. p= 0.196

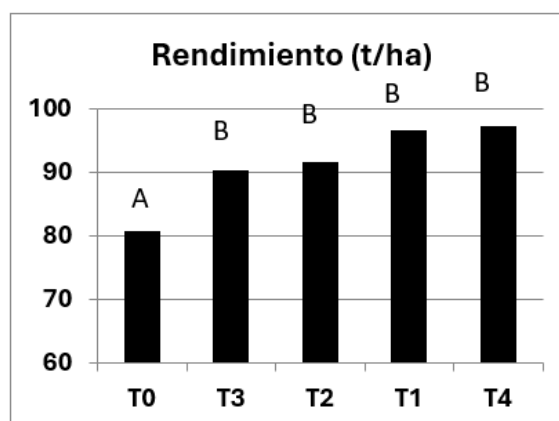


Figura 6. Rendimiento cultural (t/ha) según tratamientos. Soca 1. p=0.0001

En la población de tallos a cosecha (Figura 4), todos los tratamientos con P aplicado superaron al testigo sin P. En cuanto al peso promedio de tallos (Figura 5), las diferencias observadas no fueron estadísticamente significativas.

Respecto al rendimiento cultural de la soca 1 (Figura 6), todos los tratamientos con P superaron significativamente a T0 (único sin P aplicado) con incrementos entre 13% (T2 y T3) y 21% (T1 y T4).

Si analizamos ambas campañas conjuntamente (Figura 7), todos los tratamientos superan estadísticamente a T0; pero T1 y T4 (que no se diferenciaron estadísticamente entre sí) superaron a T0 con una diferencia de producción del 22-24% respectivamente. Esto haría pensar que, por un lado, el azufre hizo un aporte al crecimiento del cultivo, y por el otro, que la dosis de P “anual” recomendada podría no ser suficiente para cubrir la respectiva demanda del cañaveral en ciertas situaciones. Es necesario evaluar los rendimientos y los balances de P (aplicado-extraído) en las próximas campañas para definir el/los tratamientos más eficientes y convenientes.

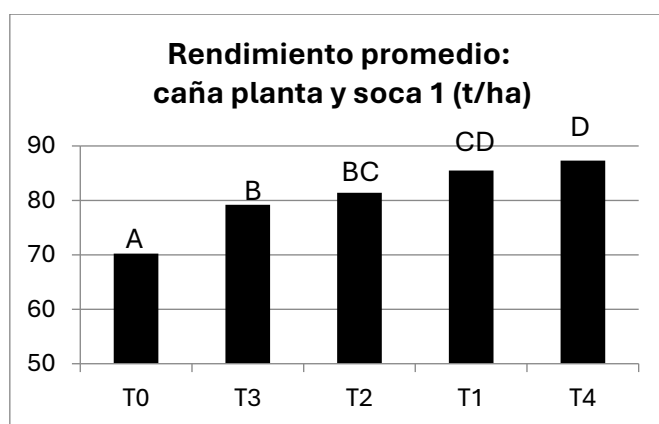


Figura 7. Rendimiento Cultural promedio de ambas campañas por tratamiento. $p < 0.0001$.

CONCLUSIONES

- En un suelo deficitario en P, la respuesta productiva a este nutriente varió entre 13 y 22%, según la dosis aplicada, siendo similar y significativa en planta y en soca 1.
- Se observó una respuesta productiva al agregado de azufre del 10%, promediando ambas campañas. Esto contribuiría a una mayor eficiencia de uso del P y el N aplicados.
- Estos resultados permitirían plantear diferentes alternativas de manejo de la fertilización fosfatada y azufrada, con posibles ventajas agronómicas, operativas, financieras y ambientales.

BIBLIOGRAFÍA

- Forciniti, J. (2024). Informe de precipitaciones por campaña. Sección Agrometeorología, EEAOOC. <https://agromet.eeaoc.gob.ar>
- Arroyo, E.; A. Sanzano; H. C. Rojas Quinteros y J. P. Navarro Di Marco. 2019. Distribución espacial de los contenidos de fósforo disponible en suelos del área cañera de Tucumán. Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán 96 (2): 01-06. ISSN 0370-5404.
- Fixen, P. E. and T. W. Bruulsema. 2014. Potato Management Challenges Created by Phosphorus Chemistry and Plant Roots. American Journal of Potato Research, 91 (2): 121–131. [En línea]
- Mccray, J. Mabry, Ike V Ezenwa, Ronald W. Rice and Timothy A. Lang. 2006. “Florida: Sugarcane Plant Nutrient Diagnosis - Análisis Foliar.” 1–25. UF/IFAS Extension Service, University of Florida.
- 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 46. IPNI, pp. 11-13. [En línea].
- Romero Juan I.; Madrid, F.; Navarro Di Marco J.P.; Juárez, G.; Dellmans, Raquel; Rojas Quinteros, H. Sanzano A. y Romero, E.R. 2020. Requerimiento y extracción de nutrientes de una variedad de

caña de azúcar bajo riego por goteo y en secano en Tucumán-Argentina. Revista RIAT. 97 (1). ISSN: 0370-5404.

- Romero Juan I.; Madrid, F.; Navarro Di Marco J.P.; Juárez, G.; Dellmans, Raquel; Rojas Quinteros, H. Sanzano A. y Romero, E.R. 2022. Balance de macronutrientes en caña de azúcar con riego por goteo y secano en Tucumán-Argentina. Revista Industrial y Agrícola de Tucumán (RIAT). Tomo 99 (1): 53 - 60. ISSN: 0370-5404.
- Romero, Juan I.; Arroyo, E.; Sanchez Ducca, A.; Rojas Quinteros, H.; Madrid, F.; Peña Malavera, A.; Sanzano, A. y Romero, E.R.. 2023. a. Respuesta de cañas socas de edad avanzada a la refertilización con fósforo en Tucumán, Argentina. Revista Industrial y Agrícola de Tucumán (RIAT). ISSN 0370-5404. Tomo 100 (2): 1-9.
- Romero, Juan Ignacio; Arroyo, Esteban; Quintana, Diego; Peña Malavera, A.; Rojas Quinteros, Hugo; Sanzano, Agustín. 2023. b. La Fertilización balanceada y su impacto en el rendimiento y la longevidad de los cañaverales en Tucumán, Argentina. 12vo Congreso ATALAC (Asociación de Técnicos Azucareros de Latinoamérica y el Caribe). Costa Rica 18 al 22 septiembre. Publicado también en revista Sugar Journal March 2024. Vol 86 Número 10.
- Zambrosi, F. C. B. 2020. 'Phosphorus Fertilizer Reapplication on Sugarcane Ratoon: Opportunities and Challenges for Improvements in Nutrient Efficiency. Sugar Tech. Springer India 23 (3): 704–708. [En línea] Disponible en doi: 10.1007/s12355-020-00925-9.

PREFERENCIA DE OVIPOSICIÓN DE *DIATRAEA SACCHARALIS* (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE) ENTRE EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR Y LAS MALEZAS PASTO RUZO Y PASTO BLANCO

Salvatore, A. R.¹; Cabrera, D. C. ¹; Páez Jerez, P. G. ^{1,2}; Nadra, G¹, Krapovickas, L.¹

¹Facultad de Agronomía Zootecnia y Veterinaria- UNT. Av. Néstor Kirchner 1900. CP 4000.

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), CCT NOA Sur. Crisóstomo Álvarez 722. CP 4000. analia.salvatore@faz.unt.edu.ar

Palabras clave: Gusano perforador de la caña de azúcar, posturas, puente verde.

INTRODUCCIÓN

El sistema productivo de la caña de azúcar (*Sacharum officinarum* L.) ocupa en Tucumán una superficie de 294.470 ha (Reporte La Gaceta 2024). En los últimos años, este cultivo adquirió mayor importancia debido a su rol en la producción de bioetanol a partir de la implementación de la ley de combustibles (Ley 26.093), que hizo obligatorio su aumento desde el 10% al 12% en el nivel de corte de las naftas (Cárdenas *et al.*, 2009). Por otro lado, en Tucumán más del 60% de la superficie implantada con granos fue sustituida por caña de azúcar debido a la producción de bioetanol (Fandos *et al.*, 2021).

Los nuevos paradigmas energéticos que desafían al cultivo de caña de azúcar no solo apuntan a que la producción sea rentable, sino, además, que muestre una gestión ambiental coherente (Valeiro y Biaggi, 2019). Por ello, el estudio de los factores que causan disturbios o estrés en el cultivo y que, en consecuencia, limitan su productividad es esencial. Uno de los principales factores de estrés en la caña de azúcar para la región son la presencia de plagas y malezas.

A nivel mundial, existen numerosos insectos que pueden ocasionar pérdidas de rendimiento en la producción de la caña de azúcar (Goebel & Sallam, 2011). El barrenador de caña de azúcar *Diatraea saccharalis* (Fabricius) (Lepidoptera: Crambidae) es la plaga más importante del cultivo en Tucumán, Argentina. En Tucumán se constató que *D. saccharalis* ovipone primero en *Sorghum halepense* (pasto ruso) y luego pasa al cultivo de caña de azúcar (Álvarez *et al.*, 2021). La presencia de malezas es considerada una de las más grandes amenazas para su productividad y rendimiento, compitiendo con el cultivo utilizando el espacio o los recursos naturales. En ocasiones, estas plantas presentan mayores tasas de crecimiento vegetativo y reproductivo actuando como un reservorio de fitopatógenos, insectos plaga y servir como hospedantes alternativos (puentes verdes) cuando el cultivo está temporalmente ausente. Por tales motivos, su control debe ser frecuente, implicando un gasto económico. En virtud de todo lo expuesto, surge la necesidad de ampliar los conocimientos de la preferencia de oviposición de la plaga en el sistema cultivo-plaga-maleza.

OBJETIVO

Evaluar la preferencia de oviposición de *D. saccharalis* sobre caña de azúcar-pasto ruso (*S. halepense*) y pasto blanco (*Urochloa platyphylla*) en un esquema cultivo-plaga-maleza en condiciones semi-controladas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Cría de los adultos de *Diatraea saccharalis*

El pie de cría de *D. saccharalis* fue provisto por Seaborad S.A. y fue multiplicado en laboratorio de la cátedra de Terapéutica Vegetal de la Facultad de Agronomía, Zootecnia y Veterinaria, desde abril a diciembre de 2023. Las larvas fueron criadas con dieta artificial hasta completar su desarrollo. La dieta artificial utilizada fue adaptada de Osoreo *et al.*, (1982). Una vez que empuparon, las pupas fueron sexadas y colocadas en jaulas de oviposición cilíndricas de cloruro de polivinilo (PVC) (40 cm de alto x 25 cm de diámetro) cubiertas con una bolsa de plástico transparente. Las paredes internas de la jaula se cubrieron con papel como sustrato de oviposición. Para la alimentación de los adultos se utilizó un trozo de algodón empapado con la dieta artificial para adultos (agua + miel + azúcar). Las jaulas fueron inspeccionadas diariamente para colectar las masas de huevos, las cuales fueron colocadas en cajas de Petri con dieta artificial y revisadas diariamente hasta su eclosión y después de 7 días fueron repicadas a nuevas cajas de Petri con una porción de dieta artificial para iniciar una nueva generación.

Ensayos de preferencia de oviposición

Los ensayos se llevaron a cabo durante los meses de agosto a diciembre de 2023 en el invernáculo de la cátedra de Caña de Azúcar de la FAZyV en Finca El Manantial. La unidad experimental fue una jaula metálica de 100x 100 x 100cm (alto x largo x ancho) cubierta con tela tipo voile (Figura 1), en cuyo interior se colocaron tres macetas de 5 L dónde se plantaron 2 yemas uninodales de caña de azúcar (Variedad LCP 85-384) y tres macetas de 5 L con las malezas correspondiente según el tratamiento (pasto ruso, y/o pasto blanco). Cuando las mismas tuvieron 5 hojas verdaderas se realizaron los ensayos correspondientes mediante un diseño de test de choice con 3 repeticiones. Un total de 10 parejas de adultos de *D. saccharalis* se colocaron por jaula y los ensayos tuvieron una duración de 10 días. Se registró por planta el número de posturas y se sacó una foto para el conteo posterior del número de huevos por postura.



Figura 1. Esquema de la jaula de semi-campo.

Los tratamientos evaluados en los ensayos de preferencia fueron los siguientes:

1. Caña de azúcar vs. pasto ruso en dos fechas de evaluación (octubre y noviembre).

2. Caña de azúcar vs. pasto ruso vs. pasto blanco.

Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se realizaron con el software R versión 4.2.1 (R Core Team 2022). La preferencia de oviposición se analizó utilizando GAMLSS (Modelos Aditivos Generalizados para Ubicación, Escala y Forma) (Stasinopoulos *et al.*, 2017) con tipo de sustrato y fecha como factores, tanto para el número de posturas como para el número de huevos. Como punto de partida, se utilizó un modelo con distribución de Poisson. Luego, se buscó la familia de distribución mejor ajustada utilizando la función "chooseDist" del paquete GAMLSS. Por último, se contrastó la preferencia de oviposición de cada una de las especies tratadas mediante regresiones por pasos hacia atrás (función "drop1") usando LRT.

RESULTADOS

El número de posturas ovipositadas para el tratamiento caña de azúcar vs. pasto ruso se ajustó a una distribución Binomial Negativa de tipo I (BNI). Los adultos de *D. saccharalis* pusieron mayor número de posturas en caña de azúcar ($\chi^2 = 6.48$, $df = 1$, $P < 0.01$; Figura 2) que, en pasto ruso, siendo la fecha un factor no significativo ($\chi^2 = 2.62$, $df = 1$, $P = 0.10$). El número promedio de posturas por planta fue de 7,06 y 4,28, para caña de azúcar y pasto ruso, respectivamente.

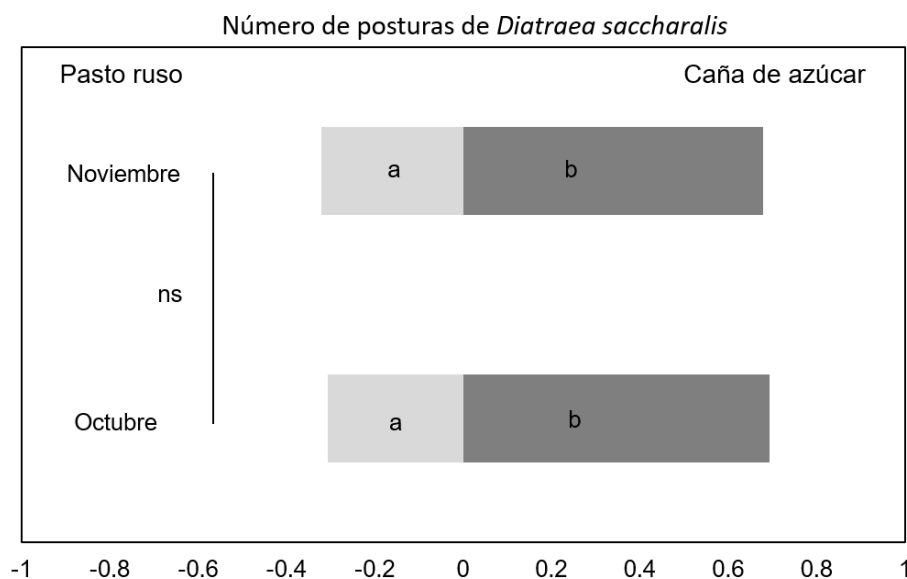


Figura 2. Proporción de posturas ovipositadas por las hembras de *Diatraea saccharalis* sobre las plantas de caña de azúcar y pasto ruso.

Para el tratamiento caña de azúcar vs. pasto ruso vs. pasto blanco, el número de posturas ovipositadas se ajustó a una distribución Binomial Negativa de tipo II (NBII). Los adultos de *D. saccharalis* pusieron mayor número de posturas en caña de azúcar ($\chi^2 = 12.70$, $df = 2$, $P < 0.001$; Figura 3) que en ambas malezas. El número promedio de posturas por planta fue de 20,7; 12,2 y 11,2 para caña de azúcar, pasto ruso y pasto blanco, respectivamente.

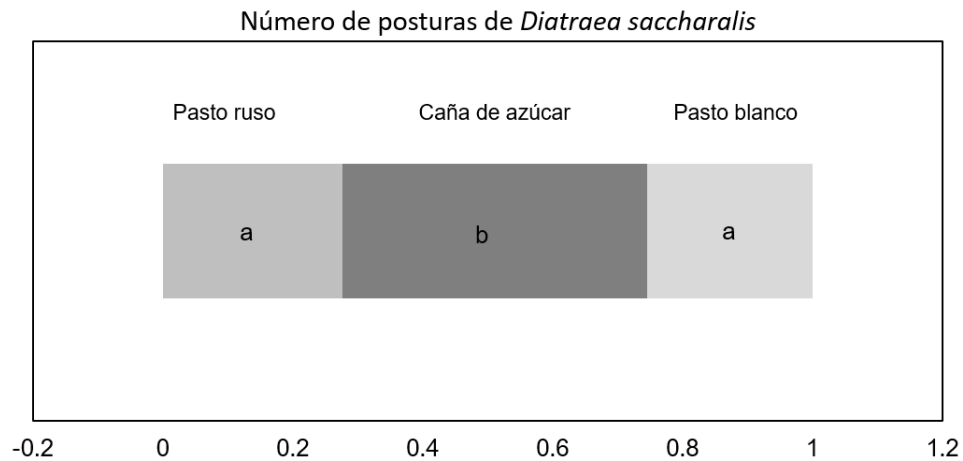


Figura 3. Proporción de posturas ovipositadas por las hembras de *Diatraea saccharalis* sobre las plantas de caña de azúcar, pasto ruso y pasto blanco.

Respecto al número de huevos promedio ovipositados por los adultos de *D. saccharalis* en ambos tratamientos, la distribución se ajustó a una BNI, y no se observaron diferencias significativas para ningún tratamiento (Caña de azúcar vs. Pasto ruso: Fecha: $\chi^2 = 0.39$, $df = 1$, $P = 0.53$; Sustrato: $\chi^2 = 0.93$, $df = 1$, $P = 0.33$; Figura 4 – Caña de azúcar vs. Pasto ruso vs. Pasto blanco: $\chi^2 = 0.33$, $df = 2$, $P = 0.84$; Figura 5.)

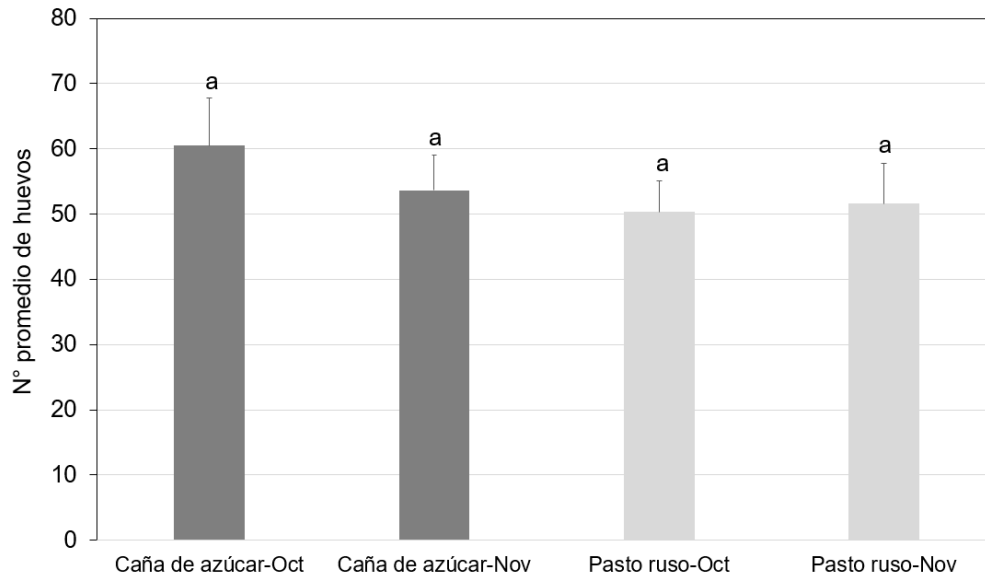


Figura 4. Número de huevos ovipositados por las hembras de *Diatraea saccharalis* sobre las plantas de caña de azúcar y pasto ruso en las dos fechas evaluadas (Oct: octubre y Nov: noviembre).

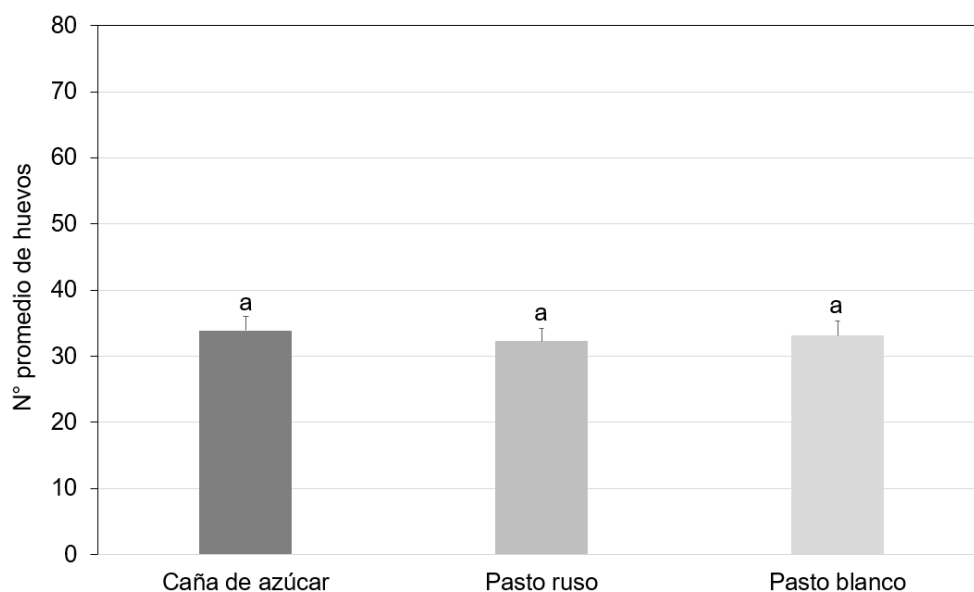


Figura 5. Número de huevos ovipositados por las hembras de *Diatraea saccharalis* sobre las plantas de caña de azúcar, pasto ruso y pasto blanco.

CONCLUSIONES

La cantidad de posturas ovipositadas por las hembras de *D. saccharalis* no fueron significativamente diferentes entre los meses de octubre y noviembre.

Diatraea saccharalis prefirió oviponer un mayor número de posturas sobre caña de azúcar que en el pasto ruso y pasto blanco. Sin embargo, la capacidad de oviponer en estas malezas, son importantes a la hora de plantear un control de *D. saccharalis* ya sea biológico o con insecticida, ya que estarían actuando como un puente verde para re-infectar el cultivo.

El número promedio de huevos por postura registrados en las 3 especies fue estadísticamente similar.

Estos resultados aportan a mejorar el desarrollo de estrategias de control dentro de un esquema de manejo integrado de plagas determinando el importante rol de las malezas asociadas al cultivo.

BIBLIOGRAFIA

- Álvarez MG, Martínez J, Moyano S, Isas M, Yasem M, Salvatore AR. ataque de *Diatraea saccharalis* al cultivo de caña de azúcar en el departamento Leales Tucumán. 2021. XXXVIII Jornada de la Asociación de Biología de Tucumán, en la modalidad Virtual.
- Cárdenas, G. J.; O. Díez y P. Garolera de Nucci. 2009. Situación energética mundial. Posibilidades de producción de alcohol combustible en Tucumán. Avance Agroindustrial. 30 (4): 20-24.
- Fandos, C. et al. (2021). Reporte Agroindustrial 213, pp.7. ISSN 2346-9102.
- Goebel F. R. & N. Sallam. 2011. Curr. Opin. Environ. Sust. 3(1), 81-89.

- Osores V. M. et al. (1981). Rev. Ind. y Agríc. Tucumán, 58 (2): 49-56.
- La "Superzafra/24" dispondrá de 19,700 millones de toneladas de caña, según la EEAOC.
<https://www.lagaceta.com.ar/nota/1035903/economia/superzafra-24-dispondra-19700-millones-toneladas-cana-segun-eeaoc.html>
- R Core Team. R. (2022). A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- Stasinopoulos, D.M, Rigby, R.A., Heller, G.Z., Voudouris, V., y De Bastiani, F. (2017) Flexible regression and smoothing: using GAMLSS in R. Chapman and Hall /CRC, Florida, USA.
- Valeiro, A. & Biaggi, C. (2019). Revista de investigaciones agropecuarias, 45(1), 31-43.

EFFECTO DEL RESIDUO AGRÍCOLA DE COSECHA (RAC) SOBRE LA EMERGENCIA DE MALEZAS COMUNES DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR EN TUCUMÁN, ARGENTINA.

Sánchez Ducca, A.^{1y2}; Fernández de Ullivarri, J.^{1y2}; Vargas, P. D.¹; Sabaté, S.¹; Barceló, M. F.¹; Romero, E. R.^{1y2}; Digonzelli, P. A.^{1y2} A. N. Peña Malavera^{1y3} y Héctor R. Huarte⁴.

¹Investigador Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) Tucumán-Argentina.

²Docente Facultad de Agronomía y Zootecnia – UNT. ^{1y3}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. CP: T4101XAC, ⁴CONICET/ Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Lomas de Zamora. asanchezducca@eeaoc.org.ar – agustin_sd22@hotmail.com

Palabras claves: malezas, control cultural, sustentabilidad, cobertura

Introducción

La provincia de Tucumán, en Argentina, cuenta con una superficie de 278.410 hectáreas destinadas al cultivo de caña de azúcar (Fandos et al., 2023). De esta área, el 98% se cosecha mecánicamente sin necesidad de quema (Henriquez et al., 2023). Tras la cosecha, quedan en el campo, según la variedad, el nivel productivo, el momento de la cosecha y la regulación de la maquinaria, entre 7 y 18 toneladas de materia seca por hectárea (MS) de residuo agrícola de cosecha (RAC), siendo el valor más común 10 toneladas de MS por hectárea (Digonzelli et al., 2011a, 2016; Romero et al., 2009).

El RAC como cobertura proporciona numerosos beneficios: mejora el balance hídrico del suelo, reduce la erosión hídrica y eólica, aporta materia orgánica, facilita el reciclaje de nutrientes, favorece la microflora y microfauna beneficiosas del suelo, y ayuda en el control de malezas, entre otros (Digonzelli et al., 2011a, 2011b; Sanzano et al., 2009; Tortora et al., 2018).

El impacto del RAC en la germinación, emergencia y crecimiento de las malezas está vinculado a cambios en la temperatura y la amplitud térmica del suelo, a la reducción en la cantidad y calidad de luz incidente, y a la liberación de sustancias alelopáticas (Nikolic et al., 2021). Además, el RAC actúa como una barrera física que dificulta la emergencia, especialmente de malezas cuyas semillas son pequeñas y tienen reservas limitadas (Oliveira y Simões, 2014). Por tanto, la cobertura de RAC puede afectar la dormición, germinación, emergencia y mortalidad de las semillas de malezas, modificando así la comunidad de malezas.

La interacción de las malezas con el RAC es específica y depende del nivel de cobertura y de la especie de maleza en cuestión. Por ello, es crucial comprender cómo se comportan las principales malezas de los cañaverales frente al RAC para lograr un manejo más eficiente de estas.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de distintas cantidades de RAC sobre la emergencia de *Tithonia tubaeformis*, *Amaranthus hybridus*, *Eleusine indica*, *Echinochloa colona*, *Bidens pilosa*, *Ipomoea purpurea* y *Sicyos polyacanthus*, malezas de alta incidencia en los cañaverales tucumanos.

Materiales y Métodos

Experimento en el campo

Se realizó un experimento en el campo durante los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2019, 2020 y 2021 en Las Talitas, Tucumán, Argentina (26°47'19.03"S, 65°12'7.14"O). El suelo es franco limoso con pH 7,1 y 2,1% de materia orgánica. Las semillas de las malezas evaluadas fueron recolectadas entre abril y julio en cada año de experimentación. El área de investigación (20 × 20 m) se cultivó dos veces, a mediados de septiembre, utilizando una rastra excéntrica. La temperatura del aire se registró a 600 m del sitio experimental utilizando una estación meteorológica Davis Vantage Pro II (Estación Meteorológica El Colmenar, Tucumán, Argentina). Las temperaturas medias mensuales fueron para octubre: 21,5°C, 22,7°C y 22,9°C; para noviembre: 24,8°C, 24,7°C y 22,8°C; y para diciembre 25,4°C, 25,7°C y 26,1°C, respectivamente para los años 2019, 2020 y 2021. Las precipitaciones totales mensuales fueron para octubre de 25, 19,3 y 23,6 mm; para noviembre de 201,4, 114,3 y 133,6 mm; y para diciembre de 72,1, 155,2 y 119,9; respectivamente para 2019, 2020 y 2021. Para medir el efecto de los residuos del cultivo sobre la amplitud térmica del suelo, en octubre de 2021 se enterraron en el centro de las parcelas 10 sensores Thermochron DB 21 (iButtonsLinks, Whitewater, WI, EE. UU.) a 5 cm de profundidad en el suelo, para registrar la temperatura en intervalos de 4 horas.

El diseño experimental fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y el ensayo se estableció en la primera quincena de octubre de 2019, 2020 y 2021. En cada parcela (1m²) se colocaron 50 semillas de *T. tubaeformis*, *S. polyacanthus* e *I. purpurea* y 100 semillas de *A. hybridus*, *E. indica*, *E. colona*, y *B. pilosa*. La siembra se realizó a una profundidad de 1,5 veces el largo de la semilla de cada especie y luego se esparcieron residuos de cosecha de caña de azúcar (hojas, vainas y despuntes) en cantidades equivalentes a 0, 5, 10 y 20 t ha⁻¹. Alrededor de cada parcela se colocó un marco de madera para evitar la pérdida del RAC. Para realizar esta investigación se utilizó residuo del cultivar de caña de azúcar LCP 85-334 cosechado con un contenido de humedad entre 7-11 %. La variable evaluada fue la emergencia de plántulas, desde el día 7 después de la siembra del experimento hasta el día 60, con un intervalo de 7-10 días entre las evaluaciones. Para la presentación de los resultados de este trabajo se utiliza el número final de plántulas emergidas expresado en porcentaje del total de semillas colocadas.

El análisis estadístico se realizó mediante modelos lineales generalizados bajo distribución binomial y función de enlace logit para cada una de las especies en estudio. La variable analizada fue la cantidad de semillas emergidas del total de semillas sembradas los resultados se expresan en porcentaje (plántulas emergidas/ N° de semillas sembradas x 100). Para analizar la amplitud térmica se realizó un ANOVA y la comparación de medias se utilizó el test a posteriori LSD de Fisher.

Resultados

La amplitud térmica del suelo observada durante la ventana de emergencia de las plántulas en el año 2021 se presenta en la Figura 1. Los resultados respaldan la hipótesis de que mayores cantidades de RAC disminuyen progresivamente la amplitud térmica del suelo ($P < 0,0001$). A lo largo de todo el período de emergencia, los valores medios de amplitud térmica del suelo fueron de $6,93^{\circ}\text{C}$ (a); $4,51^{\circ}\text{C}$ (b); $3,06^{\circ}\text{C}$ (c) y $1,86^{\circ}\text{C}$ (d) para cantidades de residuos de 0, 5, 10 y 20 t ha^{-1} , respectivamente.

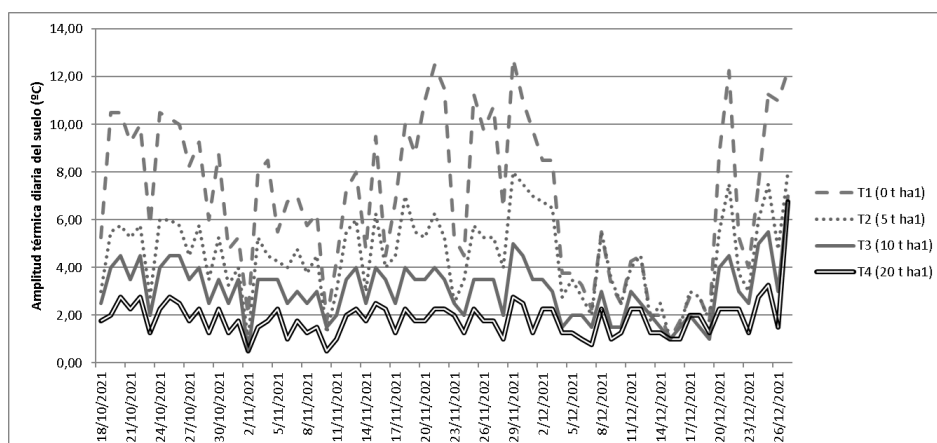


Figura 1. Amplitud térmica registrada durante la campaña 2021 con las distintas cantidades de RAC como cobertura. Las Talitas, Tucumán, Argentina.

En la Tabla 1 se presentan los resultados de la influencia de distintas cantidades de RAC sobre la emergencia de las especies de malezas evaluadas.

Tabla 1. Porcentaje de plántulas emergidas en función del número de semillas sembradas a los 60 días después de la siembra, valores promedio de todos los años ensayados.

Especie	T1 (0 t ha^{-1})	T2 (5 t ha^{-1})	T3 (10 t ha^{-1})	T4 (20 t ha^{-1})
<i>Echinochloa colona</i> (*)	22 ± 1 (A)	4 ± 1 (B)	0 ± 0 (C)	0 ± 0 (C)
<i>Eleusine indica</i> (*)	26 ± 1 (A)	2 ± 0 (B)	0 ± 0 (C)	0 ± 0 (C)
<i>Amaranthus hybridus</i> (*)	15 ± 1 (A)	1 ± 0 (B)	0 ± 0 (C)	0 ± 0 (C)
<i>Tithonia tubaeformis</i> (*)	17 ± 2 (A)	2 ± 1 (B)	1 ± 0 (B)	0 ± 0 (C)
<i>Bidens pilosa</i> ¹ (*)	48 ± 2 (A)	28 ± 2 (B)	14 ± 1 (C)	1 ± 0 (D)
<i>Ipomea purpurea</i> (*)	33 ± 2 (A)	15 ± 2 (B)	12 ± 1 (B)	6 ± 1 (C)
<i>Sicyos polyacanthus</i> ¹ (ns)	8 ± 1 (A)	11 ± 2 (A)	13 ± 2 (A)	13 ± 2 (A)

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas; las comparaciones entre tratamientos se realizaron dentro de cada especie (fila). ¹Fueron evaluadas solo en los años 2019 y 2021. Asterisco indica valor p menor a 0,05.

Valores de RAC de 5 t ha^{-1} y superiores redujeron significativamente la emergencia de *Echinochloa colona* y *Eleusine indica*. La cobertura del suelo con

5 t ha⁻¹ de RAC disminuyó la emergencia en un 82% y 92% respectivamente, en comparación con el testigo (RAC 0 t ha⁻¹). A partir de 10 t ha⁻¹ de RAC, la inhibición de la emergencia fue total. Este control logrado con la cobertura puede atribuirse en gran medida a la reducción de la amplitud térmica causada por el RAC. Según Nishimoto (1997), la germinación de *E. indica* responde intensamente a la alternancia de temperaturas. En cuanto a *E. colona*, numerosos estudios señalan que la luz es crucial para romper su dormancia. Aunque en este ensayo no se midió la capacidad del RAC para filtrar la luz, múltiples estudios demuestran que el aumento de la cobertura altera el ambiente lumínico y térmico (Teasdale, 1993). Estos hallazgos coinciden con los de Sánchez-Ducca *et al.* (2022), quienes, en ensayos de campo en Tucumán, encontraron que 9 t ha⁻¹ de RAC fueron suficientes para un control efectivo de estas malezas.

Amaranthus hybridus mostró un comportamiento similar al de las gramíneas evaluadas, con una reducción sensible en la emergencia bajo coberturas de 5 t ha⁻¹ de RAC o más. Con 5 t ha⁻¹ de RAC, se observó una disminución del 93% en comparación con el tratamiento sin RAC, mientras que a partir de 10 t ha⁻¹, la inhibición fue total. Estos resultados concuerdan con Carvalho y Christoffoleti (2007), quienes determinaron que la germinación de esta especie requiere luz y temperaturas alternadas, ambos factores afectados con el aumento de la cobertura. En los ensayos de campo previamente mencionados, también se observó que 9 t ha⁻¹ de RAC fueron suficientes para un control efectivo de esta especie (Sánchez-Ducca *et al.*, 2022).

La emergencia de plántulas de *Tithonia tubaeformis* se redujo significativamente con 5 y 10 t ha⁻¹ de RAC, alcanzando una inhibición del 87,5% respecto al testigo (RAC 0 t ha⁻¹). El tratamiento con 20 t ha⁻¹ (T4) presentó una supresión total de esta especie. Huarte *et al.* (2023) indicaron que *T. tubaeformis* exhibe un comportamiento típico de especies de ciclo primavero-estival-otoñal, y que la falta de alternancia de temperaturas y luz afecta considerablemente su germinación. De manera similar, *Bidens pilosa* mostró reducciones en la emergencia del 42%, 71% y 98% para coberturas de 5, 10 y 20 t ha⁻¹ de RAC, respectivamente, en comparación con el control. Belapart (2016) observó que el aumento de la cobertura de RAC mejora el control de esta especie, logrando un control total a partir de 10 t ha⁻¹.

En el caso de *Ipomoea purpurea* (de hábito trepador), se observó una disminución significativa en la emergencia con 5 y 10 t ha⁻¹ de RAC, de 54% y 63% respectivamente. El tratamiento con mayor cobertura (T4) logró la mejor inhibición, reduciendo la emergencia en un 82% respecto al testigo. Aunque la cobertura influyó en la emergencia de esta especie, cantidades elevadas de RAC (20 t ha⁻¹) no lograron un control total. Azania *et al.* (2002), en Brasil, registraron una disminución en la emergencia de 39,3%, 49,8% y 75,5% para coberturas de 5, 10 y 20 t ha⁻¹ de RAC de caña de azúcar, respectivamente.

Por último, la emergencia de *Sicyos polyacanthus* no se vio afectada por ninguna de las cantidades de RAC evaluadas. Hay poca información sobre los requisitos de germinación de esta especie. En ensayos de campo realizados en Tucumán se observó el mismo comportamiento, sin que la emergencia se viera afectada por coberturas de 9 y 18 t ha⁻¹ de RAC (Sánchez-Ducca et al., 2022).

Conclusión

En este estudio se ha demostrado que el residuo agrícola de cosecha (RAC) de caña de azúcar, utilizado como cobertura en el suelo, ejerce una influencia significativa en la emergencia de diversas especies de malezas. Esta respuesta varía según la especie, y se pueden identificar tres grupos entre las malezas estudiadas. El Grupo I comprende malezas altamente sensibles a la cobertura: *Tithonia tubaeformis*, *Amaranthus hybridus*, *Eleusine indica* y *Echinochloa colona*. Con cantidades de RAC de 5 t ha⁻¹ o más, se observa una reducción significativa en la emergencia, siendo prácticamente nula a partir de 10 t ha⁻¹. Por lo tanto, el uso de cobertura se presenta como una estrategia altamente eficaz para su manejo.

En el Grupo II se encuentran las malezas medianamente sensibles a la cobertura, como *Bidens pilosa* e *Ipomea purpurea*. Aunque la emergencia disminuye con el aumento de la cobertura, con 10 t ha⁻¹ de RAC aún se observa una emergencia de cierto porcentaje de individuos. En este caso, el uso de cobertura puede contribuir al manejo, pero es crucial complementarlo con monitoreo y otros métodos de control.

Finalmente, el Grupo III está compuesto por especies de malezas insensibles a la cobertura, como *Sicyos polyacanthus*. Para estas especies, es necesario basar el manejo en prácticas alternativas como el uso de herbicidas, laboreo o rotación de cultivos.

En resumen, mantener el RAC en la superficie del suelo no solo ofrece beneficios agronómicos conocidos, sino que también representa una excelente estrategia dentro de un sistema de manejo integrado de malezas. Esto permite reducir la competencia de las malezas con la caña de azúcar de manera económica y sostenible, promoviendo así un uso más racional de los herbicidas.

Bibliografía

- Azania, A. A. P. M., Azania, C. A. M., Gravena, R., Pavani, M. C. M. D., & Pitelli, R. A. (2002). Interferência da palha de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) na emergência de espécies de plantas daninhas da família Convolvulaceae. *Planta Daninha*, 20(2), 207-212.
- Belapart, D. (2016). Efeito da palha de cana-de-açúcar no regime térmico do solo e no controle de plantas daninhas. Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus de Botucatu.

- Carvalho, S. J. P., & Christoffoleti, P. J. (2007). Influência da luz e da temperatura na germinação de cinco espécies de plantas daninhas do gênero *Amaranthus*. *Bragantia*, 66(4), 527-533.
- Digoncelli, P., Romero, E., Alonso, L., Fernández de Ullivarri, J., Rojas Quinteros, H., Scandaliaris, J., Fajre, S. (2011a). Assessing a sustainable sugar cane production system in Tucumán, Argentina. Part one: Sugar cane harvest residue (trash) decomposition dynamics. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán (RIAT)*, 88(1), 1-12.
- Digoncelli, P., Tonatto, M. J., Romero, E. R., Sanzano, G. A., Fernández de Ullivarri, J., Giardina, J. A., & 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. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán (RIAT)*, 88(2), 1-10.
- Digoncelli, P. A., Fernández de Ullivarri, J., Medina, M., Pérez Taboada, S., Rojas Quinteros, H., & Leggio, M. F. (2016). Análisis de la descomposición del residuo de la cosecha en verde del cañaveral (RAC) en tres ensayos diferentes. En XX Reunión Técnica Nacional de la Caña de Azúcar, Trabajo en CD: 5 pp. Tucumán, Argentina, 6-8 de abril de 2016.
- Fandos, C., Scandaliaris, J., Scandaliaris, P., Carreras Baldrés, J. I., & Soria, F. J. (2023). Área cosechable y producción de caña de azúcar para la zafra 2023 en Tucumán. *Reporte Agroindustrial*, 278.
- Henriquez, D. D., Medina, P., Aybar Guchea, M., Figueroa, M. F., Costilla, D. D., V., D. J., Díaz Romero, C., & Ostengo, S. (2023). Relevamiento de la distribución varietal y del uso de otras tecnologías en el cultivo de caña de azúcar en la provincia de Tucumán: campaña 2022/2023. *Reporte Agroindustrial* N° 282.
- Huarte, H. R., Bustos, J. S., Vargas, P., & Sánchez Ducca, A. (2023). Identificación de los requerimientos germinativos de *Tithonia tubaeformis* (Asteraceae) como base para el diseño de prácticas agronómicas que reduzcan su emergencia. En *Actas IV Congreso Argentino de Malezas*, p. 82. Mar del Plata, Argentina, 14 y 15 de septiembre de 2023.
- Nikolić, N., Loddó, D., & Masin, R. (2021). Effect of crop residues on weed emergence. *Agronomy*, 11(1), 163.
- Nishimoto, R. K., & McCarty, L. B. (1997). Fluctuating Temperature and Light Influence Seed Germination of Goosegrass (*Eleusine indica*). *Weed Science*, 45(3), 426-429.
- Oliveira, R. A., & Simões, W. L. (2014). Manejo de palhada para o controle de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar irrigada. *Embrapa Semiárido. Circular Técnica*, 106.
- Romero, E. R., Scandaliaris, J., Digoncelli, P., Alonso, L., Leggio Neme, F., Giardina, J., Fernández de Ullivarri, J. (2009). Effect of variety and cane yield on sugarcane potential trash. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán (RIAT)*, 86(1), 9-13.

- Sánchez Ducca, A., Fernández de Ullivarri, J., Vargas, P. D., Sabaté, S., Barcelló, M. F., Romero, E. R., ... 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.
- Sanzano, G. A., Sosa, F. A., Hernández, C. F., Morandini, M., Rojas Quinteros, H., Romero, J. I., & Digonzelli, P. A. (2009). Evaluación de la erosión hídrica en caña de azúcar con y sin cobertura de maloja. *Avance Agroindustrial*, 30(3), 16-18.
- Teasdale, J. R. (1993). Interaction of light, soil moisture, and temperature with weed suppression by hairy vetch residue. *Weed Science*, 41(1), 46-51.
- Tortora, M. L., Ludueña, L., Nuñez, M., Alderete, M., Fernández de Ullivarri, J., Criado, A., ... 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. En *Memorias XI Congreso ATALAC -TECNICAÑA*, 209-218. Cali, Colombia, 24-28 de septiembre de 2018.

Tolpyralate: una alternativa promisorio para el manejo post-emergente de grama bermuda (*Cynodon dactylon*)

A. Sánchez Ducca^{1y2}; P. D. Vargas¹; S. Sabaté¹; M. F. Barcelló¹; M. Pavan³ y E. R. Romero^{1y2}

¹Investigador Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) Tucumán-Argentina. ² Docente Facultad de Agronomía y Zootecnia – UNT. ³ Summitagro Argentina.

San Miguel de Tucumán, Argentina - asanchezducca@eeaoc.org.ar

Palabras Clave: HPPD, herbicida, sinergismo.

Introducción

Cynodon dactylon (L.) Pers. (grama, grama bermuda, pata de perdiz, etc) es considerada como una de las diez malezas más perjudiciales a nivel mundial debido a su capacidad para causar daños significativos en más de 40 cultivos (Guglielmini *et al.*, 2018). En el cultivo de caña de azúcar no se encuentra exento a esa situación y *C. dactylon* se sitúa entre las tres malezas más problemáticas en varios países, incluyendo Brasil y Estados Unidos (Filho & Christoffoleti, 2004; Richard & Dalley, 2007). En Tucumán, los productores consideran esta maleza como la más desafiante a la hora de manejar sus cañaverales (Sánchez Ducca *et al.*, 2020).

Es una especie perenne C4, herbácea, postrada, rizomatosa y estolonífera, de 30-50 cm de altura. Tiene hojas glabras en el envés y su reproducción se da principalmente por rizomas y estolones (Oakley, 1999). La producción de semillas no es importante para la perpetuación, pero si para invadir nuevas área (Hanna & Anderson, 2008). Al pertenecer esta maleza a la misma familia botánica que el cultivo, resulta difícil encontrar herbicidas que sean eficientes y al mismo tiempo selectivos. En competencia con el cultivo de caña de azúcar, puede producir importantes pérdidas de rendimientos (hasta 32 % de tallos molibles) y lo que es aún más importante, puede reducir la longevidad del cañaveral, provocando que los mismos deban ser renovados anticipadamente (Richard & Dalley, 2007). El manejo de grama bermuda en los distintos países cañeros se realiza principalmente mediante su control químico durante el período de barbecho o rotación, debido a que es muy difícil de controlar cuando ya está conviviendo con el cañaveral, por la falta de herbicidas post-emergentes selectivos (Richard, 1998).

En la actualidad, el 60% de la superficie plantada con caña en Tucumán, tiene como antecesor al cultivo de soja resistente a glifosato, lo cual permite disminuir la presión de las malezas perennes, especialmente de grama, mediante múltiples aplicaciones de glifosato (Sánchez Ducca, *et. al* 2020a). Para el control de grama una vez implantado el cañaveral, el productor argentino cuenta solamente con topramezone como herbicida post-emergente selectivo, de reciente registro para el cultivo de caña (Sánchez Ducca, *et. al* 2020b).

En el caso de *C. dactylon* cuando se realiza el laboreo para la preparación de la cama de plantación de caña de azúcar, los rizomas y estolones son troceados y quedan reducidos a pequeños propágulos. Las plantas regeneradas a partir de estos propágulos son controladas eficientemente con el tratamiento

topramezone + atrazina, debido a la poca reserva que disponen para poder rebrotar (Sanchez Ducca *et al.* 2020b). En consecuencia, se inicia con cañaverales libres o con una baja presión de esta problemática maleza.

Topramezone, es un inhibidor de la enzima 4-hidroxifenilpiruvato dioxigenasa (4-HPPD), afectando la síntesis de carotenoides (Grupo 27, según HRAC, 2020). Dentro de este grupo de herbicidas se encuentra además el tolpyralate, otro nuevo activo post-emergente utilizado para el control de gramíneas anuales y dicotiledóneas en el cultivo de maíz. Si bien, ambos herbicidas tienen un espectro de acción similar, existen diferencias en la eficiencia sobre algunas malezas.

La recomendación de uso de estos herbicidas siempre se encuentra asociada a la mezcla con inhibidores del fotosistema II (PSII), debido a que la eficacia de los inhibidores de HPPD incrementa con bajas dosis de PSII (Abendroth *et al.*, 2006). En muchos casos, la actividad conjunta de los inhibidores de HPPD y PSII ha sido reportada como sinérgica o aditiva para el control de varias especies de malezas. Sin embargo, la mejor eficiencia informada entre los inhibidores de HPPD y PSII puede variar entre los inhibidores de HPPD, entre los inhibidores de PSII, las tasas de herbicidas evaluadas, las especies de malezas, entre otros factores. (Abendroth *et al.*, 2006; Armel *et al.*, 2007).

En nuestra región no existe información sobre la eficiencia de tolpyralate sobre *Cynodon dactylon*, por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto herbicida de tolpyralate empleado sólo y en mezcla con atrazina, sobre plantas de *C. dactylon* regeneradas a partir propágulos pequeños.

Materiales y métodos

Se realizaron 3 ensayos a campo, en un lote experimental perteneciente a la EEAOC en Las Talitas, Tucumán, en la temporada estival de los años 2021, 2022 y 2023.

El área experimental fue preparada a partir de septiembre de 2019, usando tres pasadas de rastra excéntrica. Durante los meses de octubre a enero de cada año se realizaron en promedio 3 aplicaciones de glifosato a una dosis de 1.800 g e.a. ha⁻¹, a fin de eliminar las malezas presentes en el lote, especialmente la grama. Diez días antes de la plantación de la grama de cada año se realizó la aplicación de un herbicida residual selectivo para la grama (S-metolacoloro 96 % 1,3 l ha⁻¹) para disminuir la interferencia de malezas anuales. Los escapes de malezas durante los ensayos fueron controlados de forma manual.

El material vegetal se obtuvo de la multiplicación de plantas de *C. dactylon* originadas a partir de estolones, buscando simular la condición de esta maleza luego de un control mecánico (plantas regeneradas por propágulos pequeños), situación que frecuentemente se encuentra en los lotes de caña planta. Para todos los años de ensayos, la grama utilizada se recolectó de campos de caña

de azúcar de la EEAO. Primeramente, se obtuvieron plantas de grama pre-brotadas en sombráculo a partir de esquejes de estolones uninodales, en bandejas de germinación de 25 celdas llenas con el sustrato Profesional Grow MIX. A los quince días después de plantados, los plantines fueron trasplantados al centro de una parcela de 4 x 5 m. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar entre 5 y 6, donde cada bloque estuvo conformado por el año de evaluación (Tabla 2).

Entre 25 y 45 días después del trasplante (DDP), se seleccionaron las plantas de grama que tenían estolones de 60 a 100 cm largo, con un área verde promedio de 0,09 m². Se aplicaron los siguientes tratamientos con una mochila de CO₂: T1) testigo sin herbicida; T2) topramezone (33,6 g i.a. ha⁻¹); T3) topramezone (33,6 g i.a. ha⁻¹) + atrazina (900 g i.a. ha⁻¹); T4) atrazina (900 g i.a. ha⁻¹); 5) topyralate (40 g i.a. ha⁻¹) y 6) topyralate (40 g i.a. ha⁻¹) + atrazina (900 g i.a. ha⁻¹). Todos los tratamientos fueron combinados con aceite metilado de soja (76% i.a.) a 0,5 v/v. El volumen de aplicación fue de 120 l ha⁻¹.

Tabla 2. Bloque, año de ejecución, fecha de plantación, fecha de aplicación y de cosecha de biomasa aérea de la grama.

Bloque / año	Número de Repeticiones	Plantación	Aplicación	DDP ₁	Cosecha	DDA ²
1 / 2021	6	04/02/2021	01/03/2021	25	10/04/2021	40
2 / 2022	6	21/01/2022	24/02/2022	34	05/04/2022	40
3 / 2023	5	12/02/2023	29/03/2023	45	08/05/2023	40

Evaluación visual de efecto herbicida

El efecto herbicida (EH), fue evaluado a los 7, 14, 21, 28 y 40 días después de la aplicación (DDA), en base a una escala visual propuesta por 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. Los resultados son presentados en su escala original. El EH fue analizado mediante modelos lineales generales con efectos fijo de tratamiento y bloque. Se realizó ajuste con la función de Varianza varldent para tratamientos. Para realizar la comparación de medias se utilizó el test a posteriori LSD de Fisher. Tanto el tratamiento sin herbicida (T1) como el tratamiento con atrazina no fueron analizados ya que los valores de EH fueron 0 (sin variación).

Determinación de la cobertura verde

Para conocer el área verde cubierta por la grama, se utilizaron imágenes fotográficas, las cuales se tomaron el día de aplicación del ensayo obteniendo el área verde inicial (AVI) y a los 40 DDA el área verde final (AVF). Las imágenes de cada planta de grama se registraron desde una altura de 3 m con una cámara digital Nikon P600, montada en un monopie diseñado específicamente para este

estudio. El monopie se construyó con un tubo telescópico metálico de 3 m de altura y un brazo horizontal que se montaba a 90° de la vertical y se extendía a 1,5 m del eje vertical. Esto permitió que la cámara se colocara de tal manera que se pudiera obtener una imagen cenital de la parcela sin obstrucciones.

Las imágenes fueron procesadas individualmente usando el software ImageJ (Versión 1.53K). Con él se pudo segmentar cada imagen en dos partes: áreas verdes y no verdes (hojas muertas y suelo desnudo) configurando el umbral de tono, saturación y brillo para que ajuste con el rango de colores verde observado, el cual coincide con el tejido vivo.

Una vez seleccionado el color verde de la imagen se procedió a convertir en binario y luego eliminar los valores atípicos. Por último, se calculó el área verde ocupada por la grama.

El AVF fue analizada mediante modelos lineales generales con efectos fijo de tratamiento y bloque. El AVI se consideró en el modelo como covariable. Se realizó el ajuste con la función de Varianza varldent para tratamientos. Para realizar la comparación de medias se utilizó el test a posteriori LSD de Fisher.

Determinación del peso seco aéreo (PS)

En cada ensayo, a los 40 DDA se procedió a cosechar de forma manual toda la biomasa aérea (seca y verde) de las gramas evaluadas. La biomasa aérea se obtuvo pesando el material después de secado, en estufa de circulación de aire forzado a 70°C, hasta peso constante con una balanza de precisión Balanza Sartorius Extend 3200 g/0,01g.

El PS fue analizado mediante modelos lineales generales con efectos fijo de tratamiento y bloque. El AVI se consideró en el modelo como covariable. Se realizó ajuste con la función de Varianza varldent para tratamientos. Para realizar la comparación de medias se utilizó el test a posteriori LSD de Fisher.

Resultados y discusión

Evaluación visual de efecto herbicida

A los 7 DDA, topramezone y tolpyralate (T2 y T5) presentaron un efecto herbicida regular (Tabla 3) y los síntomas de estos tratamientos se observaron en las hojas de grama como un albinismo. En las evaluaciones siguientes, a los 14 y 21 DDA, el efecto herbicida de ambos tratamientos mejoró a bueno, donde ya se observó una necrosis generalizada en toda el área foliar, sin diferenciarse significativamente entre sí. A partir de los 28 DDA, las plantas comenzaron a rebrotar por lo que el efecto herbicida se redujo a regular y en la última evaluación se mantuvieron en el mismo rango, con lo cual se logró tan sólo una supresión de la maleza con ambos herbicidas aplicados solos. Elmore *et al.*, (2011) observó que 38 g i.a. ha⁻¹ de topramezone aplicado en post-emergencia a plantas de *Cynodon dactylon* alcanzaban su pico de EH (58 %) a los 21 DDA para luego comenzar a disminuir.

El herbicida atrazina (T4) no presentó EH en las evaluaciones de esta experiencia. Esta falta de EH es esperable ya que la atrazina es un herbicida selectivo para la aplicación en postemergencia de grama.

La aplicación conjunta de tolpyralate y atrazina (T6), incrementó su control respecto a la aplicación individual de estos herbicidas, diferenciándose estadísticamente de T2 y T5 en todas las evaluaciones. A los 7 DDA, se observó un buen EH, donde las plantas presentaron necrosis en el área foliar. En las evaluaciones subsiguientes, el EH mejoró a excelente sin diferenciarse significativamente de T3, donde la necrosis fue generalizada a toda la planta. Si bien en la última evaluación, a los 40 DDA, se observó el rebrote de algunas plantas evaluadas, estos tratamientos (T3 y T6) permanecieron dentro del rango de control excelente. La mejora del EH por la combinación de herbicidas HPPD y FSII también fue registrada para *Amaranthus palmeri*, *Conyza canadensis*, *Ipomoea coccinea*, *Setaria faberi*, entre otras (Armél *et al.*, 2007; Fluttert *et al.*, 2022).

En la condición libre de competencia de los ensayos, algunas de las plantas tratadas con T3 y T6 presentaron rebrotes incipientes a partir de los 40 DDA. Sin embargo, al ser esta especie típicamente sensible al sombreado, es muy probable que las mismas no sean capaces de competir con el cañaveral a partir de mediados de la fenofase de macollaje. Por ello, con estos tratamientos se podría lograr implantar un cultivo sin fallas y con mayor capacidad de competencia en las socas subsiguientes. Esta ventaja se logra debido a que las mezclas de tolpyralate, o topramezone, con atrazina son selectivas para el cultivo y pueden ser aplicadas de forma total durante emergencia y macollaje (Sanchez Ducca *et al.* 2020 y datos no publicados).

Tabla 3. Efecto herbicida sobre grama en los distintos momentos de evaluación.

Tratamientos	Dosis g ia ha ⁻¹	Efecto herbicida (EH) sobre grama				
		7 DDA	14 DDA	21 DDA	28 DDA	40 DDA
		-----%-----				
T1 Testigo sin herbicida	-	0	0	0	0	0
T2 Topramezone	33,6	63,2 b	78,4 b	77,5 b	70,2 b	64,2 b
T3 Topramezone + atrazina	33,6 + 900	79,3 a	95,7 a	97,5 a	95,9 a	95,0 a
T4 Atrazina	900	0	0	0	0	0
T5 Tolpyralate	40	62,6 b	79,3 b	74,4 b	62,2 c	59,7 b
T6 Tolpyralate + atrazina	40 + 900	78,8 a	94,1 a	96,3 a	94,1 a	92,9 a

Distintas letras, dentro de una columna, indican diferencias significativas según la prueba de Fisher al 5%.

Evaluación de cobertura verde y peso seco

La aplicación de tolpyralate sólo (T5) redujo en un 86 y 87,8% el AVF y el PS respecto al testigo (T1), respectivamente, sin diferenciarse significativamente de topramezone solo, el cual redujo ambas variables en 86 % (Tabla 4). Ambos

tratamientos se diferenciaron significativamente a los tratamientos T1 y T4 en dichas variables.

Las mezclas de tolpyralate + atrazina (T6) y topramezone + atrazina (T3), fueron los tratamientos que menor valor de AVF y PS presentaron, con una reducción promedio de 98,6 % respecto a T1, diferenciándose del resto de los tratamientos en ambas variables. Esto evidenció la necesidad de la combinación de los herbicidas tolpyralate o topramezone con atrazina, para alcanzar niveles de control eficientes sobre *Cynodon dactylon*.

Respecto al AVF y PS, atrazina (T4) no se diferenció significativamente del testigo sin herbicida (Tabla 4). Dias (2018) también observó que no hubo cambios en la cobertura ni el PS luego de la aplicación postemergente de atrazina (1250 g i.a. ha⁻¹), considerando este tratamiento selectivo para grama bermuda (*Cynodon dactylon* x *Cynodon tranvaalensis*).

Tabla 4. Área verde final y peso seco aéreo de los distintos tratamientos evaluados.

Tratamientos	g i.a ha ⁻¹	Área verde	Peso seco
		m ²	g/planta
T1 Testigo sin herbicida	-	1,72 c	500,99 c
T2 Topramezone	33,6	0,24 b	70,39 b
T3 Topramezone + atrazina	33,6 + 900	0,01 a	9,04 a
T4 Atrazina	900	1,20 c	319,31 c
T5 Tolpyralate	40	0,23 b	61,32 b
T6 Tolpyralate + atrazina	40 + 900	0,02 a	9,36 a

Distintas letras, dentro de una columna, indican diferencias significativas según la prueba de Fisher al 5%.

Conclusiones

El uso de tolpyralate en mezcla con atrazina permitió lograr un efecto herbicida excelente sobre plantas de *Cynodon dactylon* originadas a partir de propágulos pequeños. Los resultados observados para este herbicida no se diferenciaron significativamente del testigo químico topramezone + atrazina.

Los tratamientos evaluados permitieron además evidenciar el efecto de la mezcla del herbicida inhibidor de la HPPD con un herbicida como atrazina que actúa sobre el Fotosistema II. Tanto tolpyralate como topramezone aplicados solos no tuvieron la eficiencia deseada, observándose rebrotes luego de 28 días de la aplicación.

Además del excelente control sobre *Cynodon dactylon*, la combinación de tolpyralate y atrazina ofrece un amplio espectro de control, tanto de latifoliadas como poaceas. La selectividad de esta combinación hacia el cultivo y su mecanismo de acción (HPPD) diferente respecto a los herbicidas comúnmente utilizados en nuestra región, posiciona a tolpyralate como un herbicida prometedor para su registro en el cultivo de caña de azúcar en Argentina.

Bibliografía

- 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
- Armel, G. R., Rardon, P. L., McComrick, M. C., Ferry, N. M., Armel, G. R., Rardon, P. L., McComrick, M. C., & Ferry, N. M. (2007). *Differential Response of Several Carotenoid Biosynthesis Inhibitors in Mixtures with Atrazine*. 21(4), 947–953.
- Dias, R. de C. (2018). *Seletividade de Herbicidas Aplicados em Pós-Emergência em Espécies de Grama*. Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu.
- Elmore, M. T., Brosnan, J. T., Kopsell, D. A., & Breeden, G. K. (2011). Methods of assessing bermudagrass [*Cynodon dactylon*] responses to HPPD-inhibiting herbicides. *Crop Science*, 51(6), 2840–2845. <https://doi.org/10.2135/cropsci2010.11.0656>
- Filho, R. V., & Christoffoleti, P. J. (2004). Manejo de plantas daninhas e produtividade da cana. *Visão Agrícola*, 1, 6.
- Fluttert, J. C., Soltani, N., Galla, M., Hooker, D. C., Robinson, D. E., & Sikkema, P. H. (2022). Additive and synergistic interactions of 4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase (HPPD)- And photosystem II (PSII)-inhibitors for the control of glyphosate-resistant horseweed (*Conyza canadensis*) in corn. *Weed Science*. <https://doi.org/10.1017/wsc.2022.13>
- Guglielmini, A. c. ., Kruk, B. ., & Satorre, E. . (2018). *Cynodon dactylon* (L.) Pers. In O. A. Fernández, E. S. Leguizamón, & H. A. Acciaresi (Eds.), *Malezas invasoras de la Argentina, Tomo III* (1a ed, pp. 230–243).
- Hanna, W. W., & Anderson, W. F. (2008). Development and impact of vegetative propagation in forage and turf bermudagrasses. *Agronomy Journal*, 100(3 SUPPL.), 103–107. <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0302c>
- HRAC. 2020. Global HRAC MOA Classification Working Group report. Disponible en: https://hracglobal.com/files/GHRAC_MOA_UPDATE_2020.pdf
- Oakley, L. J. (1999). BOTÁNICA Y SISTEMÁTICA DE *Cynodon dactylon* (L.) PERS. *Rev. Facultad de Agronomía*, 19(1), 3–10. <https://core.ac.uk/download/pdf/144234614.pdf>
- Richard, E. P. (1998). Control of Perennated Bermudagrass (*Cynodon dactylon*) and Johnsongrass (*Sorghum halepense*) in Sugarcane (*Saccharum spp . hybrids*) Published by : WSSA and Allen Press Stable. *Weed Technology*, 12(1), 128–133.
- Richard, E. P., & Dalley, C. D. (2007). Sugarcane Response to Bermudagrass Interference. *Weed Technology*, 21(4), 941–946. <https://doi.org/10.1614/wt-07-035.1>

- Sánchez Ducca, A., Vargas, P. D., Sabaté, S., & R, R. E. (2020a). Relevamiento sobre el manejo de malezas en caña de azúcar en la provincia de Tucumán, encuesta 2018. *Avance Agroindustrial*, 41(1), 24–28.
- Sánchez Ducca, A., Vargas, P. D., Sabaté, S., & Romero, E. R. (2020b). Topramezone: New Herbicide Registered in Sugarcane for Post-emergent Management of *Cynodon dactylon* in Tucumán, Argentina. *Sugar Tech*, 22(4), 738–740. <https://doi.org/10.1007/s12355-020-00835-w>

ANÁLISIS ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA INCIDENCIA DE *DIATRAEA SACCHARILIS* EN LA ÁREA CAÑERA DE LA PROVINCIA DE TUCUMÁN ARGENTINA, MEDIANTE SIG, EN EL PERÍODO 2016-2022

Scandaliaris P.; Fandos C.; Pérez M L del P, Soria F y Carreras Baldrés J. I.

Estación Experimental Agroindustrial "Obispo Colombres"

Avenida William Cross 3.150, C.C. N° 9 (T4101XAC), Las Talitas, provincia de Tucumán, Argentina

pablos@eeaoc.org.ar

Palabras clave: caña de azúcar, análisis espacial, buffer

Introducción

La superficie de caña de azúcar en Argentina se distribuye principalmente en las provincias de Tucumán, Jujuy y Salta y representa uno de los cultivos agroindustriales más importantes de la región. Con una superficie estimada de 278.410 ha para la zafra 2023, (Fandos *et al.*, 2023), el cultivo de caña de azúcar, es una de las actividades productivas de mayor importancia de la provincia de Tucumán, Argentina.

Durante su ciclo productivo, la caña de azúcar es afectada por numerosas plagas que generan una reducción en su productividad. Una de esas plagas es el gusano barrenador del tallo de la caña de azúcar (*Diatraea saccharalis*). Este gusano está particularmente presente en la región de la caña de azúcar (Willink 1982) y es considerada como la plaga más importante debido a sus daños internos en el tallo de la caña de azúcar, que llevan a la destrucción de los tallos, lo que resulta en una pérdida productiva.

Desde la campaña 2003, La Estación Experimental Agroindustrial "Obispo Colombres" (EEAOC), a través de la sección Zoología Agrícola, realiza muestreos pre-zafra de intensidad de infestación con *Diatraea saccharalis* en lotes comerciales de caña de azúcar, ubicados en diferentes localidades del área cañera tucumana, con el fin de poder supervisar el comportamiento de la plaga.

Por otra parte, las tecnologías relacionadas con la gestión de la información espacial, especialmente los Sistemas de Información Geográfica (SIG), facilitan la visualización y seguimiento de diferentes fenómenos.

Teniendo en cuenta la potencialidad de los SIG el objetivo del presente trabajo fue mapear la información de muestreos prezafra en el período 2016-2022 en el área cañera de la provincia de Tucumán.

Metodología

El área de estudio es el área cañera de la provincia de Tucumán (Figura 1).

La toma de las muestras a campo, tarea llevada a cabo por personal de la sección Zoología agrícola de la EEAOC, se realizó según lo indicado por Pérez *et al.*, (2023). Para cada punto se obtiene anualmente un valor de Índice de Infestación expresado en porcentaje (I.I. %). La selección de los puntos de muestreo de la plaga se realizó de forma tal que sea representativa de toda el área cañera.

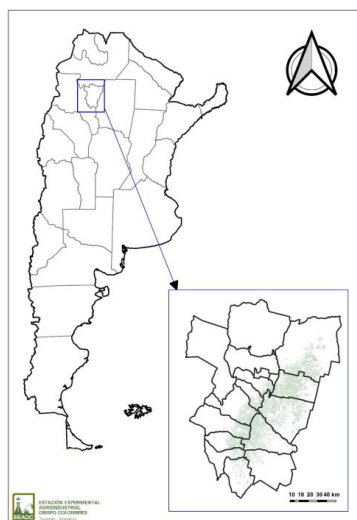


Figura 1. Área de estudio

Para este trabajo se consideró la serie 2016 - 2022 (se excluyó el año 2020 correspondiente al inicio de la pandemia de COVID). La capa base contenía 100 puntos. Con la finalidad de contar con puntos que presenten información en todos los años analizados, se realizó un recorte ("buffer") a 3000 m del punto de muestreo. Como resultado se seleccionaron 51 puntos que contaban con la información requerida. La información resultante se almacenó en un archivo de formas (formato Shapefile de punto).

Posteriormente se elaboraron mapas anuales con los I.I. %. Se consideraron 5 categorías: verde (< 2,5%), verde claro (2,5 a 5,0%), amarillo (5,0 a 7,5%), naranja (7,5 a 10,0%) y rojo (>10,0%)

Finalmente, mediante la integración de la información anual, se calculó un promedio de I.I. % de las seis campañas analizadas.

Se utilizó el software QGIS versión 3.16.9.

Resultados

En la Figura 2, se muestran los 51 puntos seleccionados a partir del proceso "buffer".

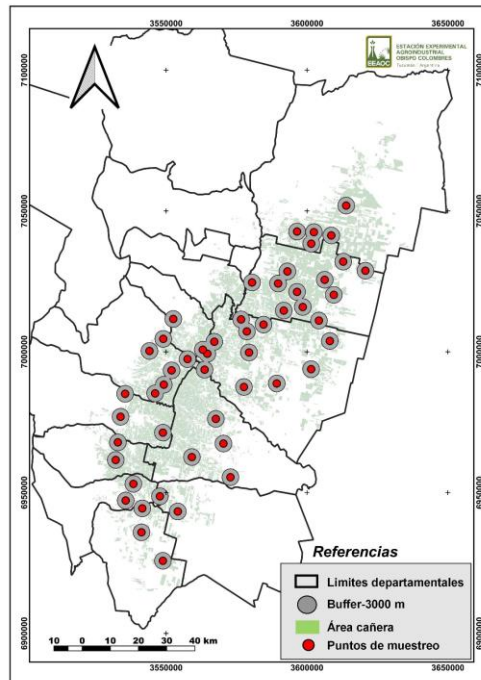


Figura 2. Selección de puntos de muestreo a partir de capa base

En la Figura 3, se muestran los Índices de Infestación para cada una de las campañas analizadas.

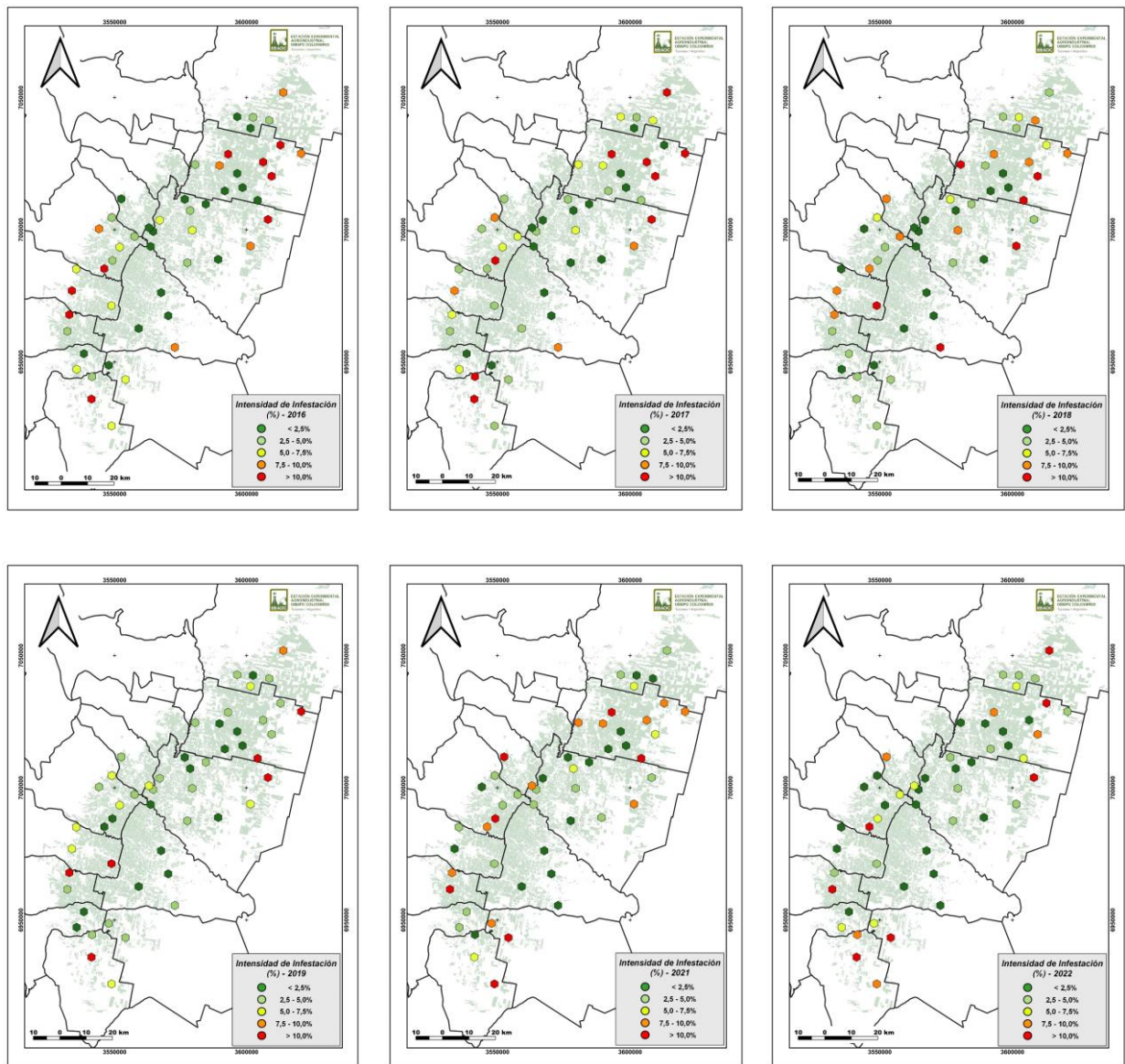


Figura 3. Intensidad de Infestación (I.I. %) de *Diatraea saccharalis* para cada una de las campañas analizadas.

El mapa con los valores promedios de infestación con *Diatraea saccharalis* en la serie analizada se puede observar en la Figura 4.

Al analizar la información, se detectan zonas con predominancia de algunas de las categorías. Por ejemplo se aprecia mayormente la categoría roja, correspondiente al mayor % de infestación, en el sector oriental del departamento Cruz Alta y parte de Leales (1).

En los departamentos Monteros, Chicligasta y Río Chico (2) prevalecieron las categorías amarilla y naranja. La zona 3, ubicada en los departamentos La Cocha y Graneros se caracterizó por una predominancia de la categoría amarilla.

Los valores que se corresponden a las categorías de baja incidencia de la plaga se distribuyeron mayormente en la zona central del área cañera de la provincia.

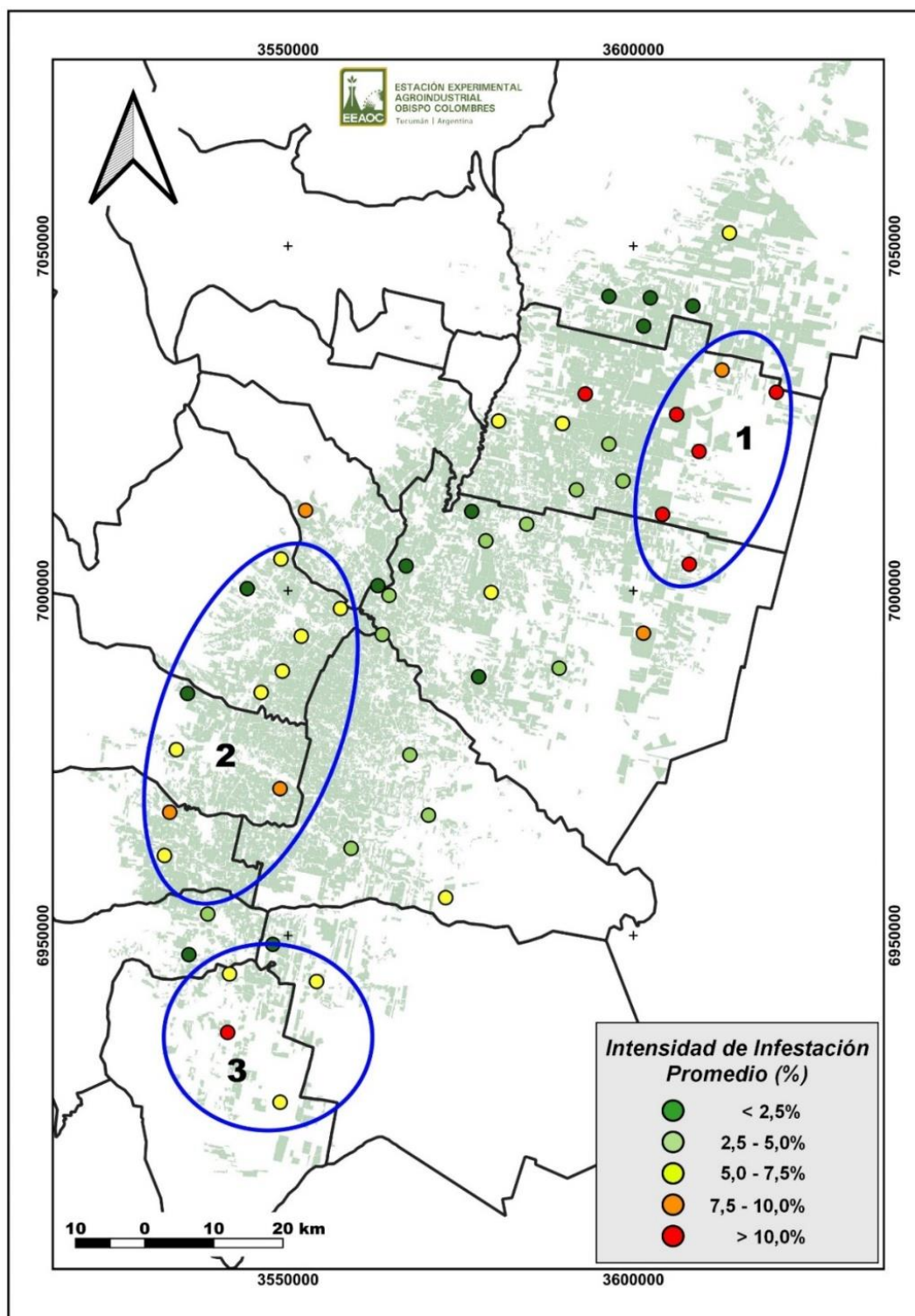


Figura 4. Intensidad de Infestación promedio de *Diatraea saccharalis* para el periodo 2016-2022. Tucumán. Argentina.

Conclusiones

La utilización de un SIG permite revelar conocimientos más profundos de los datos, como patrones, relaciones y situaciones, ayudando a los usuarios a tomar mejores decisiones.

El análisis de los mapas temáticos resultantes permitió la identificación de zonas con diferentes niveles de infestación. Se pudo detectar una concentración de las categorías naranja y roja, las de mayor infestación, en el sector oriental del departamento Cruz Alta y parte de Leales; de las categorías amarilla y naranja en los departamentos Monteros, Chicligasta y Río Chico; mientras que en el sur provincial (departamentos La Cocha y Graneros) se advirtió una prevalencia de la categoría amarilla.

La metodología empleada mostró la potencialidad de los SIG para la identificación y cuantificación de zonas con diferente comportamiento de la plaga en estudio.

Los mapas temáticos generados pueden servir de base para análisis posteriores que incluyan otras variables, como por ejemplo, cultivo antecesor, secuencias de cultivos vecinos, etc.

Bibliografía

Fandos, C.; J. Scandaliaris; P. Scandaliaris; J. I. Carreras Baldrés y F. J. Soria. Área cosechable y producción de caña de azúcar para la zafra 2023 en Tucumán. Reporte agroindustrial 278. Junio de 2023. Disponible en <https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=area-cosechable-y-produccion-de-cana-de-azucar-para-la-zafra-2023-en-tucuman>.

Pérez, M. L. del P.; C. Easdale; R. J. Iovane; P. Scandaliaris; R. Budeguer Isa; D. Rodríguez; F. Bardin; G. Gastaminza; E. Romero y F. R. Goebel. "Damage Distribution and Yield Losses Caused by the Stem Borer *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) in Northwestern Argentina. Sugar Tech 25, 610–618 (2023). <https://doi.org/10.1007/s12355-022-01213-4>.

-Willink E.; M. Costilla y V. Osorio. 1982. Hacia el control integrado de *Diatraea saccharalis*. Avance agroindustrial 2 (8): 9-13.

CARACTERIZACION ESPECTRAL DE VARIEDADES DE CAÑA DE AZUCAR EN TUCUMAN, ARGENTINA: ANÁLISIS DE BANDAS RED EDGE Y SWIR 2 DE SENTINEL 2

Scandaliaris P; Fandos C; 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

pablos@eeaoc.org.ar

Palabras clave: Teledetección, Espectro electromagnético, curva espectral

Introducción

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 en las últimas zafas imágenes de los satélites Sentinel 2A y 2B a través del sensor MSI (ESA, 2022).

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.

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.

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.

A nivel local, Scandaliaris *et. al* (2022), realizaron una caracterización espectral de las variedades LCP 85-384, TUC 95-10, TUC 03-12 y TUC 02-22 en Tucumán, analizando las bandas 4 (Red), 8 (NIR 1) y 11 (SWIR 1) del satélite Sentinel 2. Concluyeron que en la banda 8 se detectaba la mayor separabilidad entre variedades en la mayoría de las fechas analizadas. La banda 4 presentaba el mayor solapamiento entre variedades, mientras que en la banda 11 se detectó una separación de la variedad TUC 03-12 del resto, las cuales no mostraban una separabilidad detectable. Además, 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 indicaba menores valores de reflectividad que el resto de las variedades. También se observaba que en la fecha correspondiente al 17 de abril se podían 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.

Teniendo en cuenta la información del trabajo mencionado en el párrafo anterior se decidió profundizar el análisis, abarcando la región espectral denominada Red Edge cercana a la banda 8, y la banda 12 (SWIR 2), próxima a la banda 11. La región del Red-Edge corresponde a una porción del espectro electromagnético que se ubica en la transición de la banda del rojo a la banda

del infrarrojo cercano (NIR) por lo que termina ubicándose entre 680 y 750 nanómetros. En el sensor Sentinel corresponde a las bandas 5, 6 y 7.

El objetivo del presente trabajo fue complementar los estudios previos de caracterización espectral en las principales variedades de caña de azúcar en Tucumán, analizando las bandas 5, 6, 7 pertenecientes al Red Edge y 12 correspondientes a SWIR2, del satélite Sentinel 2.

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).

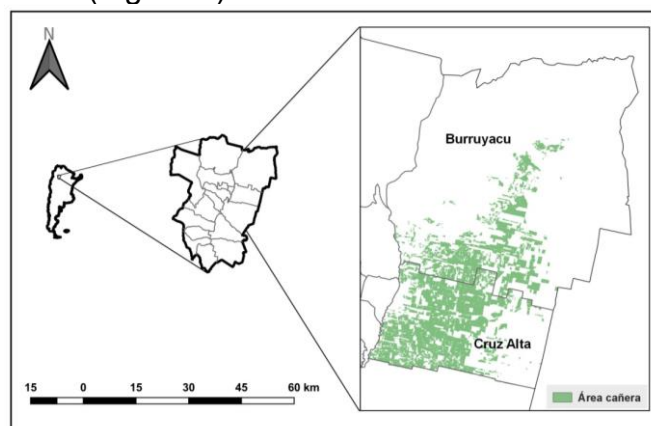


Figura 1. Situación relativa del área de estudio

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. Las fechas de adquisición de las imágenes utilizadas fueron el 16 de febrero, 28 de marzo, 17 de abril y 22 de mayo de 2022. Las imágenes fueron reproyectadas al marco de referencia Posgar 94, Datum WGS 84.

La selección de lotes de control para identificar las curvas de respuesta espectral de las diferentes variedades de caña de azúcar, se realizó conforme 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.

La selección de las bandas espectrales se debió a una continuidad del trabajo de caracterización espectral realizado por Scandaliaris *et al* (2022), incorporando las bandas 5, 6, 7 y 12.

En primer lugar, se obtuvieron los valores de firmas espectrales (niveles digitales, ND) para cada una de las variedades analizadas, las cuales a su vez estaban relacionadas con cada una de las cuatro fechas estudiadas. Posteriormente se generaron las estadísticas para cada muestra.

Seguidamente se promediaron los valores medios de ND de todas las muestras para cada variedad y se generaron las curvas espectrales. Cabe destacar que se pueden considerar los ND de la imagen 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 *et al.*, 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 los resultados obtenidos de la caracterización espectral en las bandas 5, 6 y 7 correspondientes a la región Red Edge del espectro electromagnético.

En la Figura 3 se muestran los resultados para las bandas 7 (Red Edge) y la 8 (NIR1). Se agregó la banda 8 a los fines comparativos, debido al comportamiento similar entre las bandas.

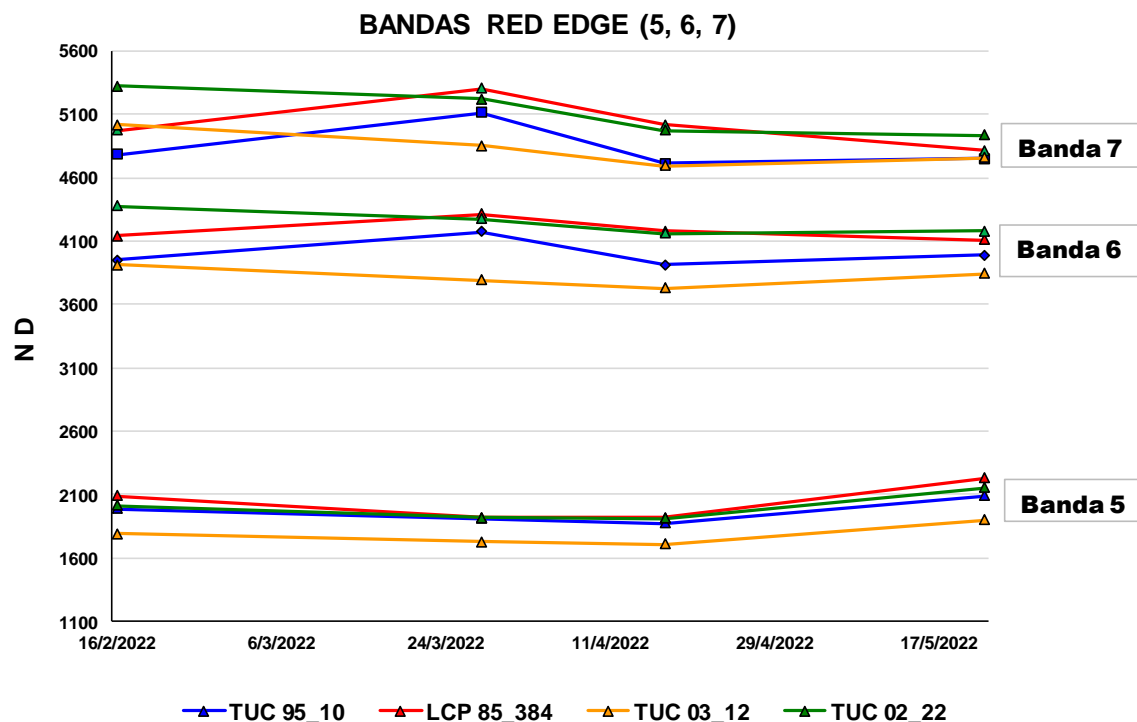


Figura 2. Promedios de ND medios en las bandas 5, 6 y 7 de imágenes Sentinel 2A, para cuatro variedades de caña de azúcar, en diferentes fechas.

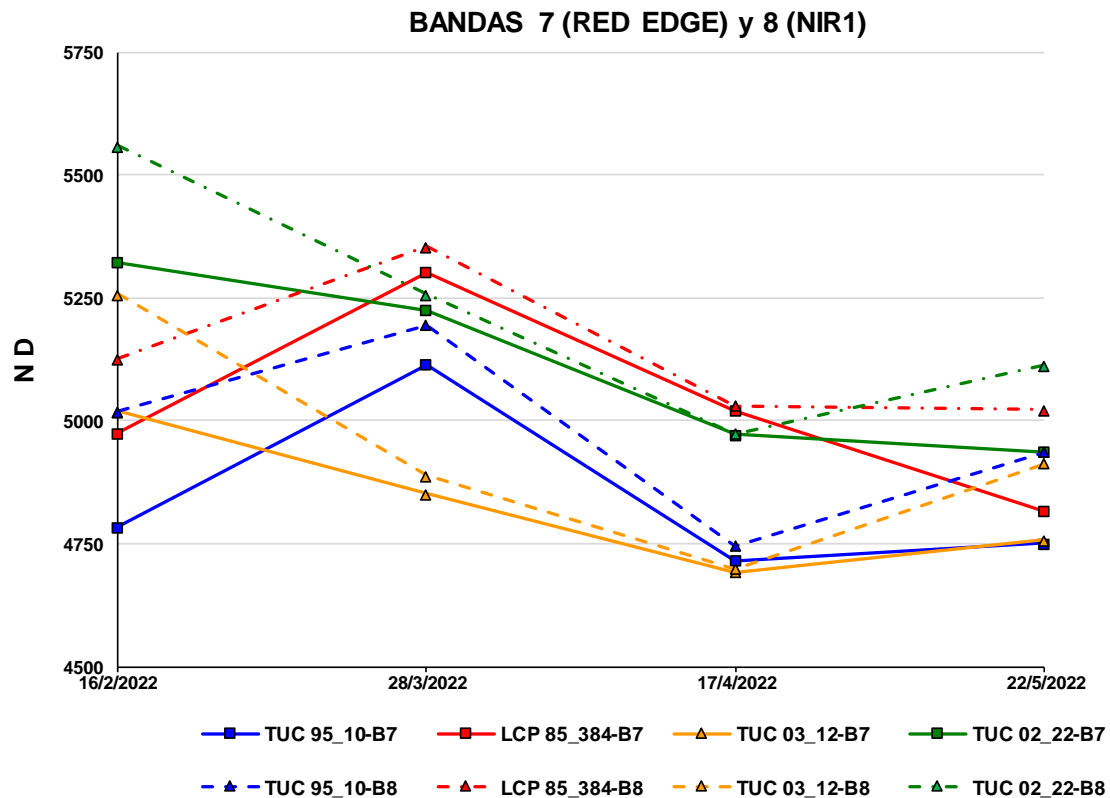


Figura 3. Promedios de ND medios en las bandas 7 y 8 de imágenes Sentinel 2A, para cuatro variedades de caña de azúcar, en diferentes fechas.

El análisis de la banda 5 muestra una separación de la variedad TUC 03-12 con respecto a las otras tres variedades, las cuales prácticamente no se diferencian. En el caso de la banda 6, se aprecia una diferenciación entre las variedades TUC 03-12 y TUC 95-10 para las fechas de marzo y abril, y a su vez estas dos mostraron diferencias espectrales con las dos restantes en el mes de abril. Al igual que en la banda 5 las variedades LCP 85-384 y TUC 02-22 no presentaron diferencias espectrales que faciliten su separación.

Con respecto a la banda 7, se observa en la fecha de marzo que la variedad TUC 03-12 se separa espectralmente de las demás, mientras que, en abril, TUC 03-12 y TUC 95-10 presentan características similares y se diferencian del grupo integrado por LCP 85-384 y TUC 02-22.

En la Figura 4, se exponen las curvas de respuestas espectrales de las diferentes variedades de caña de azúcar en las bandas 11 y 12.

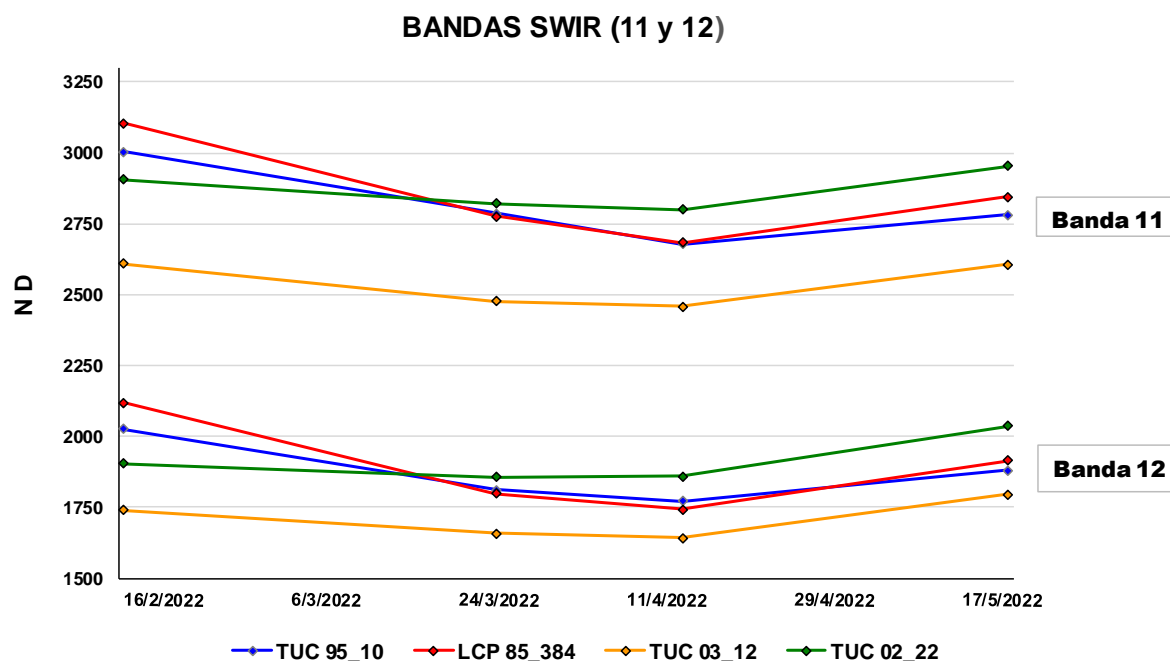


Figura 4. Promedios de ND medios en las bandas 11 y 12 de imágenes Sentinel 2A, para cuatro variedades de caña de azúcar, en diferentes fechas.

Las bandas 11 y 12, presentaron un comportamiento similar a lo largo de las fechas analizadas. Se constata una separación de la variedad TUC 03-12 de las otras tres, en todas las fechas, pero con mayor amplitud espectral en la banda 11.

Conclusiones

El análisis de las bandas pertenecientes a la región Red Edge permitió determinar un comportamiento diferencial en la banda 5. En esta banda la variedad TUC 03-12 presentó la mayor diferenciación a lo largo de las cuatro fechas analizadas.

En el caso de la banda 6, en el mes de marzo se apreció una separabilidad de la variedad TUC 03-12 de las demás, mientras que en el mes de abril se observó separación entre TUC 03-12, TUC 95-10 y las dos restantes.

La banda 7 presentó un comportamiento espectral similar al de la banda 8 pero con menor amplitud espectral.

La región del SWIR, banda 11 y 12, mostró en general una baja separabilidad entre las variedades LCP 85-384, TUC 95-10 y TUC 02-22. Por lo contrario, se detectó una separación espectral de la variedad TUC 03-12 en relación al resto de las variedades, con mayor amplitud espectral en la banda 11.

La variedad TUC 03-12 mostró los menores valores de ND en todas las fechas y en todas las bandas analizadas, lo que indica menores valores de reflectividad que el resto de las variedades.

En función de estos resultados se puede observar que para la fecha de fines de marzo la variedad TUC 03-12 se diferencia significativamente del resto de las variedades en todas las bandas estudiadas.

Finalmente, se destaca la potencialidad de las imágenes Sentinel 2 para la identificación de distintos cultivares de caña de azúcar en la provincia de

Tucumán. En investigaciones futuras se prevé el análisis para iguales bandas en diferentes edades del cañaveral.

Bibliografía citada

Aybar Guchea, M.; S. Ostengo; M. Espinosa; P. Medina; J. V. Díaz; E. R. Chavanne; D. D. Costilla y M. Cuenya. 2020. Relevamiento de la distribución de variedades de caña de azúcar en la provincia de Tucumán: 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)

Scandaliaris P.; C.Fandos; J. I. Carreras Baldrés; y F. J.Soria 2022. Aproximacion a la caracterizacion espectral de variedades de caña de azucar en la provincia de Tucuman. XXII reunión técnica SATCA 2022. Modalidad poster. 28 y 29 de noviembre.

PROYECTO GIRSAR: ESTRATEGIAS PARA REDUCIR EL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN PEQUEÑOS PRODUCTORES DE CAÑA DE AZÚCAR DE TUCUMÁN

Tonatto M. J.; Duarte D.; Leggio F.; Alonso L; Paredes, V.; Fernández de Ullivarri J.; Sanchez Ducca A.; Gutierrez D. H; Romero E.R..

Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, William Cross 3150, Tucumán, Argentina.
jtonatto@eeaoc.org.ar

Palabras clave: sustentabilidad, caña verde, manejo de malezas, bioproductos, extension.

Introducción

Las discusiones respecto al cuidado del medio ambiente han ocupado un lugar de gran relevancia desde la década del 60. En los años siguientes se define al desarrollo sustentable como un modelo que busca asegurar que se satisfagan las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias (WCED, 1987). Además, establece que no es posible asumir que todos los ecosistemas puedan preservarse y mantenerse intactos en todas partes.

Actualmente, los esfuerzos a nivel global están centrados en el cumplimiento de una Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible planteado por la Organización de las Naciones Unidas, con 17 objetivos de diversas temáticas. Uno de ellos es el de realizar acciones por el clima donde se concentra la lucha contra el cambio climático.

Sabemos que la producción agrícola y la industrialización de cultivos traen aparejados impactos ambientales, sociales y económicos en toda la cadena de valor. Por lo tanto, la Sección Caña de Azúcar desarrolla estudios fundamentales al definir diferentes sistemas de producción del cultivo, analizando la productividad y sustentabilidad de estos esquemas de producción.

A nivel local, se destacan situaciones que deben ser abordadas para poder realizar aportes significativos al medio productivo:

- La fertilización nitrogenada que genera pérdidas de N por volatilización y lixiviación.
- El estrés hídrico primaveral que restringe el crecimiento y desarrollo, afectando la producción final de caña y azúcar.
- El cambio climático que se manifiesta por la ocurrencia de temperaturas extremas, prolongados períodos de sequía, lluvias intensas e inundaciones.
- La agricultura que contribuye significativamente con emisiones de gases de efecto invernadero a través de las labores e insumos empleados.

En el marco del Programa para Incrementar la Competitividad del Sector Azucarero del NOA (PROICSA 2013-2017), se intensificó la transferencia tecnológica con una gran participación de miembros de las cooperativas involucradas. Se realizaron estudios de suelo, entregas de caña semilla de alta calidad de las variedades TUC, se generaron instancias de capacitación y vinculación (jornadas, talleres, etc.) y el

acompañamiento permanente de técnicos asesorando en aspectos relacionados al manejo del cultivo.

Basándose en este exitoso antecedente, la Sección Caña de Azúcar participa actualmente del Programa de Gestión Integral de los Riesgos en el Sistema Agroindustrial Rural (GIRSAR), que gestiona los riesgos de la agroindustria rural, adoptando acciones de mitigación, transferencia de riesgos y respuestas a emergencias. El proyecto en desarrollo se denomina “Estrategias para reducir el impacto del cambio climático en pequeños productores de caña de azúcar de la provincia de Tucumán”. El mismo involucra a las Cooperativas Trabajadores Unidos de Trabajo Agropecuario Ltda (Campo de Herrera) y Los Nacientes Ltda (Atahona), totalizando 279 productores como beneficiarios.

Objetivos

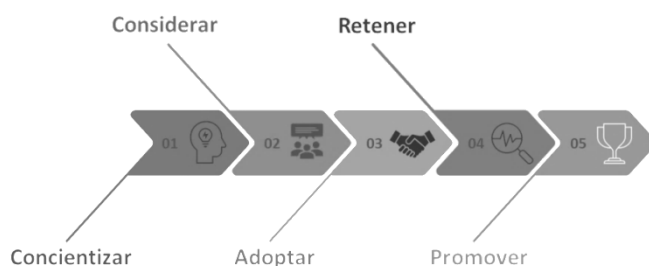
Este proyecto pretende otorgar, a pequeños productores cañeros de Tucumán, las herramientas necesarias para introducirlos en el manejo sostenible del cultivo de caña de azúcar, utilizando productos y prácticas agronómicas de menor impacto ambiental. Además, será factible incrementar o mantener los niveles productivos y de rentabilidad dentro de un contexto de cambio climático evidente. Este desafío también permitirá afrontar condiciones adversas a las que, a menudo, se enfrenta el cultivo y reconocer labores factibles de ser optimizadas, en consonancia con la agricultura climáticamente inteligente

Metodología

La tecnología a transferir busca introducir a los productores en el uso de herramientas y prácticas agrícolas que contribuyen a un manejo sustentable del cañaveral. Las mismas se refieren al mantenimiento en el campo del residuo agrícola de cosecha (RAC), a los criterios para el mejor manejo de malezas y al uso de bioproductos para disminuir los impactos ambientales de la producción agrícola.

Este último punto incluyó el uso de biofertilizantes como complemento a la fertilización tradicional, logrando una disminución del empleo de fuentes sintéticas o su reemplazo total; y el uso de bioestimulantes (sustancias capaces de mejorar procesos metabólicos), para promover la recuperación del cultivo frente a condiciones de estrés hídrico.

Como metodología de trabajo se plantea reemplazar el modelo tradicional o *Modelo de Difusión de Información y Tecnología* por el modelo propuesto actualmente,



por un *Modelo Participativo* (Figura 1). Este tiene como objetivo la innovación y se nutre además de información, conocimiento y habilidades de los mismos agricultores, quienes lo transmiten a los otros agricultores. En este modelo, el agricultor es un actor fundamental de esta transferencia, alcanzando una mayor apropiación del conocimiento y estrategias que el grupo considera importante para ese territorio (Ortiz, 2022).

Figura 1: Etapas en el proceso de aprendizaje y difusión.

En función de su alcance, los métodos empleados podrán ser grupales y masivos con una serie de técnicas o rutinas orientadas. En el caso de los grupales se realizan visitas, reuniones, talleres, demostraciones y jornadas prácticas; mientras que en los masivos se desarrollan charlas técnicas, días de campo y publicaciones en medios masivos de comunicación (Catullo, 2020).

Se estableció un cronograma de actividades a realizar para coordinar líneas temáticas con las operaciones realizadas habitualmente en el manejo agronómico del cultivo:

- Durante los meses de abril, mayo y junio se seleccionaron lotes de productores o cooperativas para realizar las prácticas demostrativas de las diferentes tecnologías. Para este fin se llevaron a cabo reuniones con los destinatarios y se analizaron las situaciones particulares. Se iniciaron ciclos de capacitaciones y transferencia de tecnología en las siguientes temáticas: cosecha en verde del cañaveral, eliminación de la quema, alternativas de manejo del RAC, ventajas y desventajas, adaptación del sistema productivo tradicional al manejo con cobertura de RAC.
- A partir del mes de julio, y en adelante, se capacitaron y se realizaron prácticas (en lotes demostrativos) sobre los criterios para el mejor manejo de malezas, uso de nuevos herbicidas de bajo impacto ambiental, uso responsable de agroquímicos y empleo de prácticas agronómicas que facilitan el manejo de malezas (cobertura con RAC sobre la diversidad y población de malezas).
- Luego, en octubre, noviembre y diciembre, se abordaron capacitaciones que incluyeron los criterios a tener en cuenta para el manejo de la fertilización y el uso de biofertilizantes y el uso de bioactivadores como recuperadores de situación de estrés abiótico.
- A partir de enero se realizaron las estimaciones de producción y rendimiento en los lotes demostrativos. Además, se capacitaron en el uso de herramientas web y el aprovechamiento de los servicios disponibles en línea. Finalmente, se realizó un taller integrador sobre los principales contenidos del proyecto.

Respecto de los fondos otorgados para la ejecución del proyecto, se logró la adquisición de equipamiento informático para producción de material didáctico, capacitaciones y gestión. Una parte se destinó a la adquisición de herramientas manuales para el adecuado mantenimiento de los lotes demostrativos y equipos de aplicación para herbicidas y bioproductos. Además, se entregaron fertilizantes sintéticos, biofertilizantes y bioproductos para el establecimiento de lotes demostrativos y prácticas en campo.

Resultados

En función de la fecha de inicio formal del proyecto (agosto 2023), existió una demora en el cronograma establecido lo que obligó a una reorganización de las actividades pero sin afectar el cumplimiento de los objetivos o metas (Figura 2).

Resumen de Actividades – Proyecto GIRSAR



Figura 2: Resumen del tipo de actividades y cantidades realizadas en el periodo agosto de 2023 a junio de 2024.

Entre las actividades realizadas se destaca el desarrollo de jornadas técnicas con una importante asistencia de miembros de las cooperativas (28 a 36 asistentes). Además se desarrolló un día de campo para recorrer lotes demostrativos de prácticas de fertilización en complemento con el uso de bioproductos, discusión de los resultados obtenidos y obtención de conclusiones en base a información económica de estas prácticas (Figura 3).

Finalmente se destaca la realización de una jornada técnica con exposiciones relacionadas a criterios para una plantación eficiente, pérdidas de materia prima en cosecha y análisis económico del cultivo de caña de azúcar con la participación de más de 120 productores de la zona y miembros de las cooperativas involucradas (Figura 4).



Figura 3: Recorrido del lote demostrativo y explicación de las alternativas de fertilización ensayadas, Coop. Agropecuaria los Nacientes LTDA (Atahona).



Figura 4: Jornada técnica de caña de azúcar en Coop. de Trabajadores Unidos de Trabajo Agropecuario LTDA. (Campo de Herrera).

Conclusiones

Existieron numerosos desafíos relacionados a la gestión del proyecto, entre los que se destacan: procesos administrativos diferentes a los propios de la institución, cambios de autoridades y disminución del equipo técnico en organismos nacionales. Si bien ocasionaron demoras y dificultades en las etapas a cumplir, los mismos no impidieron el cumplimiento de gran parte de los objetivos planteados inicialmente. En base a las prácticas realizadas y resultados obtenidos se espera reemplazar parcialmente los fertilizantes sintéticos, aumentar el uso de bioproductos y reducir el uso de herbicidas. En base a testimonios de productores que participaron activamente de estas actividades, se espera un efecto multiplicador de la transferencia entre los propios productores en ambas zonas.

El presente proyecto se desarrolla gracias al aporte financiero del Programa de Gestión Integral de los Riesgos en el Sistema Agroindustrial Rural – Préstamo BIRF 8867.

Bibliografía

CATULLO, J. C. (2020). Una aproximación a la extensión rural. Aspectos teóricos metodológicos y empíricos para el estudio de los territorios, p. 67-102 (2020). Ed. Unidad Integrada para la Innovación del Sistema Agroalimentario de la Patagonia Norte (ISBN 978-987-86-3316-9).

ORTÍZ, B. (2022). La extensión agrícola debe girar al modelo participativo. Título del artículo [Boletín de prensa. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Recuperado de: <https://iica.int/es/prensa/noticias/la-extension-agricola-debe-girar-al-modelo-participativo#> [07/02/2024].

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT - WCED. (1987). Our common future.
The Brundtland Report. Oxford University Press, Oxford.

SELECTIVIDAD DEL HERBICIDA TOLPYRALATE EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR.

Vargas, P. D. ¹; Sánchez Ducca, A. ^{1y2}; Barceló, M. F. ¹; Sabaté, S. ¹; Romero E. R. ^{1y2}

¹ Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) Tucumán-Argentina. ² Facultad de Agronomía y Zootecnia – UNT. pdvargas@eeaoc.org.ar

Palabras claves: malezas, fitotoxicidad, control químico, HPPD

Introducción

Para el manejo de malezas en los cañaverales de la provincia de Tucumán, se recomienda una combinación de estrategias mecánicas, culturales y químicas. Entre estas, el uso de herbicidas es la herramienta más comúnmente empleada por los productores de caña de azúcar para enfrentar esta problemática. Sin embargo, la selectividad de un herbicida hacia el cultivo es fundamental y a menudo tan importante como su eficacia contra las malezas.

Los estudios de selectividad de herbicidas en el cultivo de la caña de azúcar generalmente se realizan en conjunto con ensayos de eficacia agronómica sobre malezas, observando los síntomas de daño visual en el cultivo. Algunos herbicidas pueden reducir la producción de tallos de caña sin mostrar efectos visualmente detectables, mientras que otros provocan lesiones más graves pero permiten que el cultivo manifieste plenamente su potencial productivo (Negrisoli et al., 2004). Por lo tanto, es evidente que la evaluación no puede basarse únicamente en los síntomas visuales de intoxicación, sino que también debe considerar los efectos visibles e imperceptibles de estos síntomas en el crecimiento y la productividad del cultivo (Velini et al., 2000).

En este contexto, el tolpyralate se presenta como un nuevo herbicida, con una excelente eficacia para el control de malezas en el cultivo de caña de azúcar en Tucumán. Este herbicida actúa inhibiendo la enzima 4-hidroxifenilpiruvato dioxigenasa (4-HPPD), afectando la síntesis de carotenoides (Grupo 27, HRAC, 2024). La recomendación de uso de este tipo de herbicidas generalmente se asocia a la mezcla con inhibidores del fotosistema II (FSII), debido a que la eficacia de los inhibidores de HPPD se incrementa con bajas dosis de FSII como la atrazina (Sánchez Ducca et al., 2017). A pesar de su potencial, es importante destacar que este herbicida está en proceso de registro para el cultivo de caña de azúcar, por lo que aún no se dispone de información completa sobre su efecto tóxico en la caña de azúcar.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la selectividad del herbicida tolpyralate y su impacto en el rendimiento del cultivo de la caña de azúcar, en aplicaciones postemergentes de los dos cultivares con mayor superficie implantada en Tucumán: LCP 85-384 y TUC 95-10.

Materiales y métodos

Se realizaron seis ensayos de selectividad en total, en cada uno de los años 2020, 2021 y 2022, se aplicó un ensayo en cada cultivar evaluado. Las experiencias se realizaron en lotes comerciales implantados con los dos cultivares más empleados en Tucumán, LCP 85-384 y TUC 95-10, representan el 79,6 % de la superficie cañera de la provincia, con participaciones del 62,5 % y 17,1 %, respectivamente (Henríquez et al., 2023). todos en la edad de caña planta, en las localidades de El Chañar (Burruyacú) y San Andrés (Cruz Alta).

Los tratamientos evaluados se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Tratamientos evaluados y dosis en producto comercial (P.C.) e ingrediente activo (i.a.) en litros o kilos por hectáreas según corresponda. Todos los tratamientos fueron combinados con aceite metilado de soja (76% i.a.) 0,5 v/v.

Tratamiento	Herbicida	Dosis P.C.(l o kg ha ⁻¹)	Dosis i. a.(l o kg ha ⁻¹)
T1	testigo sin herbicida	-	-
T2	tolpyralate SC (40%)	0,125	0,050
T3	tolpyralate SC (40%)	0,250	0,100
T4	tolpyralate SC (40%)	0,125	0,050
	atrazina (90%)	1	0,9
T5	tolpyralate SC (40%)	0,250	0,100
	atrazina (90%)	2	1,8

El diseño experimental de cada ensayo en microparcels fue de bloques al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue una parcela de 38,4 m² (4,8 m de ancho por 8 m de largo, con dos surcos aplicados y un surco de bordura a la derecha). Se realizó una aplicación total, utilizándose una mochila experimental de dióxido de carbono (CO₂) con una barra de seis boquillas de abanico plano XR11002, distanciadas a 50 cm. Los ensayos se realizaron en lotes que poseían ambos cultivares, todos se aplicaron en la fenofase de macollaje; las fechas de aplicación, volúmenes de aplicación, localidad de los ensayos fue la misma para ambos cultivares en cada uno de los años de ensayo (Tabla 2).

Tabla 2. Características de aplicación de cada uno de los años de ensayo.

Año	Ensayos	Fecha de aplicación	Vol. de aplicación	Ubicación Localidad/ dpto.	Altura aplicación(hoja +1)	Evaluaciones (DDA)
2020	E1 y E2	20/11/20	115 l/ha	El Cañar/Burruyacú.	LCP 85-384: 15cm TUC 95-10: 20cm	5, 12, 21 y 38
2021	E3 y E4	27/12/21	110 l/ha	San Andrés/ Cruz Alta	LCP 85-384: 24cm TUC 95-10: 28cm	11, 17, 25, 39
2022	E4 y E5	15/11/22	145 l/ha	San Andrés/ Cruz Alta	LCP 85-384: 9cm TUC 95-10: 13cm	8, 15, 28 y 50

En cada uno de los ensayos se evaluaron los siguientes parámetros:

- Toxicidad visual: se valoró periódicamente a diferentes días después de la aplicación (DDA) según año del ensayo (Tabla 2). Para ello se utilizó una escala visual sugerida por la Asociación Latinoamericana de Malezas (ALAM, 1974), tomando como aceptable toxicidades inferiores al 15% (Tabla 3).
- Número de tallos molibles por metro, mediante conteo de 10 m lineales de surco por parcela (5 m por cada surco aplicado).
- Peso de tallos molibles, mediante la extracción y pesado una muestras de 10 tallos por parcela.
- Altura promedio de tallos.
- Estimación de rendimiento a partir del número de tallos y el peso de los mismos.

El tratamiento sin herbicida (T1) no fue analizado estadísticamente, ya que los valores de efecto herbicida (EH) fueron 0 (sin variación).

Resultados

Como las características de los ensayos no son comparables se expondrán los resultados haciendo un breve resumen de lo observado para cada cultivar en cada año de ensayo.

TUC 95-10: El herbicida tolpyralate aplicado de forma individual presentó síntomas tóxicos solo en el año 2021, a una dosis de 0,125 l/ha (T2) a los 17 DDA (0,25%). Con una dosis de 0,250 l/ha (T3), se observaron síntomas a los 11 DDA (0,75%), 17 DDA (1,5%) y 25 DDA (1%). La combinación de tolpyralate (0,125 l/ha) más atrazina (1 kg/ha) (T4) mostró síntomas tóxicos solo en 2021 a los 17 DDA (0,5%). Al duplicar las dosis en la mezcla de tolpyralate (0,250 l/ha) más atrazina (2 kg/ha) (T5), en 2020 se produjeron síntomas a los 12 DDA (1,25%), mientras que en 2021 se observaron síntomas a los 11 DDA (1,75%), 17 DDA (2%) y 25 DDA (1,25%). En 2022, no se observaron síntomas de toxicidad en ninguno de los tratamientos estudiados para este cultivar en ninguna de las evaluaciones. (Tabla 3)

Tabla 3. Resultados observados en las evaluaciones visuales en TUC 95-10 en los años 2022, 2021 y 2022, en las localidades de Burruyacú y Cruz Alta. Tucumán. Argentina

Tra t.	2020				2021				2022			
	5 DDA	12 DDA	21 DDA	38 DDA	11 DDA	17 DDA	25 DDA	39 DDA	8 DDA	15 DDA	28 DDA	50 DDA

T1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T2	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0
T3	0	0	0	0	0,75	1,5	1	0	0	0	0	0
T4	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0
T5	0	1,25	0	0	1,75	2	1,25	0	0	0	0	0

LCP 85-384: El herbicida tolpyralate aplicado de forma individual, presentó síntomas tóxicos solo en el año 2021, a la dosis de 0,125 l/ha (T2) a los 17 DDA (0,25%). Al aumentar la dosis del mismo a 0,250 l/ha (T3) se observó síntomas en 2020 a los 21 DDA (1,5 %), y en 2021 a los 11 DDA (3,25 %), 17 DDA (2,5 %) y 25 DDA (2%). La combinación de tolpyralate (0,125 l/ha) más atrazina (1 kg/ha) (T4) manifestó síntomas tóxicos solo en 2021, a los 11 DDA (1 %) y 17 DDA (1 %). Al duplicar las dosis en la mezcla de tolpyralate (0,250 l/ha) más atrazina (2 kg/ha) (T5) en el año 2020 produjo síntomas en 2020 a los 21 DDA (1,75%) y 38 DDA (0,75 %), en 2021 a los 11 DDA (3,25 %), 17 DDA (2,75 %) y 25 DDA (2,25 %), y en 2022 a los 12 DDA (1,25 %) y 21 DDA (1 %). Cabe aclarar que todos los síntomas antemencionados son clasificados como daño ligero. (Tabla 4)

Tabla 4. Resultados observados en las evaluaciones visuales en LCP 85-384 en los años 2020, 2021 y 2022, en las localidades de Burruyacú y Cruz Alta. Tucumán. Argentina

Tra t.	2020				2021				2022			
	5 DDA	12 DDA	21 DDA	38 DDA	11 DDA	17 DDA	25 DDA	39 DDA	8 DDA	15 DDA	28 DDA	50 DDA
T1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T2	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0
T3	0	0	1,5	0	3,25	2,5	2	0	0	0	0	0
T4	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
T5	0	0	1,75	0,75	3,25	2,75	2,25	0	0	1,25	1	0

Con respecto a las evaluaciones de cosecha en todos los ensayos realizados para ambas variedades ninguno de los parámetros estudiados fueron afectados de forma significativa según la prueba F (Tablas 5 y 6).

Tabla 5. Resultados de la evaluación a cosecha en TUC 95-10 cada año de ensayo.

Trat.	ENSAYO 2020				ENSAYO 2021				ENSAYO 2022			
	Pobla ción	Peso de tallo	Altur a	Rendi miento	Pobla ción	Peso de tallo	Altur a	Rendi miento	Pobla ción	Peso de tallo	Altur a	Rendi miento
	(Tallo s/m)	(kg/tall o)	(cm)	(t/ha)	(Tallo s/m)	(kg/tall o)	(cm)	(t/ha)	(Tallo s/m)	(kg/tall o)	(cm)	(t/ha)
T1	18	1,03	245	111	15	0,77	176	72	16	0,72	172	75
T2	17	1,11	247	117	15	0,77	178	75	16	0,72	175	77

T3	19	1,1	245	126	15	0,78	179	75	16	0,76	185	79
T4	18	1,01	234	112	14	0,81	176	75	16	0,81	194	84
T5	19	1,09	253	130	14	0,82	185	75	17	0,79	183	84
F (trat)	1,89 NS	0,49 NS	1,34 NS	0,92 NS	0,85 NS	0,34 NS	0,41 NS	0,13 NS	0,2 NS	0,3 NS	0,37 NS	0,15 NS
P-valor	0,16	0,74	0,90	0,29	0,51	0,84	0,79	0,96	0,93	0,87	0,82	0,95
CV (%)	6,39	12,42	4,91	14,63	3,85	10,37	7,18	11,65	12,38	19,33	16,24	27,65

Tabla 6. Resultados de la evaluación a cosecha en LCP- 85-384 cada año de ensayo.

Trat.	ENSAYO 2020				ENSAYO 2021				ENSAYO 2022			
	Población	Peso de tallo	Altura	Rendimiento	Población	Peso de tallo	Altura	Rendimiento	Población	Peso de tallo	Altura	Rendimiento
	(Tallo s/m)	(kg/tallo)	(cm)	(t/ha)	(Tallo s/m)	(kg/tallo)	(cm)	(t/ha)	(Tallo s/m)	(kg/tallo)	(cm)	(t/ha)
T1	23	0,79	212	111	18	0,72	177	82	22	0,73	197	101
T2	22	0,87	215	114	17	0,72	181	78	22	0,72	197	99
T3	23	0,82	215	117	18	0,66	171	76	21	0,71	191	93
T4	23	0,83	208	117	18	0,72	173	82	22	0,7	208	96
T5	22	0,81	210	106	18	0,68	172	82	22	0,76	191	104
F (trat)	0,8 NS	0,55 NS	0,31 NS	0,35 NS	0,72 NS	1,14 NS	0,59 NS	0,27 NS	0,15 NS	0,76 NS	0,59 NS	0,29 NS
P-valor	0,54	0,70	0,86	0,83	0,59	0,37	0,67	0,89	0,96	0,56	0,74	0,87
CV (%)	8,44	9,92	5,58	14,11	10,27	7,63	6,44	13,95	14,78	7,04	9,36	17,54

Conclusiones

Los resultados obtenidos en las experiencias de campo revelan que, para ambos cultivares estudiados, el herbicida tolpyralate, aplicado solo (tratamientos T2 y T3) o en combinación con atrazina (tratamientos T4 y T5) a la dosis comercial de 0,125 l/ha y al doble de esta dosis, mostró un bajo nivel de toxicidad visual. La toxicidad observada se limitó a un cambio leve en el tono de verde de las plantas, clasificándose como ligero, y no tuvo impacto en ningún parámetro de rendimiento a cosecha.

Estos hallazgos sugieren que el tolpyralate, tanto en aplicación individual como en combinación con atrazina, es seguro para los cultivares evaluados en las dosis probadas, sin comprometer su rendimiento. Esto posiciona al tolpyralate como un herbicida selectivo y eficaz para el control de malezas en el cultivo de caña de azúcar.

No obstante, es necesario llevar a cabo investigaciones adicionales para evaluar su eficacia en otros cultivares de caña de azúcar y para ajustar dosis y mezclas, con el objetivo de optimizar su uso en diversas condiciones de cultivo. Estas investigaciones futuras permitirán maximizar la efectividad del tolpyralate, garantizando la seguridad y el rendimiento del cultivo sin comprometer la sostenibilidad del sistema agrícola.

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. P. 6-12.

Henríquez, D. D.; Medina, P.; Aybar Guchea, M.; Figueroa, M. F.; Costilla, D. D.; Díaz J. V.; Díaz Romero, C. y Ostengo, S. 2009. Relevamiento de la distribución varietal y del uso de otras tecnologías en el cultivo de caña de azúcar en la provincia de Tucumán: campaña 2022/2023. Reporte Agroindustrial 282. EEAOC. Disponible en: <https://www.eeaoc.gob.ar/wp-content/uploads/2023/08/RA-282.pdf>

Negrisolí, E.; Velini, E.D.; Tofoli, G.R.; Cavenaghi, A.L.; Martins, D.; Morelli, J.L.; Costa, A.G.F. 2004. Seletividade de herbicidas aplicados em pré-emergência na cultura de cana-de-açúcar tratada com nematocidas. Planta Daninha, Viçosa, v.22, n.4, p.567-575. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582004000400011>

Sánchez Ducca, A; Vargas, P D.; Romero, E. R.; Sabaté, S. y Olea, I. 2017. Topramezone: nuevo herbicida para el manejo post-emergente de *Cynodon dactylon* y *Sicyos polyacanthus* en caña de azúcar.. XXIII Congreso latinoamericano y III Iberoamericano de las malezas- ALAM. Cuba.

Velini, E.D.; Martins, D.; Manoel, L.A.; Matsuoka, S.; Trivain, J.C.; Carvalho, J.C. 2000. Avaliação da seletividade da mistura de oxyfluorfen e ametryne, aplicada em pré ou pós-emergência, a dez variedades de cana-de-açúcar (cana-planta). Planta Daninha, Viçosa, v.18, n.1, p.123-134. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582000000100012>

XXIII Reunión Nacional de Técnicos de la caña de azúcar.

TRABAJOS

ÁREA INDUSTRIAL



RELEVAMIENTO Y MEJORAS DE LOS PROCESOS INVOLUCRADOS EN LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL DEL INGENIO LA CORONA (TUCUMÁN)

Aráoz García, M.C.¹ y R.M. Ruiz²

¹Ingenio La Corona - Concepción, Tucumán, CP (4146); ²Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres – Avenida Williams Cross 3150, Las Talitas, Tucumán, Cp. (4101).

Email: celesteag.-@hotmail.com

Palabras claves: industria sucroalcoholera – energías renovables -acciones de mejora – bioetanol.

INTRODUCCIÓN

En el proceso de fabricación del azúcar se presentan usualmente pérdidas de materia primas que representan un considerable daño financiero para un ingenio azucarero. Debido a esto es fundamental conocer y medir las pérdidas y dónde se producen para poder mejorar la eficiencia de la planta. Generalmente, las pérdidas en el sector azucarero se clasifican en: determinadas e indeterminadas. Las pérdidas determinadas son aquellas que se pueden controlar, cuantificar y calificar, son originadas por el bagazo, la cachaza y la miel final. Dentro de las pérdidas indeterminadas, tienen lugar las pérdidas químicas, ya sea por inversión o descomposición de la sacarosa, o más generalmente, una combinación de las dos. Estas pérdidas indeterminadas, representan pérdidas reales que ocurren durante el proceso, las cuales no se pueden relacionar directamente con un área específica y pueden reflejar errores en pesos, análisis o inversiones (Aráoz García y Ruiz, 2020; Canseco Grellet y colab., 2022).

También existen las llamadas pérdidas aparentes, las cuales son no reales pero representan un aspecto importante en el informe de las pérdidas de una fábrica y son causadas por algún error en los pesos de caña, el jugo, el azúcar o se deben a errores de análisis o estimaciones incorrectas en la determinación de las existencias. Estas pérdidas son reducibles a un mínimo mediante la cuidadosa supervisión de los pesos, pruebas y métodos. Sin embargo, estas pérdidas aparentes al operar en forma contraria, encubren pérdidas verdaderas y hacen que las cifras de la fábrica aparezcan mejor de lo que realmente son. Un ejemplo de ello sería que los errores de muestreo, pesaje o análisis del jugo mixto tiendan a mostrar menos jugo o menos azúcar en este (Canseco y colab., 2016; Saska, 2021).

El primer tipo de pérdidas dan lugar a las pérdidas totales, que son la suma de cada una de las pérdidas generadas en las estaciones fabriles e involucran pérdidas por sacarosa en bagazo, cachaza, miel final, provenientes de pérdidas mecánicas (determinadas), y aquellas provenientes de pérdidas por descomposición, las cuales se generan por acción de ácidos o sales ácidas que convierten la sacarosa en una mezcla de glucosa y fructosa llamada azúcar invertido (Aráoz García y Ruiz, 2020).

El objetivo del trabajo fue realizar el relevamiento de los puntos considerados críticos en relación a las pérdidas de sacarosa, desde el sector de trapiche hasta la destilería, principalmente en el proceso fermentativo, del ingenio La Corona.

MATERIALES Y METODOS

El presente estudio se realizó en el Ingenio La Corona (Tucumán). Se llevó a cabo un relevamiento de las condiciones iniciales en las que se encontraba la fábrica en el período de reparación antes del inicio de una zafra.

Se comenzó el estudio desde el sector del trapiche, ya que su eficiencia de extracción de azúcar de la materia prima y la detección de los principales puntos de contaminación bacteriana, son factores influyentes que pueden afectar a la eficiencia general. Dicho relevamiento se extendió hasta el proceso de destilación, prestando principal atención al proceso fermentativo, específicamente a la infraestructura utilizada

y a los controles que se realizan, ya que este se considera también uno de los puntos principales de pérdidas de eficiencia si no se ejecuta en forma adecuada.

Para realizar el relevamiento de datos y observaciones de procesos se llevaron a cabo tres acciones:

- 1- Formación de recursos humanos: capacitación en cursos específicos y realización de una carrera de posgrado en el área de los biocombustibles.
- 2- Contratación de asesores externos nacionales e internacionales con experiencia en la producción de bioetanol.
- 3- Se analizaron los partes de producción de balances diarios, de los que se extraen los datos promedios de zafras, para analizar mejoras obtenidas:
 - a. Consumo de gas: medición extraída de caudalímetro diariamente durante la etapa de producción.
 - b. Análisis de brix, pol y pureza de los productos azucarados de alimentación de cubas en el proceso fermentativo, empleando metodología oficial.
 - c. Viabilidad, temperatura y grado alcohólico en cubas de fermentación como parte del seguimiento de las mismas.
 - d. Grado alcohólico, conductividad y acidez de alcohol para control de la calidad del producto obtenido.
 - e. Relación de consumo de productos en destilería, en relación a la producción de alcohol total en cada campaña.

Los datos relevados fueron discutidos entre un grupo interdisciplinarios formados por personal del ingenio como también de organismos educativos, científicos y tecnológicos, que permitieron realizar acciones para la mejora de la eficiencia del proceso de obtención de bioetanol en el ingenio La Corona.

RESULTADOS

En un recorrido por la planta, lo primero que se detectó es la presencia de numerosos sectores con puntos muertos. Éstos son puntos en tuberías o cañerías que no permiten un flujo continuo de los productos azucarados y por lo tanto, al quedar dicho producto estancado, es un lugar óptimo para el desarrollo de bacterias, debido a la presencia de nutrientes y la temperatura a la que se exponen dichas corrientes, transformándose en un punto con riesgo de contaminación (Figura 1).

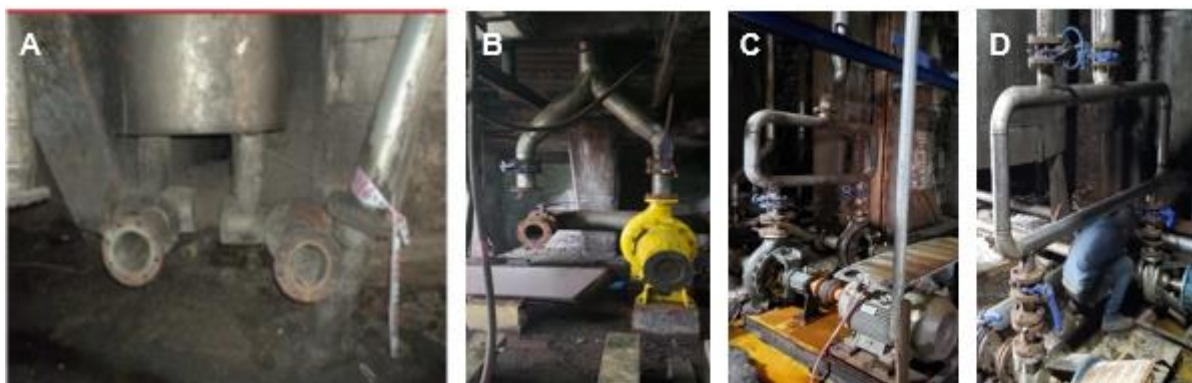


Figura 1. Puntos muertos ubicados en diferentes etapas de producción del ingenio. **A y B:** sector de trapiche; **C y D:** sector de fermentación.

Estudios realizados por otros autores demostraron que durante las primeras 6 horas de crecimiento de dichas bacterias a 30°C, se consumió sacarosa a razón de 8,46 g/L/h, por lo que existe una relación inversa entre el aumento de los niveles de recuento bacteriano y disminución del rendimiento de producción de etanol. (Cuddihy y colab., 2001; Kouzi y colab., 2024).

Ante la evidente importancia de reducir los puntos muertos, y al estar aún en proceso de reparación al realizar el relevamiento, muchos de estos fueron corregidos

para la siguiente zafra, y se inició un plan de trabajo para que en cada reparación puedan ir disminuyendo los mismos, tanto en la fábrica de azúcar como en la de fermentación-destilación.

También se observó que, a pesar del control antibacteriano en trapiche, existía contaminación en otras zonas de la fábrica, como ser el sector de ingreso del jugo pesado, antes del proceso de sulfitación. Si bien el proceso de encalado-sulfitado actúa como bactericida, la sulfitación era baja debido a que parte del jugo que ingresaba desde los molinos se derivaba al proceso de fermentación. Al mantener estas condiciones, se observó menor rendimiento productivo de azúcar y, además, presencia de “huevos de rana” (jerga en la industria azucarera para el biofilm producido por *Leuconostoc mesenteroides*) en los mostos de alimentación que se utilizaban para alimentar las cubas de fermentación, como también en los mostos fermentados.

Para disminuir el nivel de bacterias en el proceso, se mejoró el control con el empleo de bactericidas en el trapiche. En la destilería se implementó la limpieza de cañerías con vapor de agua cada 8 horas y la limpieza de cubas de fermentación una vez finalizado el proceso de centrifugación con el que cuenta la destilería, para evitar que queden residuos de levaduras (precipitaciones que pueden contener bacterias infectantes). Estas acciones se vieron reflejadas en la disminución de solicitud de asesoramiento a instituciones nacionales y extranjeras, de la compra de antibióticos y de ácido sulfúrico.

Otro aspecto que se tuvo en cuenta, en referencia a la planta en general, fue el planteo de un mejor control analítico relacionado con las materias primas que se utilizan en el proceso de fermentación. Estos controles son fundamentales para una determinación más certera de la eficiencia, la cual depende directamente de la cantidad de azúcares que ingresan al proceso fermentativo. Las acciones que se tuvieron en cuenta fueron:

- la implementación de la determinación de los azúcares reductores totales (ART) en los distintos productos del proceso para poder realizar el balance de los azúcares a fermentar. Anteriormente, se utilizaba la Pol de cada producto, lo cual no es lo apropiado cuando se evalúa la producción de alcohol.
- El control de la temperatura a la que se almacena la melaza rica resultante del proceso de producción de azúcar ya que ésta será la utilizada en el periodo post zafra, evitando el deterioro de la misma, por ejemplo por la reacción de Mayllard. Para solucionar esto se recomienda analizar la posibilidad de implementar una cañería de transporte encamisada para intercambio de calor, antes de que la melaza llegue a los tanques de almacenamiento. Es muy importante tener en cuenta el límite inferior de temperatura necesario, debido a que, en caso de sobrepasarlo, no será posible manejar las corrientes de melaza generando dificultades a la hora de su transporte.

Otro punto que se tuvo en cuenta respecto a la materia prima, es cambiar el tipo de levaduras que se emplea en el proceso por una termotolerante seleccionada según las condiciones de trabajo, sobretudo en el periodo post zafra en el que las temperaturas son muy elevadas debido al clima.

En el proceso de fermentación/destilación, los puntos que se mejoraron fueron:

- Mayor limpieza general para disminuir las posibles contaminaciones bacterianas.
- Mejoras en la calidad de agua utilizada en la fermentación.
- Mejor control de pérdidas de alcohol en vinaza y flegmaza.
- Mayor control del proceso fermentativo en cubas para disminuir los AR Residuales.
- Limpieza de los prefermentadores antes de recibir cada pie de cuba para evitar contaminación bacteriana al quedar levaduras floculadas.
- Incorporación en los pies de cubas en los prefermentadores se respetó el siguiente orden de incorporación: Agua, crema de levaduras y agua con ácido.

- Agregado de antibióticos en los prefermentadores una vez finalizado el tratamiento ácido.
- Suplementación de nutrientes faltantes cuando se utiliza otros productos como mieles, melados, jugo o azúcar de refundición.
- Mantenimiento de la temperatura de trabajo entre 31 y 33°C. Para esto es necesario asegurar el abastecimiento de agua que llega a los intercambiadores de calor, que permiten regular la temperatura de las mismas. Por esto es que se realizó un pozo con agua que asegure el abastecimiento de la destilería y se comenzó a trabajar con torres de enfriamientos. También se cambió el sistema de refrigeración de las cubas: lluvia de agua por intercambiadores de calor.

Los controles de los procesos es una actividad muy importante y relevante para la mejora de la producción. Los controles que se realizaban en el laboratorio de destilería abarcaban muchas determinaciones y no todas eran utilizadas o aprovechadas, lo que llevaba a un control ineficiente y un desperdicio de tiempo e insumos.

Las modificaciones que se realizaron fueron:

- Control de cada cuba por separado.
- Determinación del número total de levaduras en cada cuba.
- Determinación de los Azúcares Reductores Residuales, estudio que no se llevaba a cabo por falta de tiempo o no se hacía en la totalidad de las cubas siendo un control fundamental para determinar las pérdidas en eficiencia.
- Determinación del grado alcohólico inicial en la crema de la cuba. Anteriormente este valor era determinado al final del proceso de fermentación, lo que llevaba a cálculos erróneos de la cantidad de alcohol teórica que debería resultar del proceso.
- Se eliminaron las determinaciones de viabilidad y porcentaje de levaduras de cubas en el inicio de la fermentación, ya que estos valores ya eran determinados en el egreso a los prefermentadores.
- Determinaciones en mosto fermentado (cuba muerta) pH, Brix, % de levaduras, ART residuales, viabilidad porcentual, recuento bacteriano.
- Determinación de las pérdidas de alcohol en vinaza y flemaza.
- Adquisición de equipos para la determinación de alcohol en vinaza con microdestilador y densímetro digital
- Incorporación del análisis de parámetros químicos indicadores de contaminación bacteriana: ácido láctico, acidez sulfúrica, glicerol.-

Se analizaron las mejoras obtenidas en los procesos luego de tomadas las acciones indicadas anteriormente, y se observaron los siguientes aspectos:

- Mayor eficiencia en el trabajo de control, ya que se emplea el tiempo sólo en análisis útiles para los operarios de la fermentación y por lo tanto, en casos necesarios, podían realizarse con mayor frecuencia.
- Disminución de los problemas de contaminación en cubas por la detección más rápida de la presencia de bacterias
- Mayor viabilidad de las levaduras que ayudaron a mantener una mejor fermentación.
- Disminución del consumo de ácido sulfúrico, urea, penicilina, monensina y antiespumante (Tabla 1).
- Al mejorar el control de ART en cada cuba, se logró un mejor seguimiento por parte del operario de fermentación de la temperatura y el °Brix final de cuba. Esto llevó a que cada cuba pase al proceso de centrifugación cuando el proceso fermentativo había llegado a su fin y no antes. Por lo tanto, se obtuvieron AR residuales menores. Esto llevó a una disminución de las pérdidas de azúcar en la etapa final de la fermentación y como resultado, se consiguió mayor grado alcohólico en las cubas.
- Mayor eficiencia general, con un aumento de 77% a 79% de la zafra 2017 a la 2018.

Tabla 1. Reducción en el consumo de insumos para el proceso fermentativo, luego de mejoras aportadas al proceso.

Insumos	Reducción
Ácido Sulfúrico	4,12%
Urea	10,00%
Fosfato diamónico	Sin modificación
Sulfato de magnesio	Sin modificación
Sulfato de manganeso	Sin modificación
Sulfato de zinc	Sin modificación
Levadura tratada	Sin modificación
Levadura común	Sin modificación
Penicilina	7,50%
Monensina	52,48%
Antiespumante	18,31%

CONCLUSIONES

Durante la nueva zafra se notaron mejoras tanto en los rendimientos particulares de cada sector, como en el rendimiento general de la planta en relación a la zafra anterior. Además, se pudo observar un mejor aprovechamiento de los tiempos de destilación. Los cambios implementados en el proceso permitieron obtener una mejora general en las eficiencias de producción, quedando en el sector de destilería pendientes puntos por mejorar.

AGRADECIMIENTO

A los profesores y Directores de la Carrera de Posgrado de Especialización en Ingeniería Bionergética de la Facultad Regional Tucumán de la Universidad Tecnológica Nacional (PID ENECTU10198C).

REFERENCIAS

- Aráoz García, M.C.; Ruíz, R.M. 2020. Estudio del proceso de producción de alcohol del ingenio la corona para mejorar la eficiencia. Trabajo Final Integrador Carrera de Posgrado Especialización en Ingeniería Bioenergética – RIA de la Facultad Regional de Tucumán, Universidad Tecnológica Nacional.
- Canseco Grellet, M.A.; Castagnaro, A.; Dantur, K.I.; De Boeck, G.; Ahmed, P.M.; Cárdenas, G.; Bjorn, W.; Ruíz, M. 2016. A modified indirect mathematical model for evaluation of ethanol production efficiency in industrial-scale continuous fermentation processes; Wiley Blackwell Publishing, Inc; Journal of Applied Microbiology; 121; 4; 10-2016; 1026-1037
- 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 Biology, 126 (10): 658-673.
- Cuddihy, J.; Porro, M.; Rauh, J.S. 2001. The presence of total polysaccharides in sugar production and methods for reducing their negative effects. Chemistry, Agricultural and Food Sciences; 21:73-91.
- Kouzi, A.I.; Kontro, M.H. 2024. The relationship between harvesting methods and dextran formation in sugarcane (*Saccharum officinarum* cv. Co 6806), and quality indices. South African Journal of Botany; 167:190-196.
- Saska, M. 2021. Ingenios Tucumanos. La eficiencia como punto de partida. Avance Agroindustrial. EEAO; 42(1):30-31.

DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA DIGITAL DE SEGUIMIENTO Y CUANTIFICACIÓN DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD EN LA INDUSTRIA DE LOS BIOCOMBUSTIBLES

Carrazana, D.E.; Lucena, M.C.; Gusils León, C.H.; Rearte M.

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: biocombustibles, certificación, sustentabilidad, huella de carbono, herramientas digitales

Introducción

Conocer el impacto que genera la industria en término de gases de efecto invernadero (GEI) como el dióxido de carbono (CO₂) o el metano, se ha vuelto una necesidad crítica en la lucha contra el cambio climático (Paul Balcombe, 2018). En Argentina, la industria de los biocombustibles, que incluye la producción de biocombustibles (BC) sólidos, líquidos y gaseosos, juega un papel crucial en la transición energética hacia la descarbonización. Esta necesidad presenta un desafío para lograr una cuantificación fiable, normalizada y actualizada de los indicadores ambientales de diversos sectores industriales como el de los biocombustibles, que son complejos y presentan externalidades difíciles de parametrizar. No obstante, en el mundo ya se encuentran en desarrollo y en algunos casos, disponibles comercialmente sistemas de monitoreo, gestión de emisiones y otras variables industriales de relevancia. Algunos ejemplos de estas plataformas son Persefoni¹, IBM Envizi² o VCG.ia³ que permiten a industrias de diferentes sectores o perfiles industriales medir, rastrear y reportar no solo sus indicadores de emisiones GEI, sino proponer una industria no lineal identificando posibilidades matriciales de vinculación para lograr sinergias entre sectores con alta precisión. Estas herramientas, integran datos en tiempo real y proporcionan análisis detallados que facilitan la toma de decisiones informadas, la conformidad con las regulaciones y la mejora continua de los procesos de producción.

En nuestro país, la producción de BC presenta grandes asimetrías difíciles de sistematizar, que hacen que este tipo de plataformas no sean aplicables fácilmente dentro del territorio. En el caso de los biocombustibles líquidos como el etanol y el biodiesel, al estar alcanzados por la Ley 26.093 “Régimen de regulación y promoción para la producción y uso sustentables” sujeta a recientes cambios, regula que los volúmenes producidos sean de diferentes fuentes (caña y maíz) y que la producción sea cupificada, en el caso del biogás, las tecnologías son muy diversas y solo las plantas alcanzadas por el programa RenovAr (Ley 27191) están sujetas a seguimiento por la generación energía eléctrica y finalmente en el caso de los biocombustibles sólidos, el sector aún no se encuentra consolidado. Desde la producción de materias primas hasta la producción del biocombustible, todas estas actividades implican emisiones significativas de CO₂ en varias etapas del ciclo de vida del producto. Por otra parte, la complejidad de los procesos involucrados, la conversión de biomasa en biocombustibles líquidos (como el etanol y el biodiesel) y gaseosos (como el biogás), requieren herramientas avanzadas para capturar y analizar los datos de emisiones de GEIs a lo largo de toda la cadena de valor.

El Instituto Nacional de Tecnología Industrial desde el Departamento de Energías Renovables, trabaja en el desarrollo de una plataforma de monitoreo y seguimiento de la producción basada en el registro de indicadores cuantificables que tengan impacto en la reducción de GEIs y la huella de carbono. Dicha plataforma, constituiría además un

¹ <https://www.persefoni.com/>

² <https://www.ibm.com/products/envizi>

³ <https://vcg.ai/>

complemento al Programa de Certificación de Biocombustibles Sólidos de INTI, brindando una base sólida de registro para futuras certificaciones y negociaciones de, por ejemplo, Créditos de Emisión Reducción (CERs) los cuales representan una oportunidad para las empresas de biocombustibles de monetizar sus esfuerzos de reducción de emisiones, contribuyendo así a la financiación de tecnologías limpias y sostenibles.

Objetivos

Desarrollar una plataforma de acompañamiento de la producción para pymes productoras de biocombustibles en Argentina que permita la cuantificación de indicadores sustentables y acompañe al programa de certificación de biocombustibles sólidos (BCS) de INTI. Adicionalmente que sirva como observatorio de las diferentes tecnologías y pueda generar reportes sectoriales como herramientas de toma de decisión e inversión en cada rubro.

Materiales y métodos

La confección de la plataforma propuesta involucra una serie de pasos, los cuales se listan a continuación:

- Identificación de actores del sector bioenergético, donde se busca caracterizarlos por grupo y a continuación proponer parámetros de seguimiento de cada uno.
- Desarrollo de una interfaz de registro interactivo para las empresas productoras de BC. El mismo fue realizado empleando el lenguaje de programación conocido como “C#” empleando a su vez el marco de trabajo llamado “.NET”. En esta parte del desarrollo a realizarse, se incluyen las actividades de elaboración de documentación, testing y mantenimiento.
- Desarrollo de la metodología de cálculo de indicadores basados en la producción de BCS (pellets), Biocombustibles Líquidos BCL (bioetanol, biodiésel) y Biocombustibles Gaseoso BCG (biogás, syngas).
- Selección de proyectos piloto para llevar adelante pruebas de seguimiento.

Resultados

El primer paso realizado fue, el estudio de los actores relevantes del sector de los biocombustibles (BC) en Argentina, para modelizar sus características y desarrollar una plataforma de carga de dichas características y poder así cuantificar posibles indicadores de peso. El INTI cuenta con una base de datos de actores que han trabajado o requerido soporte en los últimos 14 años, no obstante, se realizó un estudio sistémico de contraste para dimensionar el alcance de la plataforma de forma teórica. Esta información se ilustra en la figura 1 cuyos datos simplificados se muestran en la tabla 1.

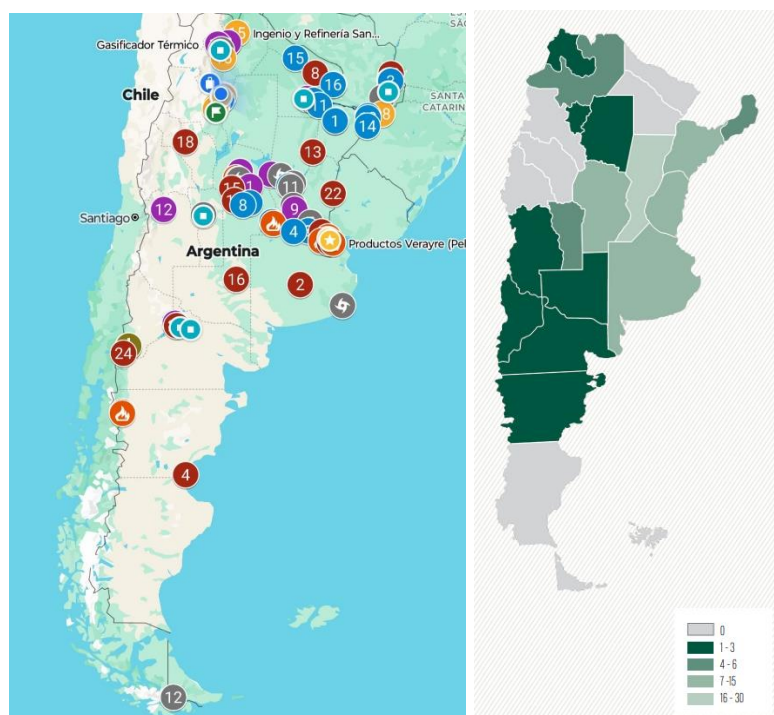


Figura 1 – Izq. Mapa DERNOA de actores del sector bioenergético (Ingenios, Plantas de Pellet, Plantas de Gasificación, otros). Der. Relevamiento INTI de plantas de Biogás (FAO, 2019).

Tabla 1 - Caracterización sistémica teórica del sector de los BC.

Sector	Rubro	Plantas	Capacidad	Año del dato	Fuente
BCL	Bioetanol de caña	13	Alta	2019	(Calzada, Yenno, & Ramseyer, Lo que mostró el bioetanol en Argentina en el año 2018, 2019)
	Bioetanol de maíz	5	Alta	2019	
	Biodiesel convencional	37	Alta	2017	(Calzada & Molina, La industria del biodiesel en Argentina, 2017)
BCG	Biogás	62	Baja a Alta	2019	(Goicoa & Alejandra Barlatey, 2019)
	Gas de Síntesis / Gas Producido	12	Baja a Media	2021	DERNOA, 2023
BCS	Pellet para usos energéticos	24	Baja a Alta	2021	DERNOA, 2023
	Briquetas	3	Baja	2021	DERNOA, 2023
	Chips energéticos	Sin datos	-	-	-
	Leña	Sin datos	-	-	-

A continuación, en la figura 2 se ejemplifica el proceso de diseño del sistema.

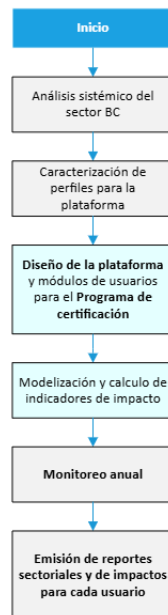


Figura 2 – Esquema del flujo de trabajo para el diseño de la plataforma y captura del módulo de mapeo del software en desarrollo.

Las figuras 3 y 4 muestran las interfaces del software que se está desarrollando actualmente.

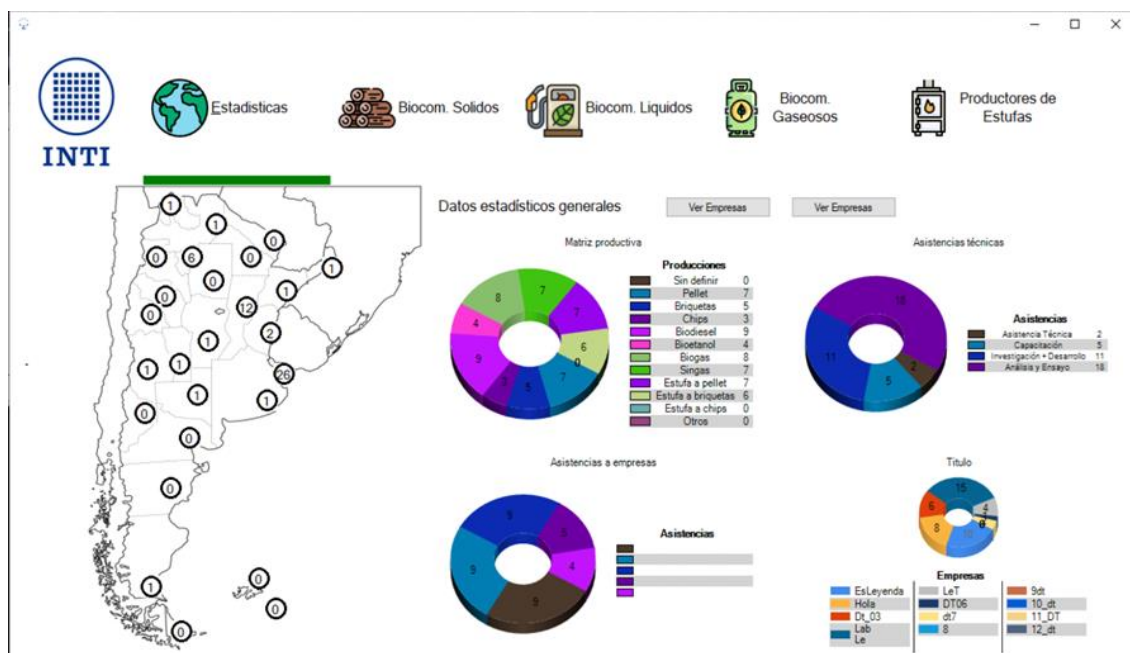


Fig. 3 – Visualización de datos de empresas por sector del software en desarrollo en este trabajo.

The screenshot displays the 'Modulo de registro de empresas' interface. On the left is a map of Argentina with numbered provinces. The main area contains three registration sections: 'Registrar Empresa', 'Registrar Planta', and 'Registrar Domicilio'. The 'Registrar Empresa' section has fields for 'Razon social' and 'CUIT' (1234 3), with an 'Error: 1' message. The 'Registrar Planta' section has fields for 'N° Planta' (1), 'Capacidad Instalada' (10.5), and a dropdown for 'Gaseoso', with an 'Error: 2' message. The 'Registrar Domicilio' section has fields for 'Calle' (Calle 14), 'Número' (495), 'Bloque/Torre' (Torre 1), 'Piso' (5), 'Departamento' (A), 'País' (Argentina), 'Provincia' (Formosa), 'Departamento' (Pilcomayo), 'Localidad' (Puerto Pilcomayo), 'Latitud' (-29.117196888699496), and 'Longitud' (-59.6570595878053), with an 'Error: 3' message. A 'Registrar' button is at the bottom right. A small dialog box in the center says 'Registro exitoso.' with an 'Aceptar' button.

Fig. 4 – Modulo de registro de empresas del software en desarrollo en este trabajo.

En el paso de la modelización, para realizar las pruebas en esta etapa de desarrollo se utilizaron los siguientes modelos indicados en la tabla 2:

Tabla 2: Modelos tenidos en cuenta para el desarrollo del software.

Modelo para Etanol	El etanol reduce las emisiones de CO ₂ en comparación con la nafta. El factor de emisión para la nafta es aproximadamente 2,31 kg CO ₂ por litro. Se asume que la eficiencia del etanol es aproximadamente 70% de la nafta. Esto significa que, por cada litro de etanol, se evita emitir aproximadamente 1,617 kg CO ₂ (2,31 kg CO ₂ * 0,7) (EPA, 2010).
Modelo para Biogás	Factor de Emisión del Biogás: El biogás puede reemplazar al gas natural, cuyo factor de emisión es aproximadamente 2,75 kg CO ₂ por m ³ . La eficiencia del biogás es similar a la del gas natural (Paul Balcombe, 2018).
Modelo para Pellets	Los pellets reemplazan al carbón, cuyo factor de emisión es aproximadamente 2,86 kg CO ₂ por kg de carbón. Se asume que 1 kg de pellets evita la emisión de 2,86 kg de CO ₂ .

A continuación, se muestran algunas simulaciones de la medición para el módulo de cálculo de indicadores. Supongamos las siguientes producciones anuales de tres actores del sector:

- Un ingenio que puede producir 100.000 litros de bioetanol por día.
- Un biorreactor que genera 90 m³ por día de biogás.
- Una planta pelletizadora que produce 16000 kg por día de pellets.

Tabla 3 - Calculo de CO₂ equivalente evitados utilizando el tipo de BC.

Caso	Calculo	CO ₂ equivalente	Referencia
a) Etanol	100000[l] x 1,617[kgCO ₂ /l]	1617000 [kg CO ₂ eq]	Producciones estimadas de IPAAT (link)
b) Biogás	90m ³ x 2,75kg [CO ₂ /m ³]	247,5 [kg CO ₂ eq]	Proyecto Colonia Jaime, S. del Estero (link)

c) Pellet	16000kg × 2.86kg [CO ₂ /kg]	45760 [kg CO ₂ eq]	(Pulido, Risso, & Rearte, 2016)
----------------------	--	-------------------------------	---------------------------------

Conclusiones

El desarrollo del software presentado en este trabajo, se encuentra en una primera etapa de consolidación de usuarios registrados para el monitoreo teniendo actualmente tres casos testigos en el programa PFIP-COFECYT. correspondientes a una planta de biogás y dos plantas de pelletizado en las provincias de Santiago del Estero, Chubut y Tucumán respectivamente, siendo esta última la que validará la producción de pellets a partir de biomásas regionales como el bagazo y el RAC de caña. En estos proyectos se utilizarán tanto el módulo de carga de datos por parte del usuario como el de monitoreo desde el servidor en INTI identificando además variables de proceso de elaboración de los biocombustibles, que servirán a cada usuario para anticipar problemas de calidad o producción.

Referencias bibliográficas

Beccari, P., & Rearte, M. (2019). *Bioenergía INTI*. Obtenido de Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Argentina. Publicación N°167 (2019). Noticias BIOENERGÍA: <https://www2.inti.gob.ar/web/noticiero.jsp?idNoticia=1295>

Calzada, J., & Molina, C. (2017). La industria del biodiesel en Argentina. *Informativo semanal*, 3-5.

Calzada, J., Yenno, F. D., & Ramseyer, F. (2019). Lo que mostró el bioetanol en Argentina en el año 2018. *Informe semanal de mercados BCR*, 7-12.

EPA. (2010). *Greenhouse Gas Emissions Estimation Methodologies for Biogenic Emissions from Selected Source Categories: Solid Waste Disposal Wastewater Treatment Ethanol Fermentation*. Research Triangle Park: RTI International.

Escalante, K., Hoyos, G., Giraudo, C., Rearte, M., Bornancin, M., & Tirado, L. M. (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. *TecnoINTI*. CABA: INTI.

Goicoa, V. I., & Alejandra Barlatey, A. P. (2019). *Relevamiento Nacional de Biodigestores. Relevamiento de plantas de biodigestión anaeróbica con aprovechamiento energético térmico y eléctrico*. Buenos Aires: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO.

International Organization for Standardization. (2021). ISO 17225-1:2021 Solid biofuels — Fuel specifications and classes — Part 1: General requirements. *Technical Committee : ISO/TC 238 Solid biofuels*, 8.

Melin, S. (2016). Solid Biofuels Standards Development. Thunder bay: 3rd Annual Bio-heat Community of Practice Workshop.

Paul Balcombe, J. F. (2018). Methane emissions: choosing the right climate metric and time horizon. *Environmental Science Processes & Impacts*, 20.

Pulido, G. M., Risso, M., & Rearte, M. (2016). Pelletizado de residuo agrícola de cosecha de caña de azúcar en Argentina. *TecnoINTI 2016*. CABA: INTI.

SEN. (2009). *Balance Energético Nacional*. Obtenido de <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/hidrocarburos/balances-energeticos>

Wright, H. (2019). Statistical Report 2019. Bruselas: Bioenergy Europe.

VALORACIÓN DEL SORGO FIBROSO PARA SU APROVECHAMIENTO COMO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO EN CALDERAS BAGACERAS DE TUCUMÁN, ARGENTINA

Cruz, M.C.; Golato, M.A.; Zamora Rueda, G. del H.; Gutiérrez, C.E.; Casen, S.D. y R.M. Ruiz

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 claves: Cultivos energéticos, biocombustibles, cenizas, composición química.

Introducción

Actualmente la industria azucarera en Tucumán, Argentina, se autoabastece energéticamente casi totalmente con su propio combustible, bagazo. El consumo de combustible adicional, gas natural ha disminuido considerablemente en los últimos años, llegando en algunos ingenios a un valor nulo. No obstante es importante disponer de combustibles renovables alternativos al gas natural, como el residuo de cosecha de la caña (RAC) (Feijóo *et al.*, 2015, Ripoli y Ripoli, 2007), ya incorporado en los ingenios del norte de Argentina. Otro cultivo energético susceptible de ser aprovechado como combustible es el sorgo fibroso, ya que muestra un potencial activo interesante (Casen *et al.*, 2020), como así también un balance energético positivo (Cruz *et al.*, 2023). La utilización de biomásas combustibles se encuentra sujeto al análisis previo de sus principales características fisicoquímicas y energéticas para definir el perfil de las mismas como posible combustible complementario para calderas de vapor bagaceras. Entre los parámetros más importantes se encuentran el contenido de humedad, volátiles, carbono fijo, cenizas y poder calorífico (Cruz *et al.*, 2020). No obstante, estos parámetros no resultan suficientes para evaluar a largo plazo la calidad de un biocombustible para calderas de vapor. Otros parámetros necesarios de analizar son la fusibilidad y composición química de sus cenizas, como así también los contenidos de cloro y azufre, ya que de estos parámetros dependen de la operación eficiente del generador de vapor a largo plazo. (Zamora Rueda *et al.*, 2023 y Golato, 2021). Entre el 2013 y 2017 la EEAOC realizó experiencias de producción de cultivos bioenergéticos complementarios a escala comercial en Tucumán (Proyecto Biosorgo), destinado a probar la viabilidad del sorgo azucarado a la cadena productiva de la caña de azúcar. En este proyecto se contempló la producción de bioetanol y combustión de bagazo de sorgo en calderas bagaceras (Tonatto, *et al.*, 2019).

El objetivo del presente trabajo fue mostrar los resultados del estudio de caracterización completa realizado en sorgo fibroso para evaluar su potencial uso como combustible alternativo de la industria azucarera.

Materiales y Métodos

Para poder comparar las características fisicoquímicas y energéticas del sorgo con otras biomásas combustibles de la industria azucarera, se estudiaron 15 muestras de un híbrido comercial de tipo Silero (alta fibra), denominado por nosotros Sorgo Fibroso proveniente de campos experimentales; 15 muestras de bagazo de ingenios azucareros y 15 muestras de RAC, provenientes de campos cañeros, respectivamente. Las mismas se secaron inicialmente para su tratamiento y análisis fisicoquímico y energético, según Cruz *et al.* (2016).

Se determinaron los contenidos de los metales mayoritarios en las muestras recolectadas, se encontraron las cantidades en [g/kg] de calcio (Ca); magnesio (Mg), sodio (Na), Hierro (Fe) y silicio (Si) por medio de la técnica de espectrometría de absorción atómica (EAA). Por emisión atómica (EEA) se determinó el contenido de potasio (K), basado en la norma ASTM D 3682-01 modificada para biomasa, descripta en Golato (2021). Los correspondientes contenidos de óxidos mayoritarios en las cenizas de sorgo fibroso (%Óxidos), se realizaron según la estequiometría de las

reacciones de oxidación de los metales, según Golato (2021). Para la determinación de cloro total se siguió la metodología ASTM E 776-87 modificada, según Gutiérrez *et al.* (2016). Asimismo, la determinación del contenido de azufre total se realizó siguiendo la norma ASTM D 3177-02 modificada, según Mistretta *et al.* (2019).

Las determinaciones de fusibilidad de cenizas se realizaron con un equipo automatizado marca LECO, modelo AF700, siguiendo la metodología indicada por Golato *et al.* (2021), que define cuatro temperaturas características: inicial de deformación (DT), ablandamiento (ST), semiesfera (HT) y fluidización (FT). Según Cruz *et al.* (2020), las temperaturas de fusibilidad de cenizas de sorgo son inferiores a las del bagazo y RAC, por lo que su combustión directa no sería conveniente en una caldera bagacera, por tal motivo, se realizaron experiencias de fusibilidad de cenizas de mezclas de sorgo con bagazo en distintas proporciones: 20%-80; 30%-70%; 40%-60% y 50%-50.

Resultados y Discusión

La Figura 1 a) muestra los resultados promedio de los contenidos de humedad (%W), carbono fijo %CZ, sólidos volátiles (SV) y carbono fijo (%CF) para las biomásas estudiadas. Puede verse que los parámetros encontrados para sorgo, se encuentran en igual orden de magnitud que para bagazo y RAC de caña de azúcar. Las diferencias observadas en los contenidos de humedad se deben a que las muestras fueron tomadas en diferentes condiciones de trabajo. La toma de muestra del sorgo y del RAC, se realizaron en diferentes días posteriores a la cosecha del cultivo.

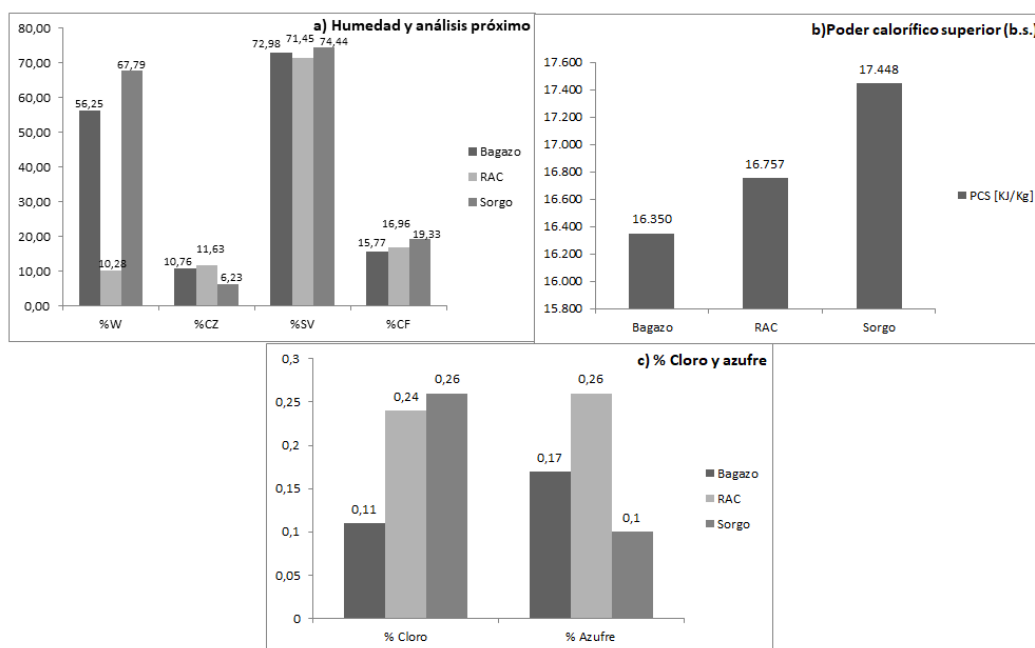


Figura 1: **a)** Promedios de %W, % CZ; % SV y % de CF para bagazo, RAC y sorgo. **b y c)** Promedios de poder calorifico superior (PCS) y Promedios de porcentajes de Cloro y Azufre de muestras de bagazo, RAC y sorgo de Tucumán, Argentina.

La Figura 1: b) y c) muestra el PCS promedio para las biomásas en estudio y los correspondientes contenidos de cloro y azufre. Puede verse que el PCS del sorgo resultó un 6,7% mayor al bagazo y 4,1% mayor al RAC, lo que lo hace un combustible interesante desde el punto de vista energético. No obstante, se puede ver que el contenido de cloro en RAC y en sorgo (0,24% y 0,26%), presentaron valores elevados en relación al bagazo (0,11%). Esto podría generar un problema de corrosión en la caldera a largo plazo quemando solo este combustible. El contenido promedio de azufre

en el sorgo fue inferior al encontrado en bagazo, aproximadamente un 41% menor, por lo que se esperaría tener menores inconvenientes a los observados con las otras biomazas. En Figura 2 se muestran las correspondientes concentraciones promedio de los elementos mayoritarios (expresados como óxidos). Puede verse un elevado contenido de K_2O (27,10%) en relación a los observados en bagazo (5,29%) y RAC (14,34%), este hecho podría traer inconvenientes de fusibilidad de las cenizas, según Golato *et al.*, 2021. Los contenidos de SiO_2 (30,81%), resultaron menores al bagazo (54,25%) y RAC (55,09%), tomados de referencia. Este hecho indicaría que el sorgo presentaría menor formación de silicatos sobre grilla y menor erosión en las partes metálicas del interior de las calderas (Golato *et al.*, 2022).

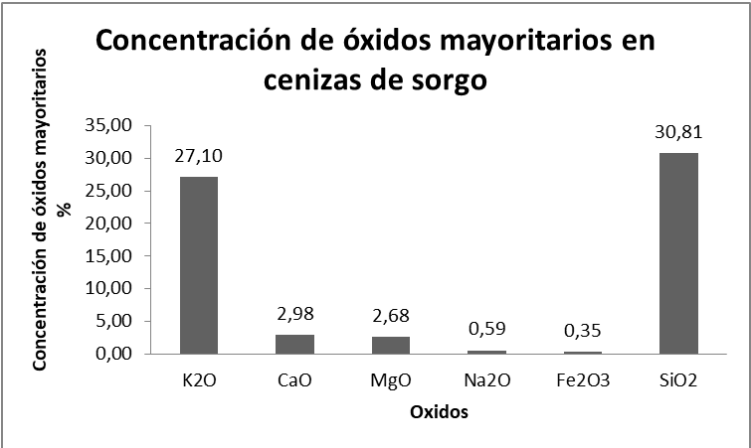


Figura 2. Concentración de óxidos mayoritarios en cenizas de sorgo de Tucumán, Argentina.

La Figura 3: a) y b) muestra los resultados promedio de temperaturas (DT); (ST); (HT) y (FT) para las biomazas en estudio, realizadas en atmósfera oxidante y reductora.

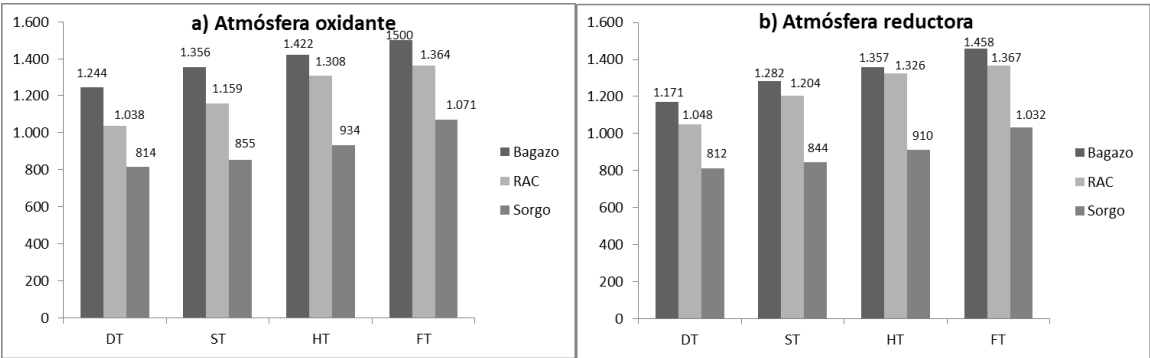


Figura 3: a) y b) Promedios de temperaturas, DT, ST, HT y FT en atmósfera oxidante y reductora respectivamente, para muestras de bagazo, RAC y sorgo de Tucumán, Argentina.

Se puede observar que la mínima temperatura (DT) promedio registrada en ambas atmósferas fue para el sorgo (813°C), por lo que resultaría un problema la combustión directa de este combustible en calderas bagaceras. Esto hecho podría deberse al mayor contenido de K_2O en las cenizas de sorgo en relación a las otras biomazas analizadas, por lo tanto el sorgo fibroso debería ser mezclado con bagazo para su aprovechamiento como combustible complementario. La Figura 4: a) y b) muestra los resultados del análisis de fusibilidad de las cenizas en mezcla de sorgo con bagazo para las diferentes proporciones analizadas tanto en atmosfera oxidante como reductora.

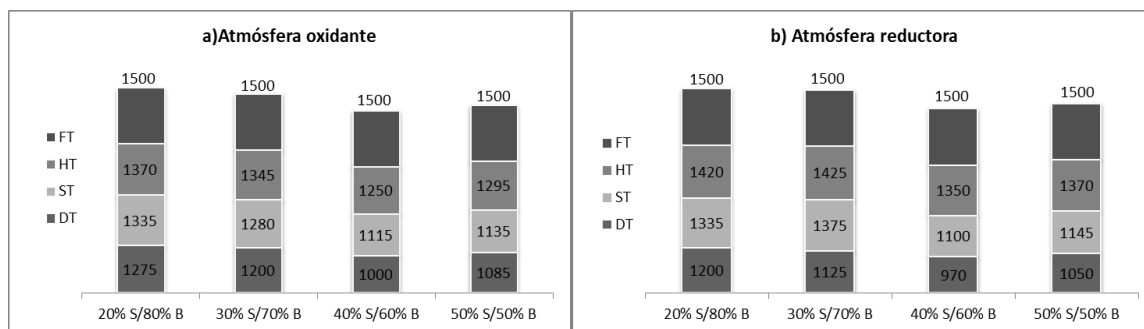


Figura 4: a) y b) Temperaturas de fusibilidad de cenizas de mezclas de sorgo (S)/bagazo en las proporciones indicadas, tanto para atmósfera oxidante como para reductora, para Tucumán, Argentina.

Las mezclas, cuyas composiciones arrojaron temperaturas de fusibilidad más altas y cercanas al bagazo y RAC, fueron para 20% sorgo/80% bagazo: 1275°C para atmósfera oxidante y 1200°C para atmósfera reductora. A partir de estos resultados se observa claramente que el sorgo fibroso podría utilizarse en mezcla con bagazo, sin alterar la operación de la caldera, ya que se comportaría de manera similar a cuando se combustiona solo bagazo.

Conclusiones

Los resultados de la caracterización del sorgo fibroso muestran condiciones energéticas similares al bagazo y RAC de caña de azúcar. No obstante, debido al elevado contenido de cloro (0,26%), podrían presentarse problemas de corrosividad a largo plazo. Los análisis de fusibilidad de las cenizas de sorgo, indicaron bajos puntos de fusión en relación al bagazo y al RAC, debido probablemente al mayor contenido de K_2O (27,10%), por lo que su aprovechamiento como combustibles alternativo se podría realizar solo en mezclas con bagazo. Se encontraron comportamientos aceptables para mezclas de 20% sorgo/80% bagazo, con estas proporciones se lograrían temperaturas de fusibilidad de cenizas más convenientes para no ocasionar inconvenientes en el interior del hogar de la caldera y haz tubular. Estos resultados servirán de base de comparación para futuros análisis de las biomásas estudiadas, además, a partir de los mismos se podrían determinar los índices de comportamiento de las cenizas que brindan las relaciones de deposición teórica que tendrían en el interior del hogar de una caldera de vapor.

Bibliografía

- Casen S.; E. Romero; P. Fernández Gonzáles y G. De Boeck. 2020.** Sorgo fibroso para la producción de bioenergía. Avance Agroindustrial. Tucumán. TOMO 41(3):20-24.
- Cruz C.; S. Casen; G. De Boeck; D. Paz. 2023.** Análisis de la productividad energética del sorgo fibroso. Rev. ind. agric. Tucumán. TOMO 100(1):3-10. ISSN 0370-5404
- Cruz C.; G. De Boeck; D. Paz. 2020.** Estudio preliminar del aprovechamiento de sorgo fibroso como combustible para abastecer energéticamente un ingenio durante la interafría en Tucumán. Rev. ind. agric. Tucumán. TOMO 197(1):43-50. SSN 0370-5404.
- Cruz C.; G. Zamora Rueda; M. Golato y D. Paz. 2016.** Caracterización de biomásas regionales. Argentina (Tucumán) y Brasil (Itajubá). Rev. Avance Agroindustrial. Tucumán. TOMO 37(4):34-39.
- Feijóo, E. A.; Golato, Marcos Antonio; Federico J. Franck Colombres; Dora Paz; Cárdenas, Gerónimo. 2015.** "Características energéticas de los residuos agrícolas de la cosecha en verde de caña de azúcar de Tucumán". Revista Industrial y Agrícola de Tucumán, num.2: 23 - 32.
- Golato, M. A., 2021.** Estudio de la variación de la temperatura de fusión de cenizas de calderas de biomasa en función de sus componentes ácidos y básicos. Tesis de Magister en Ingeniería Bioenergética, UTN, FRT. Disponible en: <https://ria.utn.edu.ar>
- Golato, M. A.; Gutiérrez, C. E.; Zamora Rueda, G. del H.; Juárez, G.; Kamiya, N. y Paz, D. 2022.** 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. XXII Reunión de la Sociedad Argentina de Técnicos de la Caña de Azúcar (SATCA). Disponible en: https://www.eaoc.gob.ar/wp-content/uploads/2023/03/Trabajos-Satca-2022_compressed.pdf

Golato, M. A.; G. Zamora Rueda; C. Gutiérrez; M. G. Mistretta; D. Paz; M. Ruiz. 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.

Gutiérrez, C.; M.G. Mistretta; G. Zamora Rueda; F. Peralta; M.A. Golato; M. Coronel; M. Ruíz; 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), num.2 (2016): 19 - 25.

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.

Tonatto S.; D. Gutierrez; G. De Boeck; S. Casen; C. Gusils; M. Ruiz; E. Romero y A. Acevedo. 2018. Sorgo azucarado, una opción suplementaria para la industria sucroalcoholera. Proyecto Biosorgo. Avance Agroindustrial. Tucumán. TOMO 39(3):14-18.

Zamora Rueda G. d. H., M. G. Mistretta, C. E. Gutiérrez, M. A. Golato, D. Paz y M. Ruiz. 2023. Caracterización energética de bagazo de caña de azúcar en Tucumán, Argentina. Revista industrial y agrícola de Tucumán, Tomo 100 (1): 47 - 53.

MEJORAS EN EL SECTOR CALENTAMIENTO Y EVAPORACIÓN EN UN INGENIO DE TUCUMÁN, ARGENTINA

Cruz, M. C., Franck Colombres, F. J. y R. M. Ruiz

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

Resumen

El proceso de evaporación es el principal consumidor de vapor escape y condiciona la eficiencia energética de la planta. El consumo de vapor escape en Tucumán podría mejorarse modificando el esquema de operación en la evaporación, lo que en general requiere inversiones, en mayor o menor medida en función de las modificaciones que se realicen. En este trabajo se analizó la performance del sistema de calentamiento y evaporación de un ingenio de Tucumán y, teniendo en cuenta los equipos existentes en el proceso, se plantearon y evaluaron posibles mejoras, con estrategias de uso racional de la energía para disminuir el consumo de vapor escape y de agua en el condensador barométrico, con el objeto de usarse de guía para planificar futuras inversiones.

Introducción

El consumo de vapor escape depende del esquema de operación de cada ingenio, es decir, cantidad de efectos, tipo de tecnología empleada (Robert, Película descendente, placas, etc.), qué tanto se realizan extracciones de vapores vegetales y cómo se emplean los distintos vapores, para calentamiento de jugo, tachos de cocimiento, destilería, refinería, etc. En Tucumán los trenes de evaporación en general están constituidos por evaporadores tipo Robert (Almirón et al, 2006) en cuádruple o quíntuple efecto y el consumo de vapor escape ronda entre los 38 y 58 % caña. Este podría mejorarse modificando el esquema de operación en la evaporación (Cruz *et al.* 2022), con lo que podrían alcanzarse valores de 30-35 % caña como sucede en ingenios de otros países. Para ello en general sería necesario realizar inversiones, en mayor o menor medida en función de las modificaciones a realizar, las que a su vez dependerán de las características de cada ingenio en cuanto a cantidad y superficies de cajas evaporados, calentadores y recalentadores disponibles, espacios físicos en la planta, proyecciones de crecimiento, etc. Por ello no resulta una tarea sencilla decidir cómo realizar dichas modificaciones.

El objetivo de este trabajo fue analizar la performance del sistema de calentamiento y evaporación de un ingenio de Tucumán y, teniendo en cuenta los equipos existentes en el proceso, evaluar posibles mejoras con estrategias de uso racional de la energía para disminuir el consumo de vapor escape y de agua en condensador barométrico, que puedan servir de guía para planificar futuras inversiones.

Materiales y métodos

En el mes de octubre de 2023 se realizaron ensayos de medición en un ingenio azucarero de la provincia de Tucumán, cuya molienda resultó en 8375 toneladas de caña por día. En este caso el sistema de evaporación está constituido por cinco efectos, donde el jugo y el vapor de calefacción son alimentados en serie a través del tren. El primer efecto tiene la particularidad de estar conformado por un tanque de expansión central y cinco reboilers (1200 m^2 cada uno) alrededor, desde allí cada efecto hacia el final está formado por una sola caja (tres de 1500 m^2 y dos de 1000 m^2). La superficie total en evaporación es de 12500 m^2 . Se realizan extracciones de vapor vegetal del primer, segundo y tercer efecto para abastecer a los calentadores, los cuales trabajan en paralelo para calefaccionar el jugo encalado. Los tachos de cocimiento y la destilería

son abastecidos por vapor vegetal del primer efecto. Tiene recalentadores de jugo claro antes de su ingreso a la evaporación. A partir de los ensayos realizados, se tomaron los valores promedio (Tabla 1) y se definió un caso base para estudiar las mejoras en cuanto al ahorro de vapor escape. Se propusieron 5 casos de estudio: **Caso 1:** 5 efectos, con extracción de vapor vegetal del último efecto (VG5) para el primer calentamiento de jugo encalado; **Caso 2:** 5 efectos, con extracción de vapor vegetal del segundo efecto (VG2) para tachos de cocimiento; **Caso 3:** 5 efectos, con extracción de vapor vegetal del último efecto (VG5) para el primer calentamiento de jugo encalado y con extracción de vapor vegetal del segundo efecto (VG2) para tachos de cocimiento; **Caso 4:** 4 efectos, con extracción de vapor vegetal del segundo efecto (VG2) para tachos de cocimiento; **Caso 5:** 4 efectos, con extracción de vapor vegetal del último efecto (VG4) para el primer calentamiento de jugo encalado y con extracción de vapor vegetal del segundo efecto (VG2) para tachos de cocimiento.

Se empleó el programa de simulación, desarrollado en la EEAO, denominado SIMCE 3.0, que permite efectuar simulaciones en estado estacionario de sistemas de Calentamiento y Evaporación de la industria azucarera. Los datos de entrada para la simulación de los casos de estudio se muestran en la Tabla 1. Según datos aportados por el ingenio, se consideró 32 t/h (9,17%C) de vapor vegetal del primer efecto (VG1) para destilería y 62 t/h (17,83 %C) para tachos de cocimiento. En el caso de derivar vapor vegetal del segundo efecto a tachos de cocimiento, se consideró 27,4 t/h (7,85 %C) por condiciones de tachos con agitación.

Tabla 1. Datos de entrada para las simulaciones.

Variable de entrada	Unidad	5 EFECTOS	4 EFECTOS
Caudal de JE*	%C**	104,8	104,8
Caudal de JC	%C	91,9	91,9
Brix de JE	%Brix	17,8	17,8
Brix de JC	%Brix	16,8	16,8
Brix del melado	%Brix	62	62
Temperatura de JC antes del calentamiento	°C	88,3	88,3
Temperatura de JC después del	°C	116,7	114,8
Temperatura de JE antes del calentamiento	°C	38	38
Temperatura de JE final	°C	103,7	103,7
Presión de VE	bar	2,21	2,21
Temperatura de VE	°C	123,6	123,6
Temperatura del último efecto	°C	65	65

*JE: Jugo encalado

**%C: Caudal expresado como porcentaje de caña molida

Los valores de coeficientes globales de transferencia de calor adoptados para sistemas de cuádruple efecto y quintuple, se obtuvieron con la ecuación de Baloh (T. Baloh y E. Wittwer):

$$U = \frac{5,23 \times 10^6}{r_e^2 + r_s^2 + 800} \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

Donde, re= contenido de materia seca del jugo a la entrada y rs= contenido de materia seca del jugo a la salida.

Los valores de los coeficientes globales de transferencia de calor para calentadores adoptados se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Coeficientes globales de transferencia de calor de calentadores adoptados.

Medio de calentamiento	VE	VG1	VG2	VG3	VG4	VG5
U conservador (Kcal/min.m ² .°C)	16	15	13	12	11	10

Se calcula para cada caso el factor de superficie que se define como la relación entre el área requerida total y el área disponible total. Este valor debería rondar teóricamente entre 65 y 70%, si las superficies están bien distribuidas, para poder considerar las cajas fuera de operación por limpieza.

Resultados y Discusión

En las Tablas 3 y 4 se presentan los requerimientos de superficie para los evaporadores y el factor de superficie, teniendo en cuenta la disponibilidad actual de 12500 m², para quintuple y cuádruple efecto respectivamente.

Tabla 3. Superficie de calentamiento requerida para los evaporadores en los casos en quintuple efecto.

Casos de estudio	Áreas evaporadores (12500 m ²)							A requerida / A disponible
	1 efecto	2 efecto	3 efecto	4 efecto	5 efecto	En limpieza	Total	
Área disponible por efecto	6000	1500	1500	1500	1000	1000	11.500	92,0%
Caso base	5880	1499	1461	835	879	-	10553	84,4%
Caso 1	5273	1933	1523	816	743	-	10288	82,3%
Caso 2	5520	3238	1416	572	499	-	11244	90,0%
Caso 3	4958	3732	1495	546	476	-	11207	89,7%

Tabla 4. Superficie de calentamiento requerida para los evaporadores en los casos en cuádruple efecto.

Casos de estudio	Áreas evaporadores (12500 m ²)						A requerida / A disponible
	1 efecto	2 efecto	3 efecto	4 efecto	En limpieza	Total	
Área disponible por efecto	6000	3000	1500	1000	1000	11.500	92,0%
Caso 4	4358	2493	993	506	-	8350	66,8%
Caso 5	3927	2459	995	625	-	8005	64,0%

En la Tabla 5 y 6 se presentan los requerimientos de superficie de calentamiento para todos los casos y la superficie excedente teniendo en cuenta la disponibilidad actual de 1897 m² para calentadores de jugo encalado y 506 m² para recalentadores de jugo claro. En la Tabla 7 se muestran las variables más significativas que resultaron de las simulaciones.

Tabla 5. Superficie de calentamiento requerida para los casos estudiados.

Casos de estudio	Áreas calentadores: 1897 m ²								Total	A requerida / A disponible
	1A (VG3)	1B (VG3)	2A (VG2)	2B (VG2)	3,4,5,6 A (VG1)	3,4,5,6 B (VG1)	A (VG4 O VG5)	B (VG4 O VG5)		
Área disponible por calentador	210	214	163	165	562	583	-	-	1896	
Caso base	78,2	78,4	42,1	22,7	307,7	242,3	-	-	771	40,67%
Caso 1	125,7	105,9	158,6	133,5	177,6	131,1	183,7	150,4	1166	43,88%
Caso 2	78,2	78,4	42,1	22,7	307,7	242,3	-	-	771	40,67%
Caso 3	125,7	105,9	158,6	133,5	177,6	131,1	183,7	150,4	1166	43,88%
Caso 4	52,7	69,6	75,6	42,9	337,7	264,2	-	-	843	44,42%
Caso 5	77,6	65,3	122,7	103,3	256,4	194,0	282,6	234,1	1336	43,18%

Tabla 6. Superficie de calentamiento requerida para recalentadores de los casos estudiados.

Casos de estudio	Área total recalentadores: 506 m ²		
	1	2	A requerida / A disponible
Área disponible por recalentador	313	193	
Caso base	506		100%
Caso 1	515		102%
Caso 2	515		102%
Caso 3	515		102%
Caso 4	436		86%
Caso 5	436		86%

Tabla 7. Resultados de las variables más significativas de las simulaciones.

		5 EFECTOS				4EFECTOS	
		Caso base	Extracción VG5	Tachos VG2	Extracción VG5 + Tachos	Tachos VG2	Extracción VG54 +
Parámetros	Unidad	Caso base	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Molienda	TCD	8375	8375	8375	8375	8375	8375
	T/h	349,0	349,0	349,0	349,0	349,0	349,0
Agua evaporada (AE)	%C	67,0	67,0	67,0	67,0	67,0	67,0
	T/h	233,8	233,8	233,8	233,8	233,8	233,8
VE total (VE)	%C	48,92	46,50	47,52	45,10	48,08	45,71
	T/h	170,7	162,3	165,8	157,4	167,8	159,5
Eficiencia en evaporación = AE/VE		-	1,37	1,44	1,49	1,39	1,47
VG1 Destilería	%C	27,00	9	9	9	9	9
VG1 Tachos	%C		17,8	10,0	10,0	10,0	10,0
VG2 Tachos	%C	-	-	7,85	7,85	7,85	7,85
VG5 a calentadores	%C	-	2,10	-	2,10	-	-
Vapor a condensador barométrico	%C	5,05	2,82	3,43	1,19	4,26	2,17

En la Figura 1: a) y b) se muestran los ahorros de vapor escape logrados para cada caso de estudio en % caña, como así también la disminución porcentual del vapor al condensador barométrico en relación al caso base.

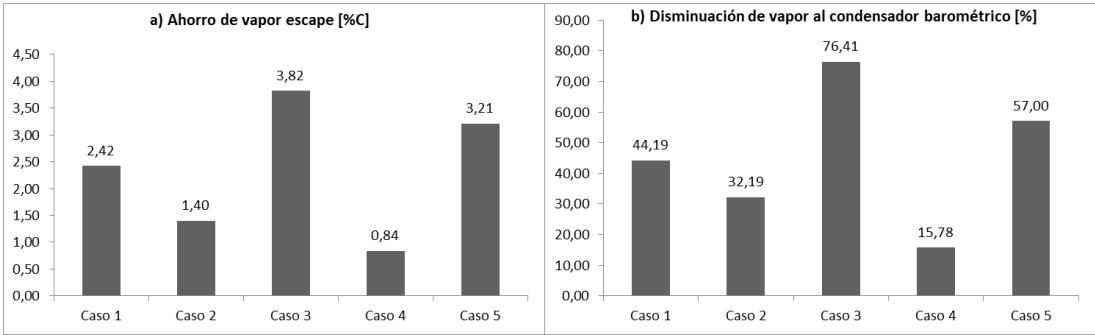


Figura 1. Ahorro de vapor escape y disminución del consumo de vapor al condensador barométrico en relación al caso base.

Conclusiones

En todos los casos de quintuple efecto, la superficie de evaporación del primer efecto resulta insuficiente si un reboiler se encuentre en limpieza.

En los Casos 2 y 3, con la extracción de vapor del segundo efecto para tachos de cocimiento planteada, se produciría un déficit en la superficie de evaporación de ese efecto, en esos casos sería necesario sumar superficie a ese efecto, es decir incorporar una nueva caja de evaporación.

En todos los casos donde se trabaja con cuádruple efecto en evaporación, el factor de superficie está dentro de los valores recomendados.

En los Casos 4 y 5, los requerimientos de superficie se cumplen sin necesidad de tener que adicionar nuevas cajas de evaporación al sistema. Con el esquema de cajas propuesto en cuádruple efecto, el primer efecto siempre tiene superficie suficiente aún con un reboiler en limpieza. Se requieren alrededor de 2500 m² para el segundo efecto, y se tienen 3000 m² de superficie de segundo efecto en todo momento. Para el tercer efecto se requieren alrededor de 995 m² y se tienen 1500 m² en general para el tercer efecto excepto cuando por cuestiones de limpieza el tercer efecto queda conformado con 1000 m², en cuyo caso se sigue cumpliendo con el requerimiento de superficie.

Para calentadores de jugo encalado el factor de superficie se encuentra dentro de los valores recomendados para todos los casos analizados. Sin embargo, en los casos 2 y 3, para poder lograr el calentamiento deseado con VG5 se debería agregar un calentador al comienzo de cada línea, para la línea A de 183,7 m² de superficie y para la línea B de 150,4 m² de superficie. Del mismo modo para el caso 5, para poder lograr el calentamiento deseado con VG4 se debería agregar un calentador al comienzo de cada línea. El calentador de la línea A con 282,6 m² de superficie y el calentador de la línea B con 234,1 m² de superficie.

Para los recalentadores de jugo claro, el factor de superficie está por encima de los valores recomendados para considerar la limpieza de los equipos. Además, en los casos 2 y 3, se denota un faltante de 9 m² de superficie para lograr llegar a la temperatura de jugo necesaria (116,7°C) para que ingrese a la evaporación en su punto de saturación.

Los resultados muestran que con extracción de vapor vegetal del segundo efecto, equivalente a 7,85 % caña para tachos de cocimiento, se lograría un ahorro de vapor de escape de 0,84%, operando en cuádruple efecto, sin inversión en superficie. Con diferentes inversiones en superficie, según las alternativas planteadas se podría ahorrar hasta 3,82 % de vapor escape.

Cabe destacar que se pueden plantear diferentes alternativas, cada una de ellas con sus correspondientes modificaciones particulares en la fábrica y sus correspondientes inversiones asociadas. Las alternativas aquí planteadas se realizaron con el objeto de conformar una base de análisis para proyectar esquemas de mejoras a futuro.

Bibliografía

Almirón, M. y D. Paz. 2006. "Evaporadores empleados en la industria azucarera de caña". Avance Agroindustrial (1) 33-38.

Cruz M. C.; F. Franck Colombres y D. Paz. 2022. Evolución de la eficiencia en la evaporación. Revista Agroindustrial y Agrícola de Tucumán.

Tone Baloh y Enrique Wittwer. 1995. Energy Manual for Sugar Factories Manual de Energia para Fábricas de Azúcar. 2ª edición. Bartens. Berlín.

POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA DE LIMONEROS: UNA OPORTUNIDAD PARA LA SIMBIOSIS INDUSTRIAL ENTRE INGENIOS Y CITRÍCOLAS

Díaz G.F.; Feijóo E.A.; Franck Colombres F.J.; Golato, M.A. y R.M. Ruiz
Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). C.P. 4101- Las Talitas- Tucumán.
www.eeaoc.org.ar - Tel. 0381-4521000 Int. 180 e-mail: gdiaz@eeaoc.org.ar

Palabras claves: bioenergía, economía circular, sustentabilidad.

Introducción

La industria azucarera y la industria citrícola son las principales actividades económicas de la provincia de Tucumán, cuyas actividades convergen en los meses de invierno, junto con la alta demanda de energía de los consumidores residenciales. Esta situación eventualmente lleva a cortes en el suministro de gas natural y electricidad a las industrias, dando prioridad a los hogares.

La provincia cuenta con 14 ingenios azucareros, de los cuales 11 poseen destilerías de alcohol. Estos últimos extienden su actividad normalmente hasta diciembre de cada año. Si bien los ingenios consumen su propio bagazo para su abastecimiento energético, para el arranque, paradas y la postzafra necesitan el auxilio de combustibles adicionales. Generalmente emplean gas natural y chips de maderas provenientes de otras provincias.

La actividad citrícola cuenta con 47.310 ha dedicadas al cultivo de cítricos (Carreras Baldrés *et al.*, 2022). En los últimos años el sector viene experimentando una crisis debido a la sobreproducción y la fuerte competencia de otros países con menores distancias de transporte para los compradores europeos, que ofrecen los mismos productos a menores precios. Además, existen precios de aceite esencial de limón significativamente diferentes del mercado de acuerdo al contrato con el comprador. Según Rodríguez *et al.*, entre enero y junio de 2023 Tucumán experimentó una disminución de las exportaciones de 30% de fruta fresca, 2 % de jugo, 25 % de aceite y 55 % de cáscara que en el mismo período de 2022. Esta problemática se traduce en sobrestock de productos a conservar en cámaras de frío y fruta sin cosechar en los árboles. Asimismo, los campos citrícolas generan anualmente grandes cantidades de biomasa leñosa en el campo que no tiene ningún aprovechamiento energético y en muchos casos se quema a cielo abierto. Esta biomasa proviene de las actividades de poda y de renovación de lotes (árboles arrancados). La primera ya fue cuantificada (Díaz *et al.*, 2020) y analizada en laboratorio, mostrando resultados favorables para su uso como combustible (Díaz *et al.*, 2017).

De este análisis previo surge la necesidad de estudiar un enfoque colaborativo entre la industria citrícola y la industria azucarera, empleando la biomasa residual del cultivo de cítricos como combustible adicional en ingenios. De esta manera, no sólo se obtienen ventajas competitivas con el uso eficiente de los recursos, sino que también se reducen los impactos ambientales negativos, estableciéndose así una simbiosis industrial como estrategia para una economía circular.

Objetivo

El objetivo de este trabajo es evaluar el aprovechamiento energético de la biomasa residual de la citricultura en la industria sucroalcoholera de Tucumán.

Materiales y Métodos

Demanda de energía en ingenios

Se relevó la demanda de combustibles adicionales de los ingenios azucareros a través de encuestas que fueron respondidas por 13 ingenios de la provincia de

Tucumán. Esta demanda fue clasificada en distintas etapas de la zafra: inicio, mediados, fin de zafra e interzafra. Los combustibles relevados fueron leña, chip de madera, bagazo (de otros ingenios), residuos agrícolas de cosecha (RAC), fuel oil, gas natural y otros. Para cada combustible se calculó la energía liberada mediante el producto de su poder calorífico inferior y la cantidad consumida del mismo.

Potencial de energía de la biomasa

Se estimó la oferta de biomasa de limoneros de las actividades de poda y arranque, sin contar raíces y hojas. Para el cálculo de la biomasa de poda se usaron datos de ensayos previos. Para la estimación de la biomasa de arranque se llevaron a cabo ensayos en lotes destinados a renovación de fincas citrícolas de la provincia con más de 22 años de plantación. Los datos de las fincas ensayadas se muestran en la Tabla 1 a continuación.

Tabla 1. Datos de las fincas donde se realizaron los ensayos

Datos	Finca 1	Finca 2	Finca 3	Finca 4	Finca 5	Finca 6
Departamento	Tafí Viejo	Famaillá	Tafí Viejo	Tafí Viejo	Tafí Viejo	Tafí Viejo
Localidad	Lomas de Tafí	Sauce Huacho	Los Nogales	Los Nogales	Los Nogales	Lomas de Tafí
Variedad de copa	Lisboa	Lisboa	Limoneira	Eureka	Génova	Génova
Variedad de pie	Agrio	Troyer	Cleopatra	Volkameriano	Volkameriano	Agrio
Edad	29	22	34	43	43	31
Marco de plantación	8x4	8x5	8x5	8x4	8x4	8x4

En los ensayos se pesaron los árboles completos y se tomaron muestras que fueron analizadas en laboratorio. Se realizaron análisis inmediato (humedad, sólidos volátiles, cenizas y carbono fijo), análisis elemental (C, H, O, N, S, Cl), poder calorífico superior y análisis de fusibilidad de las cenizas.

Para la estimación de la biomasa de poda se tuvieron en cuenta tres marcos de plantación (m) con sus diferentes densidades de plantación (ρ), índice de generación de biomasa (IP) a la humedad w_{ph} y superficie (A) que abarca cada uno de ellos. Además, se tomó en consideración un 30 % de superficie con menos de 8 años de plantación que no se poda (x) y un 3% (y) de superficie destinada a arranque de limoneros.

Con la Ecuación 1 se calcula la biomasa potencial de poda obtenida con la humedad de extracción (BP_h^P) y con la Ecuación 2 se extrapola esta biomasa a la humedad w_s con la que se quiere realizar el aprovechamiento energético (BP_s^P). Con las Ecuaciones 3 y 4 se estimaron la biomasa potencial húmeda (a la humedad de extracción de la planta w_{ah}) y seca respectivamente para la actividad de arranque (BA_h^P y BA_s^P), teniendo en cuenta sólo el marco de plantación convencional, mayoritario en plantaciones de más de 20 años.

$$BP_h^P \left[\frac{t}{año} \right] = (1 - x) * (1 - y) * \sum_m \left(A[ha] * \rho \left[\frac{plantas}{ha} \right] * IP \left[\frac{t}{planta.año} \right] \right)$$

Ecuación 1

$$BP_s^P \left[\frac{t}{año} \right] = BP_h^P \left[\frac{t}{año} \right] * \frac{(1-w_{ph})}{(1-w_s)}$$

Ecuación 2

$$BA_h^P \left[\frac{t}{año} \right] = x * A_{cv}[ha] * \rho_{cv} \left[\frac{plantas}{ha} \right] * IA_{cv} \left[\frac{t}{planta.año} \right]$$

Ecuación 3

$$BA_s^P \left[\frac{t}{año} \right] = BA_h^P \left[\frac{t}{año} \right] * \frac{(1-w_{ah})}{(1-w_s)} \quad \text{Ecuación 4}$$

Mediante la Ecuación 5 y 6 se calcula la biomasa total útil de limoneros con la humedad de extracción (BT_h^U) y la humedad de aprovechamiento energético (BT_s^U), respectivamente. Se tiene en cuenta una pérdida de biomasa de 10% (p).

$$BT_h^U \left[\frac{t}{año} \right] = \left(BP_h^P \left[\frac{t}{año} \right] + BA_h^P \left[\frac{t}{año} \right] \right) * (1 - p) \quad \text{Ecuación 5}$$

$$BT_s^U \left[\frac{t}{año} \right] = \left(BP_s^P \left[\frac{t}{año} \right] + BA_s^P \left[\frac{t}{año} \right] \right) * (1 - p) \quad \text{Ecuación 6}$$

Con el promedio de los datos obtenidos de los análisis de laboratorio se calcula el poder calorífico inferior de la biomasa de limoneros anhidro, PCI_0 , (Ecuación 7) y a la humedad requerida para la combustión, PCI_s , (Ecuación 8). Se estima el potencial energético de la biomasa de limoneros (PE_s) mediante la Ecuación 9.

$$PCI_0 \left[\frac{kJ}{kg} \right] = PCS \left[\frac{kJ}{kg} \right] - 212,2 * \%H - 0,8 * (\%O + \%N) \quad \text{Ecuación 7}$$

$$PCI_s \left[\frac{MJ}{t} \right] = PCI_s \left[\frac{kJ}{kg} \right] = \left[\frac{PCI_0 \left[\frac{kJ}{kg} \right]}{1000} * (1 - w_s) - 2,44 * w_s \right] * 1000 \quad \text{Ecuación 8}$$

$$PE_s \left[\frac{MJ}{año} \right] = BT_s^U \left[\frac{t}{año} \right] * PCI_s \left[\frac{MJ}{t} \right] \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

- PCI_0 : poder calorífico inferior del material anhidro, expresado en kJ/kg.
- PCS : poder calorífico superior para la muestra seca, expresado en kJ/kg.
- $\%H$: contenido de hidrógeno en porcentaje de masa del combustible, libre de humedad.
- $\%O$: contenido de oxígeno en porcentaje de masa del combustible, libre de humedad.
- $\%N$: contenido de nitrógeno en porcentaje de masa del combustible, libre de humedad.
- PCI_s : poder calorífico inferior del combustible a la humedad de aprovechamiento energético (w_s), en kJ/kg.
- w_s : humedad de utilización de la biomasa, expresada en forma centesimal.
- PE_s : Potencial energético de la biomasa de limoneros a la humedad w_s .

Resultados

Demanda de energía en ingenios

Los resultados de las encuestas se pueden ver esquematizados en las Figuras 1 y 2. En total, se relevó un consumo de 19.078.702 Nm³ de gas natural, 25.240 t de chips de madera, 12.000 t de RAC, 2193 t bagazo de otros ingenios, 1487 t de fuel oil, 454 t de carozo de aceituna y 157 t de leña.

Los ingenios consumen un total de 1.288.812 GJ/año en combustibles adicionales para su operación. De este total, un 58% corresponde a gas natural seguido por un 25% de chips.

Potencial de energía de la biomasa

Los resultados de los ensayos de cuantificación de biomasa de arranque se muestran en la Tabla 2.

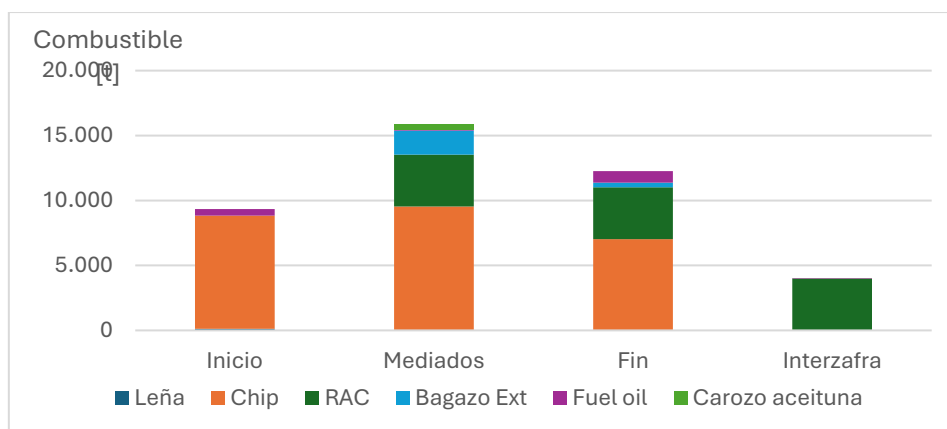


Figura 1- Consumo de combustibles adicionales en ingenios de Tucumán en diferentes etapas de la zafra, exceptuando el gas natural.

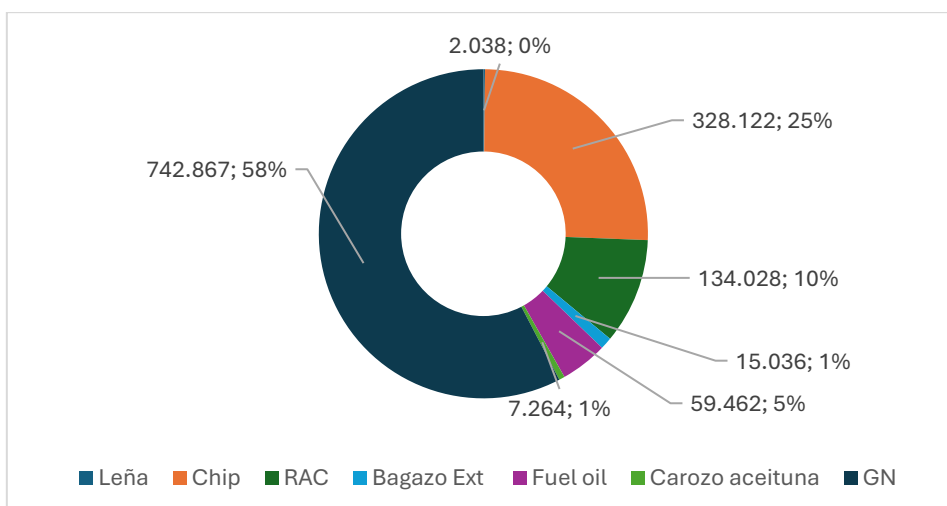


Figura 2- Energía consumida (GJ/año) en ingenios de Tucumán para cada combustible adicional.

Tabla 2. Resultados de cuantificación de biomasa de arranque.

Parámetros	Peso sin hojas ni raíces [kg/planta]	Densidad de biomasa [t/ha]
Promedio	251	74
Desviación estándar	66	17
Coeficiente de variación [%]	26	24

Los valores calculados de biomasa potencial húmeda y seca, de poda y arranque, se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultado de la estimación de biomasa de poda y arranque.

	Estado	Poda	Arranque	Total
Biomasa potencial [t/año]	Verde	162.525	106.824	269.349
	Seca	106.659	96.778	203.437
	Verde	146.273	96.142	242.414

Biomasa útil [t/año]	Seca	95.993	87.100	183.093
---------------------------------	-------------	---------------	---------------	----------------

En las Tablas 4, 5 y 6 se presentan los resultados de los análisis en laboratorio.

Tabla 4. Resultados de análisis inmediato de la biomasa de arranque.

Parámetros	Humedad b.h. [%]	Sólidos volátiles b.s. [%]	Cenizas b.s. [%]	Carbono fijo b.s. [%]
Promedio	22,99	79,44	3,58	16,99
Desviación estándar	6,72	0,84	0,61	0,82
Coeficiente de variación [%]	29	1	17	5

Tabla 5. Resultados de análisis elemental de la biomasa de arranque.

Parámetros	C b.s. [%]	H b.s. [%]	N b.s. [%]	S b.s. [%]	Cl b.s. [%]
Promedio	44,06	6,62	0,37	0,13	0,09
Desviación estándar	0,92	0,14	0,08	0,04	0,04
Coeficiente de variación [%]	2	2	21	30	51

Tabla 6. Resultados del análisis energético de la biomasa de arranque

Parámetros	PCS b.s. [kJ/kg]	Temperaturas de fusibilidad de cenizas en at. oxidativa [°C]			
		DT*	ST*	HT*	FT*
Promedio	18.327	996	>1500	>1500	>1500
Desviación estándar	437	148	-	-	-
Coeficiente de variación [%]	2	15	-	-	-

*DT: temperatura inicial de deformación; ST: temperatura de semiesfera; HT: temperatura de hemiesfera; FT: temperatura de fluidización.

Con los resultados obtenidos de la caracterización se obtuvo un valor de PCI de 13.986 kJ/kg para una humedad de 15%.

Del cálculo, el potencial energético de la biomasa de limoneros al 15% de humedad es de 2.560.695 GJ/año, representando un 52% a poda y un 48% a arranque.

Conclusiones

La caracterización de la biomasa de arranque arrojó resultados similares a los encontrados en ramas de poda y en congruencia con biomásas leñosas, aptas para su uso como combustible. El análisis de fusibilidad de cenizas en atmósfera oxidativa no llegó a fundir las cenizas, determinándose temperaturas de fusión de más de 1500°C. La temperatura de ablandamiento tuvo un valor promedio de 996°C, teniendo en cuenta que una caldera bagacera alcanza temperaturas entre 800 a 950 °C, no habría riesgo al utilizar la biomasa de limoneros en la misma proporción que se emplean actualmente las otras maderas (máximo 20% aproximadamente).

Reemplazando el chip junto con la leña que se consumen de otras maderas por chip de limoneros, se estarían utilizando 14% del total de la biomasa útil seca. En caso de reemplazar el total de la energía consumida con combustibles adicionales, se consumiría 59% de la biomasa útil seca de limoneros.

Bibliografía

Carreras Baldrés, J. I, C. Fandos, F. J. Soria, P. Scandaliaris, D. Figueroa, N. Aranda y H. Salas. Estimación del área implantada con cítricos en Tucumán en 2022 y comparación con años precedentes. 2022. Reporte Agroindustrial N°257.

Díaz G. F., G. Zamora Rueda, M. Mistretta, C. Gutierrez, F. Peralta, M. Golato y D. Paz. Estudio preliminar de la caracterización energética de la poda de limón en la provincia de Tucumán. 2017. RIAT 94 (2): 71-74.

Díaz G. F., M. E. Iñigo Martínez, D. Figueroa y D. Paz. "¿Cuánta biomasa residual genera la poda de limoneros en Tucumán? Estimación preliminar. 2020. Avance Agroindustrial 41-1: 40-43.

Rodríguez G., V. Paredes, D. Pérez. Dinámica comercial del cultivo de limón en Tucumán en el período 2019-2023. 2024. Reporte Agroindustrial N°307.

GASIFICACIÓN COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA EN LA INDUSTRIA SUCROALCOHOLERA DE TUCUMÁN, ARGENTINA

Franck Colombres, F.J*; Feijóo*E.A.; Garolera de Nucci, L.P. *, Díaz, G.F.* y M.C. Cruz*

* Sección Ingeniería y Proyectos Agroindustriales, EEAOC. federicofranck@eeaoc.org.ar

Palabras clave: destilería, etanol, bioenergía, proceso termoquímico, Cycle Tempo.

INTRODUCCIÓN

El sector azucarero representa la principal actividad agroindustrial de Tucumán, con 294.470 ha de caña, 14 ingenios azucareros y 11 destilerías anexas. Estas plantas industriales consumen energía térmica y eléctrica que, si bien se provee principalmente a partir de bagazo, también de fósiles, gas natural (GN) o fueloil.

El residuo agrícola de la cosecha de la caña (RAC) se emplea como cobertura del suelo, pero quedan aún remanentes sin aprovechar. Estos, mediante una tecnología adecuada, podrían emplearse para abastecimiento de energía de la industria sucroalcoholera. Los sistemas más difundidos para aprovechamiento energético de biomasa similares al RAC emplean tecnologías de combustión, sin embargo el RAC tiene características particulares, principalmente en cuanto a la baja temperatura de fusión de cenizas, que complican dicho proceso. La gasificación se presenta como una alternativa, ya que se realiza a temperaturas más bajas que la combustión. Además mediante gasificación se pueden lograr eficiencias mayores, y podría emplearse también con bagazo.

El objetivo de este trabajo es evaluar el aprovechamiento del RAC para abastecimiento energético de una planta sucroalcoholera tipo de Tucumán mediante gasificación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Cuantificación, valoración y logística de la biomasa

En Tucumán se estima una generación de RAC de 150 kg base seca (b.s.) por TC (tonelada de caña) y se recomienda extraer entre el 30% y 70% en función de las condiciones agroecológicas, con una media del 50%. La humedad del RAC al momento de la cosecha (40-50%) es alta para gasificación, pero con secado natural a campo de entre 10 y 15 días, puede llegar a 15%, con la cual es apta para gasificar. En base a Feijóo (2018), se propone el esquema de logística del RAC de la Figura 1, con un consumo de gasoil de 13,22 l/t RAC.

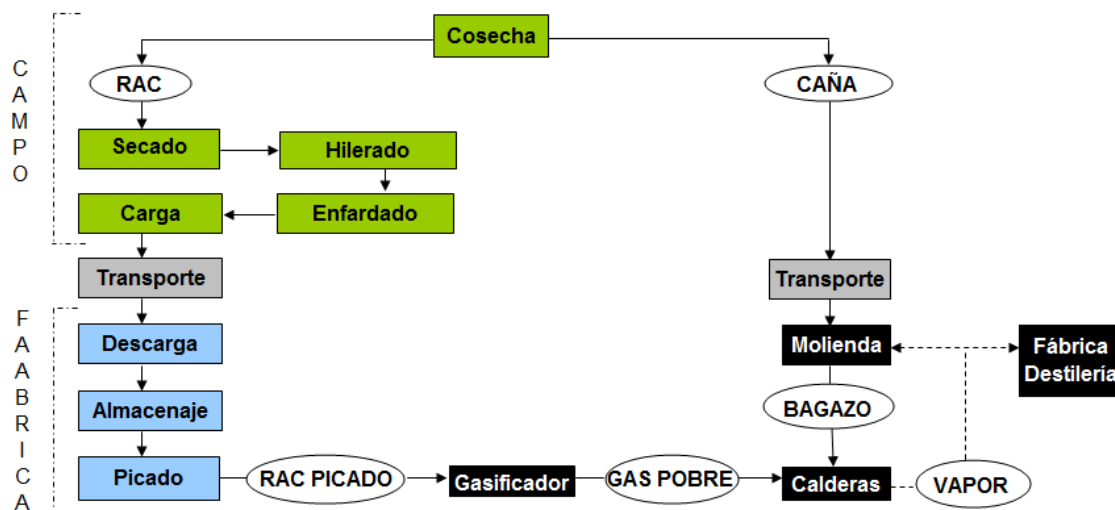


Figura 1. Logística del RAC para su aprovechamiento energético.

Caso Base

Tucumán cuenta con 11 destilerías anexas a ingenios azucareros, con diferentes capacidades y esquemas productivos, que emplean como materia prima para la producción de etanol fluidos azucarados de distintas procedencias y en diferentes proporciones, con lo cual varían las cantidades relativas de azúcar y alcohol producidas y el consumo energético del proceso. Un proceso que maximice la cantidad de azúcar a obtener consume relativamente menos vapor, por ello se asumió una planta hipotética que emplee todo el jugo de la caña para blanco directo, produzca alcohol con la miel final y concentre la vinaza (Tabla 1).

Tabla 1. Datos de entrada para la resolución de los balances.

zafra (producción de azúcar y alcohol)	150	días
interzafra (producción sólo de alcohol)	180	días
molienda	15.000	t/día
humedad bagazo	51,4	%caña
Jugo	100	%caña
azúcar	10,79	%caña
melaza	4,58	%caña
vapor escape	55	%caña
alcohol total producido	12,3	l/TC
consumo de vapor en destilería	4,5	kg vapor/l de alcohol
consumo de vapor en deshidratadora	2,5	kg vapor/l de alcohol
vinaza cruda	11	l vinaza/l alcohol
concentración vinaza cruda	10	Bx
concentración vinaza concentrada	35	Bx
vapor en concentración de vinaza	0,35	kg vapor/l vinaza
temperatura (t) del vapor	320	°C
presión (p) del vapor	21	bar
temperatura del agua alimentación	95	°C
rendimiento calderas a bagazo (η_B)	62	%
rendimiento calderas a GN (η_{GN})	76,3	%

Balances de materia y energía del caso base

A partir de los datos de Tabla 1 se determinó la molienda anual, la producción de azúcar y melaza, la capacidad de almacenamiento de melaza requerida y la capacidad de producción de etanol requerida por la destilería, considerando que opera a plena carga, en forma constante, tanto en zafra como en interzafra.

Se determinó la cantidad de bagazo (B) generado con la molienda, y con ella, teniendo en cuenta rendimiento de calderas y entalpías (h) del vapor (h_v) y del agua (h_a), se determinó la cantidad de vapor (V) generada a partir del mismo (V_B) mediante Ec. 1. Se determinó el vapor en zafra, luego se calculó la cantidad de vapor generado con GN durante zafra (V_z), como la diferencia entre el vapor total en zafra y el V_B , y con la Ec. 2 se determinó la cantidad de GN consumida en zafra (GN_z).

$$\text{Ec. 1: } V_B = \frac{\eta_B \cdot B \cdot PCI_B}{(h_v - h_a)}$$

$$\text{Ec. 2: } GN_z = \frac{V_z \cdot (h_v - h_a)}{\eta_{GN} \cdot PCI_{GN}}$$

De igual manera se determinó el consumo de vapor en interzafra (V_i) y en forma análoga se determinó el consumo de GN en interzafra (GN_i).

Los caudales másicos se expresaron en kg/h y las entalpías y poderes caloríficos en kJ/kg.

Aprovechamiento del gas pobre

Se propone la combustión del GP, en primera instancia para la generación de energía térmica únicamente. Así, el GP podría aprovecharse de distintas maneras: caliente, como sale del gasificador, o limpio y frío; en calderas existentes o en instalaciones nuevas diseñadas para tal fin; como único combustible, o en conjunto con bagazo u otros; o podrían plantearse combinaciones de las alternativas anteriores. En este caso, se analizó a modo de ejemplo la alternativa de usar GP caliente en una caldera existente de GN.

La selección del tipo específico de gasificador dependerá de múltiples factores (Franck Colombres, 2017), en este caso, si bien por el uso propuesto del gas pobre (GP) mediante combustión, los requerimientos del gas no serían muy exigentes, se seleccionó un gasificador de lecho fluidizado, ya que es un proceso continuo y permitiría a futuro realizar mejoras para generación de energía adicional, en un sistema integrado con turbina de gas.

Gasificación de la biomasa residual

El desempeño de los gasificadores se evaluó en este caso mediante la eficiencia de gas caliente (η_c), relación entre la energía del GP (E_{GP}), obtenida con el PCI del GP (PCI_G) más su entalpía (h_{GP}), y la energía entregada con el PCI del combustible (PCI_{Comb}), despreciando la energía de equipos auxiliares, según Ec. 3 y 4 (donde cp: calor específico, r: referencia).

$$\text{Ec. 3: } \eta_c = \frac{GP.(PCI_{GP} + h_{GP})}{Comb.PCI_{Comb}}$$

$$\text{Ec. 4: } h_{GP} = cp_{GP} \cdot (t_{GP} - t_r)$$

Para estimar la eficiencia de gasificación primero se obtuvo la composición de los gases que abandonan el reactor a partir del planteo y resolución de un modelo de equilibrio termodinámico. Se asumió una base de 1 kg/h de RAC y se plantearon los balances de materia asumiendo una conversión del carbono del 85%, temperatura de reacción de 850 °C y sistema adiabático. Suponiendo que los gases resultantes están conformados únicamente por CO₂, CO, CH₄, H₂, N₂ y H₂O, se determinó la composición resultante considerando las constantes de equilibrio K_1 y K_2 , las cuales fueron obtenidas de Rodríguez *et al.* (2010). Se conformó así un sistema de 9 ecuaciones con 9 incógnitas (factor de aire y caudal, PCI y contenido de CO₂, CO, CH₄, H₂, N₂ y H₂O del GP) que se resolvió empleando el método de optimización lineal sujeto a múltiples restricciones.

Combustión del gas pobre en una caldera de gas natural

Para evaluar la posibilidad y eficiencia de combustión del GP en una caldera se realizó un análisis comparativo a partir del ensayo de una caldera de GN, manteniendo el volumen de gases reales en la cámara de combustión. Para ello se determinaron en primer lugar las pérdidas porcentuales por radiación, convección e indeterminadas de la caldera con GN a partir del método indirecto y, manteniendo dichas pérdidas, se estimó

luego el rendimiento con el GP. Se asumió para la combustión del GP un factor de dilución de 1,10. Empleando el método de Broido (Wohlenberg y Mullikin, 1935) se obtuvo la eficiencia de la radiación en cada caso, con ello se determinó el calor transferido por radiación en la cámara de combustión y la entalpía y temperatura de los gases remanentes en la combustión de GP. Manteniendo los coeficientes de transferencia de calor en el sobrecalentador y el haz convectivo se calculó la temperatura final de los gases y nuevamente por el método indirecto se calculó el rendimiento de la caldera.

La mencionada caldera es de tipo acuotubular compacta a GN de 450 m² de superficie, con una producción nominal de 48 t/h a 18 kg/cm² y 320°C. Durante los ensayos la caldera produjo 22,2 t/h de vapor de 17,5 ata y 316,9 °C. Se registró 1,8% de O₂ en los gases en base seca. La temperatura del agua de alimentación fue de 106,8 °C, la del aire de 35,9°C y la temperatura final de los gases de 316,9 °C.

Balance global

Con el rendimiento de caldera con GP (η_{GP}) y la E_{GP} se calculó el equivalente GP-GN

(E_{GP-GN}) según Ec. 5. Con la relación GP/RAC, se determinó el requerimiento de RAC.

$$\text{Ec. 5: } E_{GP-GN} = \frac{PCI_{GN} \cdot \eta_{GN}}{E_{GP} \cdot \eta_{GPC}}$$

Emisiones de dióxido de carbono

Para estimar la reducción potencial de gases de efecto invernadero (GEI) se calculó el CO₂ liberado en la logística del RAC considerando 2.650 g de CO₂ /l (Feijóo, 2018), y se lo comparó con el producido por el GN, obtenido de los balances para combustión de GN.

RESULTADOS

Balances del caso base

Las Figuras 2 y 3 representan los resultados de los balances para el caso base, en los períodos de zafra e interzafra respectivamente. El ingenio tipo muele 15.000 TC/día, produce 1619 t/día de azúcar y 687 t/día de melaza, de las cuales 375 almacena para interzafra y 312 emplea para la producción de 84 m³/día de etanol que se deshidratan para obtener 80 m³/día de bioetanol. Por año muele 2.250.000 t de caña, produce 242.775 t de azúcar, 26,5 millones de litros de bioetanol, consume 28,8 millones de Nm³ de GN, y se dejan en el campo 397.058 t de RAC (considerado al 15% de humedad).

Gasificación del RAC con el modelo propuesto

En Figura 4 los resultados para la gasificación. Se requieren 1,912 kg de aire por kg de RAC, con el cual se obtienen 2,763 kg de GP por kg de RAC con un PCI de 2057 kJ/kg.

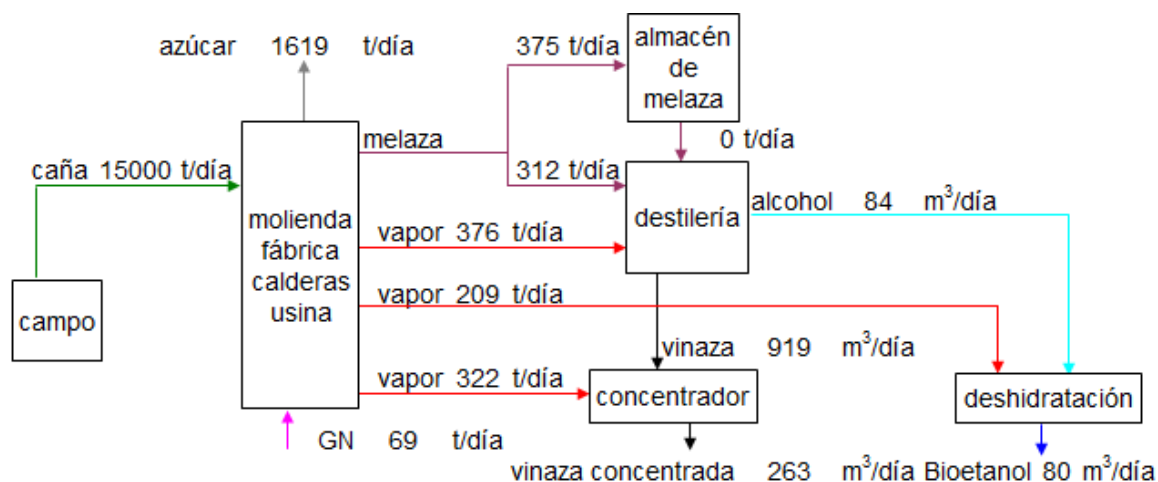


Figura 2. Resultados de los balances para el caso base durante el período de zafra.

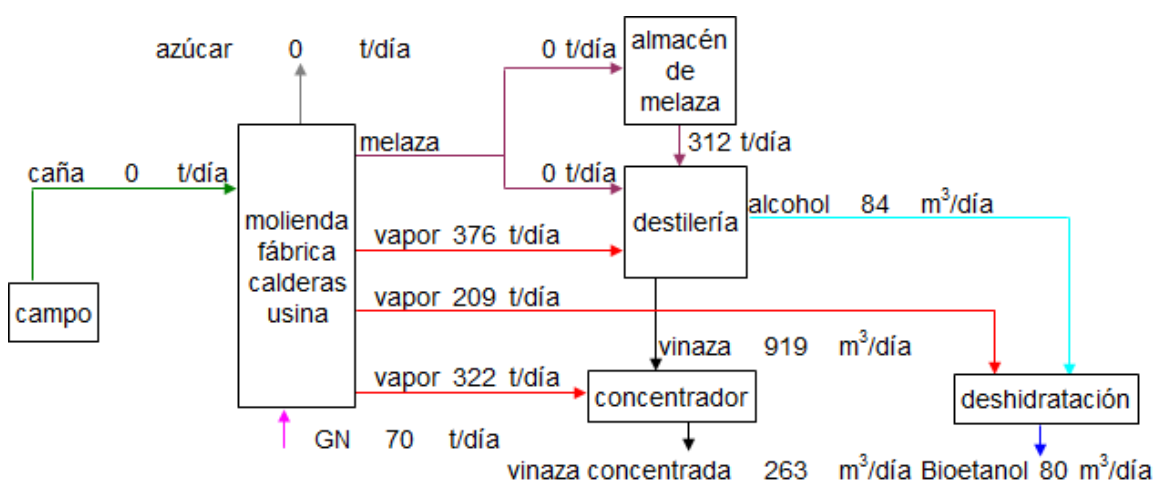


Figura 3. Resultados de los balances para el caso base durante interzafra.

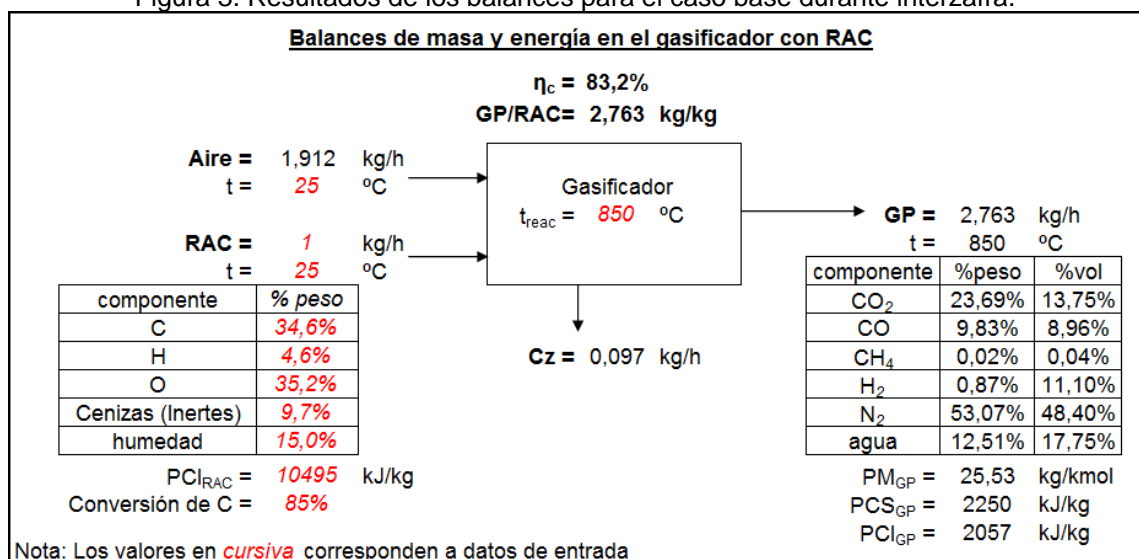


Figura 4. Resultados de balances para la gasificación de RAC.

Combustión de gas pobre en caldera de gas natural

Con GN, se obtuvo 76,28% de eficiencia, pérdidas por calor sensible de 13,18%, por combustión incompleta (CO) de 0,05%, y por radiación, convección e indeterminadas de 10,49%. La eficiencia de la radiación fue 51,69%. El coeficiente de transferencia del haz convectivo fue 60 kcal/m² °C, la temperatura de gases a la salida del hogar 973°C, y la temperatura media del hogar 1341°C. Para GP la pérdida por calor sensible fue 14,85%, la eficiencia de radiación 51,26% y la eficiencia de la caldera 74,67%. La temperatura a la salida del hogar 939 °C y la temperatura media del hogar 1286°C. En comparación con la operación con GN, la capacidad de producción de vapor aumentaría un 3% con GP. La temperatura del vapor sobrecalentado sería 2% menor por lo que podría llegar a ser necesario modificar sobrecalentadores y revisar operación de atemperadores. El caudal de aire de combustión disminuiría 44%, y el de gases efluentes aumentaría 7%, con lo cual los ventiladores de tiro forzado e inducido deberían ser regulados o modificados para las nuevas condiciones. Los quemadores de GP deberían operar con caudales volumétricos de mezcla (gas-aire) a condiciones reales, alrededor de 150% mayores que para GN, por lo que deberían ser más grandes que los de GN o emplearse más quemadores.

Requerimientos de RAC

Se requiere recolectar durante zafra 780 t/día de RAC, 351 t/día necesarias para reemplazar 69 t/día (86.600 Nm³/día) de GN consumido en zafra, y 428 t/día a almacenar para interzafra, las que se usarían a razón de 357 t/día para reemplazar las 70 t/día (88.000 Nm³/día) de GN consumido en interzafra.

El RAC recolectado en zafra (780 t/día) representa un 29% del correspondiente a la caña molida (2647 t/día), es decir que, aun habiendo asumido valores conservadores, habría suficiente RAC para la propuesta en cualquier región de la provincia y quedarían aún excedentes para otros usos, considerando los porcentajes de recolección recomendados.

Reducción de gases de efecto invernadero

La combustión de cada kg de GN produce 2,65 kg CO₂. Con lo que se emiten 61.174 kg de CO₂ al año. El CO₂ producido por la combustión del gasoil en la logística del RAC es de 30 kg CO₂/t RAC, con lo cual la logística del RAC representaría anualmente 3483 kg CO₂, es decir, se podría lograr una reducción de 57691 kg de CO₂ por año, que representa una reducción del 94,3% respecto a la combustión de GN.

CONCLUSIONES

Una planta sucroalcoholera tipo de Tucumán, de 15.000 TC/día de capacidad, anualmente muele 2.250.000 t de caña, produce 242.775 t de azúcar, 26,5 millones de litros de bioetanol, consume 28,8 millones de Nm³ de GN, y deja 397.058 t de RAC en el campo, del cual podría extraerse entre un 30% y 70% según su región agroecología. La gasificación podría emplearse para reemplazar el consumo de GN. Empleando en calderas GP caliente generado en gasificadores de lecho fluidizado con aire, se requerirían 116.932 t de RAC al año, que representan un 29% del RAC correspondiente a la respectiva caña molida, por lo que aún quedaría RAC disponible para otros usos. La cantidad de CO₂ producido por la combustión del gasoil en la logística del RAC es 3,5 t de CO₂/año, mientras que la emitida con gas natural en calderas es 61 t de CO₂/año, es decir, una reducción de GEI del 94,3%.

BIBLIOGRAFIA CITADA

Feijóo, E.A. 2018. Análisis de diferentes opciones logísticas para el uso de residuos agrícolas de la caña de azúcar con fines energéticos en Tucumán. Tesis Especialización en Ingeniería Bioenergética. Universidad Tecnológica Nacional.

Franck Colombres, F.J. 2017 La gasificación como alternativa para generación distribuida de energía eléctrica a partir de biomasas residuales de Tucumán. Tesis Especialización en Ingeniería Bioenergética. Universidad Tecnológica Nacional.

Rodríguez A.D; A. Zaleta Aguilar; A. Olivares Arriaga y F.F. Torres Chimal. 2010. Análisis y diseño de un sistema de gasificación de biomasa. Memorias del XVI congreso internacional anual de la SOMIM, México.

Wohlenberg, W.J. y H.F. Mullikin. 1935. "Review of Methods of Computing Heat Absorption in Boilers Furnaces". A.S.M.E. vol. 57.

INFLUENCIA DE ÓXIDOS ALCALINOS EN LOS COMPONENTES VOLÁTILES DE BAGAZO Y RAC DE CAÑA DE AZÚCAR DE TUCUMÁN, ARGENTINA

Golato, M.A.*; Kamiya, N.* y A. M. Avila**

*Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) - Tucumán, Argentina

mgolato@eeaoc.org.ar; normakamiya@eeaoc.org.ar

**INQUINOA – CONICET – FACET-UNT aavila@herrera.unt.edu.ar

Palabra claves: biocombustibles, aprovechamiento energético, pirólisis

INTRODUCCIÓN

Debido a la crisis energética actual y al elevado consumo proyectado a futuro de los combustibles de origen fósil, se están buscando alternativas amigables con el medioambiente para la diversificación de una matriz energética. En nuestro país, dicha matriz se encuentra condicionada por el excesivo consumo de petróleo y gas natural. Los procesos termoquímicos de gasificación y pirólisis de biomasa son alternativas viables que tienden a equilibrar la matriz energética de un país y resultan más sustentables en el tiempo, ya que son de las tecnologías de origen renovables que mejor aprovechan la biomasa como fuente de energía (Nogués *et al.* 2010).

El proceso de gasificación consiste en la oxidación parcial de las moléculas de carbono a temperaturas entre 800 a 1100°C para obtener un gas combustible con cierto valor energético (4 a 6 MJ/Nm³), compuesto fundamentalmente por (CO, CO₂, H₂, N₂ y CH₄). Además, se obtienen subproductos que dependen del tipo de reactor y de la composición de la biomasa, el gas producido puede contener impurezas como amoníaco (NH₃), sulfuro de hidrógeno (H₂S), cloruro de hidrógeno (HCL), material particulado y alquitranes.

Para un posible aprovechamiento de los gases producto de la gasificación de biomasa, es necesario la limpieza y purificación de los mismos por medio de un sistema de acondicionamiento que permita la eliminación de las impurezas que se generan. Entre los más importantes a eliminar se encuentran los alquitranes, cuya composición y formación dependerá del tipo de biomasa, diseño y temperatura de operación del reactor (Ren *et al.*, 2020). Trabajos previos demostraron que el uso de catalizadores metálicos alcalinos (K, Na, Ca y Mg), pueden ser efectivos para la eliminación de alquitranes en procesos de gasificación de biomasa (Samsudin *et al.*, 2011).

El objetivo del presente estudio fue evaluar la producción de volátiles durante un proceso de pirólisis de biomasa con el agregado de óxidos mayoritarios de Ca, Mg, Na y K, como agentes promotores de la reacción termoquímica y comparar los resultados con el caso tomado de referencia (biomasa original sin óxidos). Estos óxidos producirían un efecto catalizador en las reacciones de pirólisis, logrando una reducción en la formación de alquitranes y otros contaminantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

La preparación de las muestras de bagazo y de RAC de caña de azúcar para el análisis termogravimétricos (TGA), se realizaron tomando como base la concentración de metales mayoritarios a: silicio (Si), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K), hierro (Fe), aluminio (Al), titanio (Ti), fósforo (P) y azufre (S), según Melissari, 2014. Las determinaciones de estos elementos 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 mismos se expresaron como óxidos, según la estequiometría de las reacciones de oxidación, siguiendo la metodología propuesta por Golato (2021). La Figura 1 muestra cómo se definió en este estudio la composición de una unidad de biomasa inicial (m_o), la misma se encuentra formada por la masa de humedad (m_w), la masa de sólidos volátiles (m_{sv}), la masa de carbono fijo (m_{cf}) y la masa de cenizas (m_{cz}).

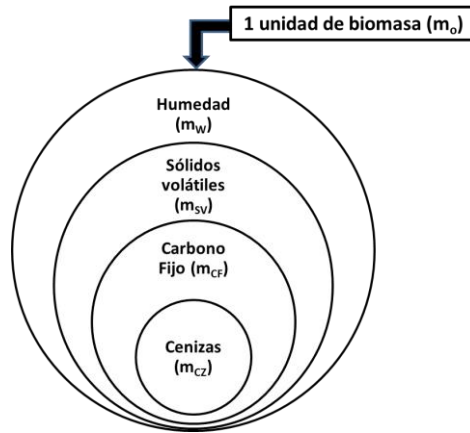


Figura 1. Composición inmediata adoptada en el presente estudio para una unidad de biomasa original (m_0).

Las cantidades de masa correspondientes se relacionan a través de las Ec. 1, 2 y 3. La suma entre las masas de carbono fijo (m_{CF}), masa de cenizas (m_{CZ}) y la masa de volátiles (m_{SV}), representa la masa seca de biomasa (m_S) (Ec.2). La cantidad de materia orgánica (m_{MO}), se determinó por medio de la diferencia entre m_S y m_{CZ} (Ec.3).

$$m_0 = m_W + m_{SV} + m_{CF} + m_{CZ} \quad (\text{Ec.1})$$

$$m_S = m_{CF} + m_{CZ} + m_{SV} \quad (\text{Ec.2})$$

$$m_{MO} = m_{SV} + m_{CF} = m_S - m_{CZ} \quad (\text{Ec.3})$$

Para las determinaciones de los contenidos de sólidos volátiles (SV), carbono fijo (CF), cenizas (CZ) y humedad (W), se utilizó una equipo analizador termogravimétrico (TGA), marca LECO, modelo TGA701. Este equipo registra la pérdida de masa en función del tiempo y de la temperatura. Luego, por medio de un software de análisis de datos se determinaron las curvas de porcentaje de pérdida de peso para las biomásas analizadas, definidas como pérdida de masa (TG %) y la primera derivada de la función TG (DTG %/mín.), que indica la velocidad de la descomposición de la biomasa en función de la temperatura y del tiempo. En la Tabla 1 pueden observarse las rampas de calentamiento adoptadas en el TGA701 para las determinaciones de W, SV y CZ. Para considerar el efecto de la gasificación de biomasa y mantener condiciones estables alrededor de la muestra, se utilizó nitrógeno a 2,4 bar de presión y con un flujo bajo de 3,5 lpm.

Tabla 1. Rampas de velocidad adoptadas en los ensayos de TGA del presente estudio.

Parámetro evaluado	Rampas de velocidad adoptadas (°C/min)	
	Ensayo 1 (E1)	Ensayo 2 (E2)
Humedad (w)	13	3
Volátiles (SV)	40	10
Cenizas (CZ)	6	1

Para evaluar la influencia de los óxidos alcalinos en el proceso de pirólisis de la materia por efecto de la temperatura y del tiempo, se procedió a fortificar las muestras de biomasa con un óxido comercial puro para lograr concentraciones de 5,0%; 10,0% y 15,0%. En total se formularon 24 muestras para bagazo y otras 24 para RAC de caña de azúcar de Tucumán, Argentina, con diferentes concentraciones de óxidos alcalinos,

más las dos muestras originales de bagazo y RAC (ver Tabla 2). Los óxidos comerciales puros adoptados fueron: óxido de calcio (CaO), óxido de magnesio (MgO), óxido de sodio (Na₂O) y fosfato dipotásico (KH₂PO₄).

Tabla 2. Formulación de las muestras fortificadas de bagazo y RAC de caña de azúcar con óxidos comerciales puros para el presente estudio.

Muestra	BAGAZO	Muestra	RAC
M1	Bagazo original	M14	RAC Original
M2	1,9g Bzo + 0,1 g CaO	M15	1,9g RAC + 0,1 g CaO
M3	1,8g Bzo + 0,2 g CaO	M16	1,8g RAC + 0,2 g CaO
M4	1,7g Bzo + 0,3 g CaO	M17	1,7g RAC + 0,3 g CaO
M5	1,9g Bzo + 0,1 g MgO	M18	1,9g RAC + 0,1 g MgO
M6	1,8g Bzo + 0,2 g MgO	M19	1,8g RAC + 0,2 g MgO
M7	1,7g Bzo + 0,3 g MgO	M20	1,7g RAC + 0,3 g MgO
M8	1,9g Bzo + 0,1 g Na ₂ O	M21	1,9g RAC + 0,1 g Na ₂ O
M9	1,8g Bzo + 0,2 g Na ₂ O	M22	1,8g RAC + 0,2 g Na ₂ O
M10	1,7g Bzo + 0,3 g Na ₂ O	M23	1,7g RAC + 0,3 g Na ₂ O
M11	1,9g Bzo + 0,1 g KH ₂ PO ₄	M24	1,9g RAC + 0,1 g KH ₂ PO ₄
M12	1,8g Bzo + 0,2 g KH ₂ PO ₄	M25	1,8g RAC + 0,2 g KH ₂ PO ₄
M13	1,7g Bzo + 0,3 g KH ₂ PO ₄	M26	1,7g RAC + 0,3 g KH ₂ PO ₄

Para valorar las cantidades de SV y CZ producidas durante la degradación de la materia orgánica, se definieron los índices de sólidos volátiles (ISV) y de cenizas (ICZ), a partir de las ecuaciones Ec.4 y Ec.5, respectivamente.

$$\text{Índice de volátiles: } ISV = \frac{m_{SV}}{m_{MO}} \cdot 100 = \frac{m_{SV}}{(m_S - m_{CZ})} \cdot 100 \quad (\text{Ec.4})$$

$$\text{Índice de cenizas: } ICZ = \frac{m_{CZ}}{m_{MO}} \cdot 100 = \frac{m_{CZ}}{(m_S - m_{CZ})} \cdot 100 \quad (\text{Ec.5})$$

RESULTADOS

La Figura 2 muestra el resultado del análisis de TGA realizado en la muestra de RAC original para velocidades E1 y E2. Puede verse que la producción de volátiles se logró en ambas velocidades entre los 200°C y 400°C. Pero con velocidad E2 la tasa variación de la velocidad de pérdida de peso fue mayor entre 220°C y 350°C, acentuándose la curva hasta los 550°C donde se liberan por completo los volátiles. El máximo flujo de volátiles que se desprenden de la biomasa fue alrededor 480°C con velocidad E1 (ver curva E1-DTG %/mín) y para E2 a 350°C (ver curva E2-DTG %/mín). Se encontró para la muestra de RAC original con velocidad E1, contenidos de W = 9,10%, SV = 72,54%, CF = 16,96% y CZ = 10,50%; y para velocidad E2, se obtuvieron contenidos de W = 9,16%, SV = 70,15%, CF = 19,24% y CZ = 6,61%. El análisis TGA mostró que la velocidad de pérdida de humedad fue mayor con rampa de temperatura E1 en relación a E2.

La Figura 3 muestra una comparación de los resultados TGA realizados en RAC Original y velocidad E2, con agregados de KH_2PO_4 para lograr las concentraciones de 5%, 10% y 15% en biomasa. Puede verse que el RAC fortificado con óxidos comienza a liberar volátiles a menor temperatura alrededor de los 200°C. Los óxidos afectan levemente la etapa inicial de eliminación de humedad (hasta 100°C), y no provocan cambios en el contenido de humedad final (entre 100° a 150°C). No obstante, se observaron variaciones en las concentraciones finales de SV y CZ.

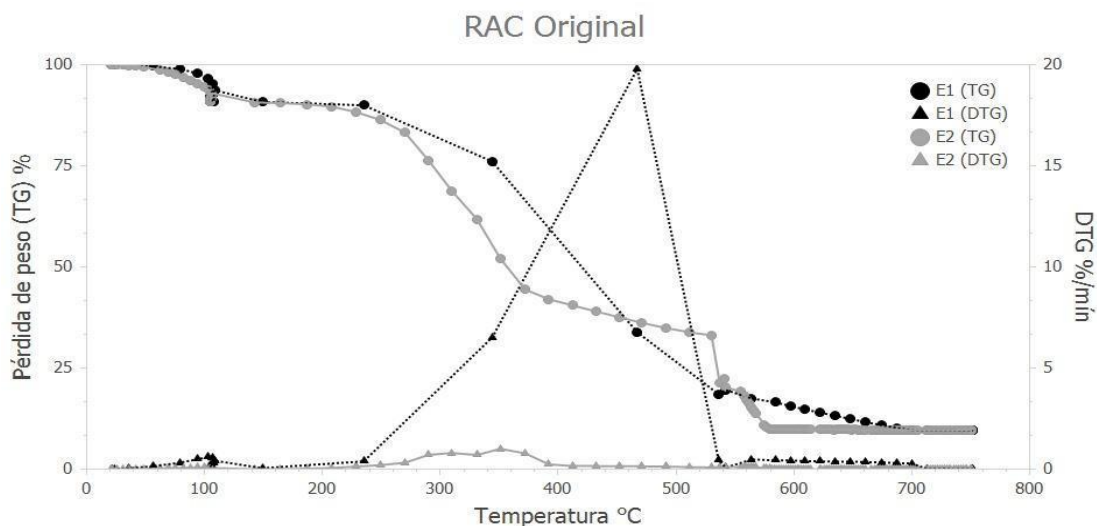


Figura 2. Comparación de los resultados de TGA para velocidades de calentamiento E1 y E2 en muestras RAC original de Tucumán, Argentina.

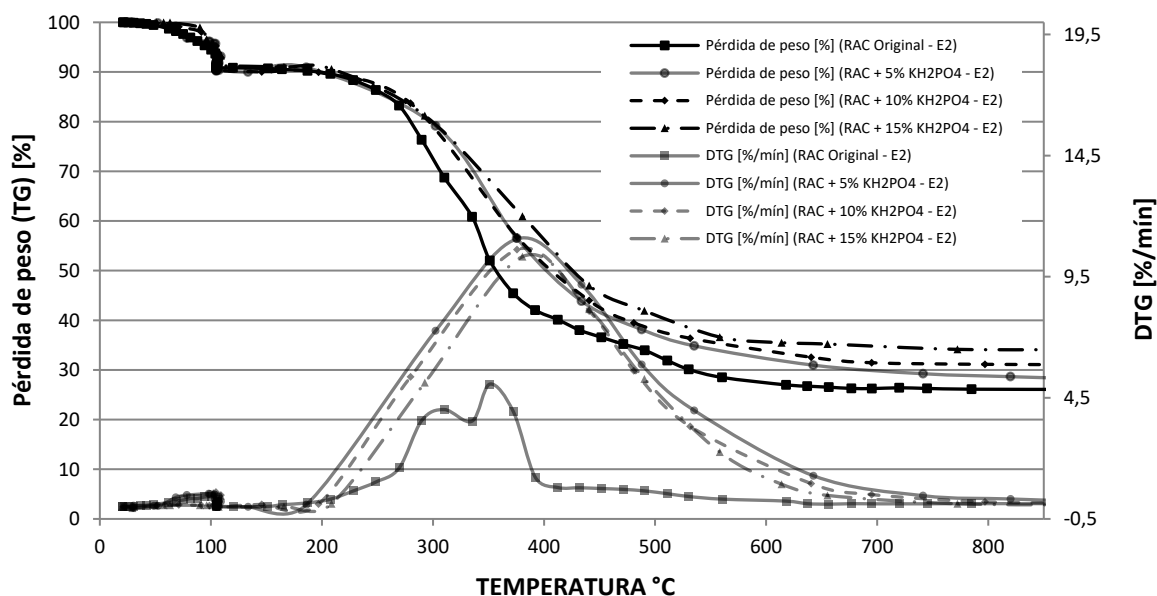


Figura 3. Comparación de curvas de pérdida de masa con velocidad E2 para RAC con agregados de 5%, 10% y 15% de KH_2PO_4 respecto al RAC Original de Tucumán, Argentina.

Las Figuras 4 y 5 muestran los incrementos logrados en ISV e ICZ para 15% de óxidos alcalinos en Bagazo y en RAC de caña de azúcar de Tucumán. El mayor aumento en producción de ISV se logró con Na_2O (66,4%), seguidos por KH_2PO_4 (49,3%) y MgO (44,4%) en relación al bagazo original. En RAC los mayores aumentos de volátiles también se alcanzaron con Na_2O (63,5%), seguidos por KH_2PO_4 (44,9%) y MgO (31,4%) en relación al RAC original. Para la concentración del 15% de óxidos en biomasa, la

mayor producción de volátiles en relación al contenido de cenizas producido (ISV/ICZ), se logró en bagazo con CaO (1,95) y KH_2PO_4 (1,89). Asimismo, en RAC la mayor relación fue con MgO (1,80), seguido del CaO (1,58).

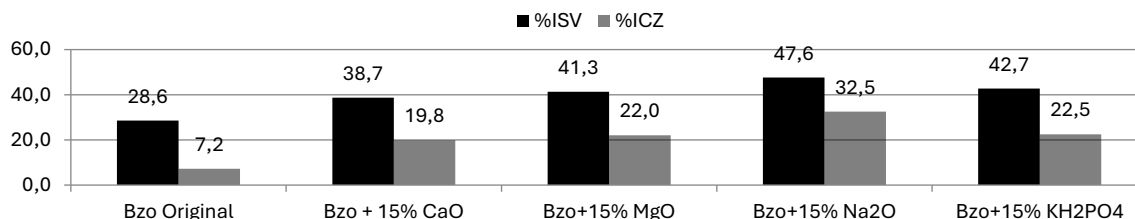


Figura 4. Índices de productividad ISV y ICZ para 15% de óxidos alcalinos en bagazo de caña de azúcar con velocidad E2.

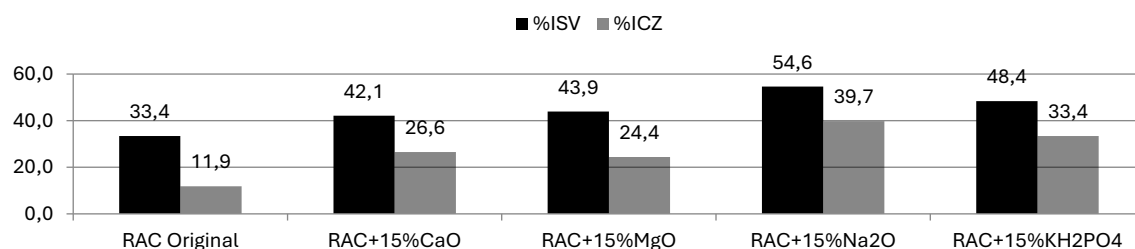


Figura 5. Índices de productividad ISV y ICZ para 15% de óxidos alcalinos en RAC de caña de azúcar con velocidad E2.

CONCLUSIONES

Se demostró que la adición de óxidos alcalinos en bagazo y RAC de caña de azúcar, previo a un proceso termoquímico de pirólisis, afecta la producción de volátiles y cenizas. Concentraciones elevadas de óxidos en biomasa (15%), provocaron los mayores aumentos de producción de volátiles en relación a la biomasa original, resultando más efectivo el CaO y KH_2PO_4 en bagazo; y MgO y CaO en RAC. Se destaca la importancia de los óxidos alcalinos como promotores que mejoran la eficiencia y el rendimiento de la conversión de biomasa. Estos compuestos se encuentran en la vinaza residual de destilerías de bioetanol de caña de azúcar, por lo que resultaría favorable el estudio de la misma como mejorador de las reacciones de conversión de la biomasa en energía.

BIBLIOGRAFÍA

- Golato, M. A., 2021.** Estudio de la variación de la temperatura de fusión de cenizas de calderas de biomasa en función de sus componentes ácidos y básicos. Tesis de Magíster en Ingeniería Bioenergética, UTN, FRT. Disponible en: <https://ria.utn.edu.ar>
- Jie Ren, Yi-Ling Liu, Xiao-Yan Zhao, Jing-Pei Cao. 2020.** Biomass thermochemical conversion: A review on tar elimination from biomass catalytic gasification. Journal of the Energy Institute 93 (3): pp 1083-1098, ISSN 1743-9671, <https://doi.org/10.1016/j.joei.2019.10.003>.
- Melissari, B. 2014.** Ash related problems with high alkali biomass and its mitigation - Experimental evaluation. Memoria Investigaciones en Ingeniería, num. 12, ISSN 2301-1092, ISSN (en línea) 2301-1106.
- Nogués, F.S; D. García Galindo y A. Rezeau. 2010.** Energías Renovables. Energía de la Biomasa. 1º Edición, Volumen 1 Prensa Universitaria de Zaragoza, Zaragoza- España.
- Samsudin, A. y Z.A. Zainal, 2011.** Tar reduction in biomass producer gas via mechanical, catalytic and thermal methods: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15 (5): 2355-2377. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.018>.

SENSIBILIDAD DE LOS COMPONENTES MAYORITARIOS EN LA FUSIBILIDAD DE CENIZAS DE BAGAZO Y RAC DE CAÑA DE AZÚCAR DE TUCUMÁN, ARGENTINA

Golato, M.A.; Zamora Rueda, G. Del H.; Gutiérrez, C. E.; Peña Malavera, A. N.; Feijóo, E.A. y R. M. Ruiz

Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) de Tucumán, Argentina
mgolato@eeaoc.org.ar

Palabras clave: biomasa, biocombustibles, composición química, combustión.

INTRODUCCIÓN

Se examina el aprovechamiento de los residuos de cosecha de caña de azúcar (RAC) y del bagazo de la caña de azúcar, para la generación de energía en calderas de vapor. Estas biomásas presentan una buena disponibilidad y características favorables comparadas con otras biomásas de la región para la producción de energía. Sin embargo, el uso eficiente de los biocombustibles sólidos se ven obstaculizados por sus características inherentes y los elevados costos de inversión necesarios para su recolección, densificación, transporte y distribución.

Por ello, es importante rediseñar y/o adecuar los generadores de vapor que utilizan biomasa residual como combustible, dado que estos sistemas deben enfrentar diversas características regionales como calidad de suelos, clima y tecnología de recolección. Además, se identifican problemas frecuentes durante la combustión de biomasa en calderas, asociados a la presencia de cenizas con componentes inorgánicos que impactan negativamente el proceso de incineración. Estos problemas incluyen fenómenos de corrosión, erosión, deposición y escorificación, observados en generadores de vapor de la región (Baxter *et al.*, 1998).

Las cenizas del bagazo y RAC contienen componentes ácidos (CA) y básicos (CB) que afectan sus temperaturas de fusión. Los CA están formados por sales y óxidos de silicio (Si), aluminio (Al) y titanio (Ti), mientras que los CB consisten en sales y óxidos de hierro (Fe), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na) y potasio (K). El fósforo (P), aunque su óxido (P_2O_5) es ácido, se considera junto con los CB debido a su comportamiento.

Las características ácidas o básicas de las cenizas influyen en su reactividad y capacidad para formar compuestos ácidos o básicos, dependiendo de la composición química y la atmósfera circundante. Por ejemplo, el aluminio y el hierro pueden formar compuestos ácidos en presencia de agua o ácido sulfúrico, mientras que el silicio puede formar ácido silícico en ciertas condiciones. Por otro lado, el Ca, Mg, Na y K, comúnmente encontrados como óxidos o hidróxidos en las cenizas, exhiben propiedades básicas.

El bagazo de caña de azúcar y el RAC, son biomásas residuales del tipo lignocelulósicas y tienen un gran potencial para la generación de energía. No obstante, enfrentan desafíos significativos relacionados con los costos de manejo y problemas técnicos que se presentan durante la combustión que requieren un diseño adecuado de los generadores de vapor y una comprensión detallada de las características químicas de las cenizas producidas.

El objetivo del presente estudio es dar a conocer los resultados del análisis estadístico multivariado realizado sobre datos de composición de cenizas fortificadas de bagazo y RAC de caña de azúcar para determinar la sensibilidad de los mismos sobre la fusibilidad de sus cenizas. Estos resultados ayudarían a comprender los problemas que se presentan en las calderas de vapor asociado a la fusión de cenizas en parrillas, sobrecalentadores, etc. Además, permitirían modificar la regulación de la caldera para un determinado biocombustible sólido adicional que se desee utilizar.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se encuentra basado en un trabajo previo de caracterización de cenizas de bagazo y RAC de caña de azúcar (Golato *et al.*, 2023), donde se procesaron 30 muestras de bagazo y 30 muestras de RAC, provenientes de ingenios y campos cañeros tucumanos, durante las zafras azucareras 2016, 2017, 2018 y 2019. Todas las muestras analizadas pertenecieron a la variedad LCP85-384. Las muestras de bagazo fueron tomadas inmediatamente antes del ingreso del combustible en las calderas de vapor y las muestras de RAC se recolectaron aproximadamente a los 15 días posteriores a la cosecha de la caña. Las muestras se secaron en estufa eléctrica, marca ORL, con circulación de aire forzado y control automático de temperatura, a 105°C hasta alcanzar peso constante. Posteriormente se acondicionaron a un tamaño de partícula uniforme (promedio menor a 2 mm), utilizando un molino a cuchillas, marca Fritsch, modelo Pulverisette 19. Los estudios de caracterización se llevaron a cabo en el Laboratorio de Ensayos y Mediciones Industriales (LEMI) de la Sección Ingeniería y Proyectos Agroindustriales y en el Laboratorio de Metales de la Sección Química de los Productos Agroindustriales, ambos laboratorios pertenecen a la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC), de la provincia de Tucumán, Argentina.

Se consideraron como elementos mayoritarios al Si, Al, Ti, Fe, Ca, Mg, Na y K, P y S, cuyos contenidos se determinaron por espectrometría de absorción atómica (EAA), según ASTM D 3682-01; salvo los contenidos de K que fueron determinados por emisión atómica (EEA); el P que se determinó por colorimetría, según SMWW Part 4500-P-C; y el S que se realizó según ASTM D 3177-02 modificado. Para el cálculo de los contenidos de óxidos en cenizas (SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , SO_3 y P_2O_5), se consideró la estequiometría de las reacciones de oxidación de los metales mayoritarios, según Golato *et al.* (2023).

Sensibilidad de los óxidos en la fusibilidad de las cenizas

En base a los estudios previos realizados, donde se determinaron las concentraciones de los óxidos mayoritarios dentro de muestras de bagazo y RAC, se elaboraron mezclas fortificadas de cenizas de estas biomásas con óxidos comerciales. Estas muestras imitaron las proporciones de elementos inorgánicos predominantes en biomásas originales. Se ajustaron las concentraciones de cada elemento dentro de un rango, basado en promedios obtenidos de muestras originales y variaciones observadas en la literatura para biomásas similares de otras regiones. En total, se formularon 30 muestras fortificadas utilizando una balanza analítica de alta precisión.

Luego, estas mezclas fueron sometidas a análisis de fusibilidad bajo atmósferas oxidantes (AO) y reductoras (AR), según norma ASTM D1857 (ASTM, 2010), siguiendo la metodología propuesta por Golato *et al.* (2021). Los resultados de este análisis se correlacionaron con las composiciones químicas de las muestras mediante un análisis estadístico multivariado, siguiendo la metodología de Balzarini *et al.* (2015) y utilizando el software "InfoStat v.2019p". Se utilizó un análisis de componentes principales (ACP) con gráficos "biplot" para reducir la dimensionalidad de los datos y examinar las dependencias entre variables. Se consideraron relaciones cuadráticas entre la fusibilidad y los óxidos en cenizas, conforme a lo observado por Golato (2021).

RESULTADOS

En las Figuras 1 y 2 se observan las concentraciones de óxidos presentes en las mezclas elaboradas con cenizas de las biomásas en estudio y fortificadas con óxidos. Se pueden observar las concentraciones promedio de óxidos en cenizas originales de bagazo (muestra M0B en Figura 1) y de RAC (muestra M0R en Figura 2).

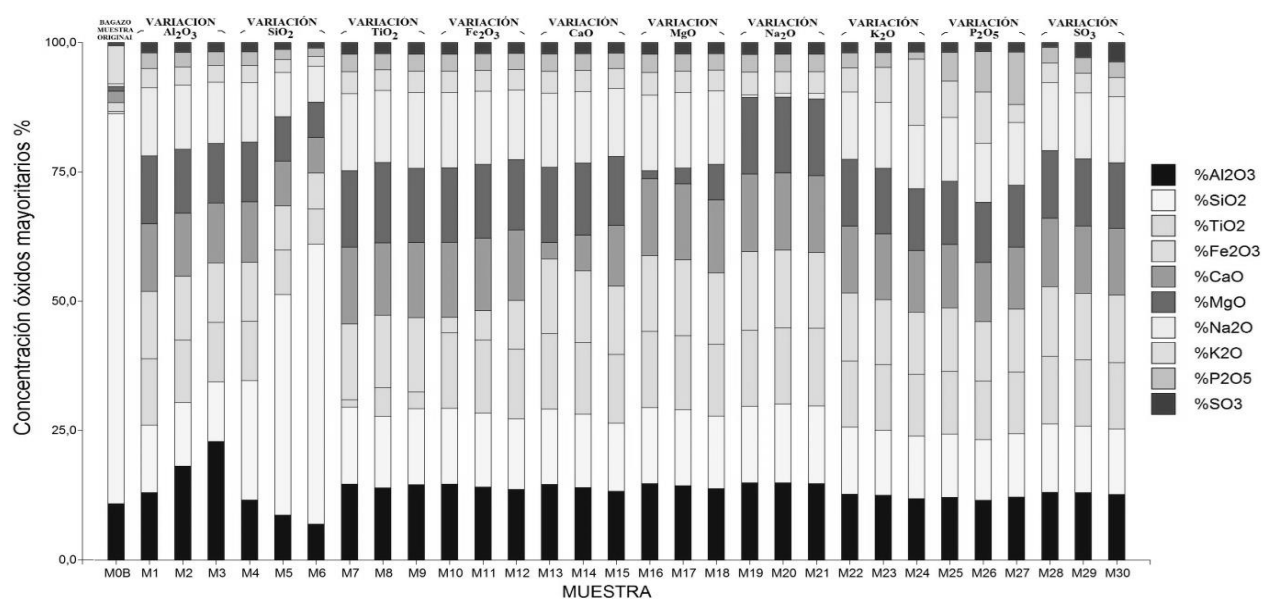


Figura 1. Variación de la concentración de óxidos mayoritarios en cenizas fortificadas de bagazo para este estudio. Elaboración propia.

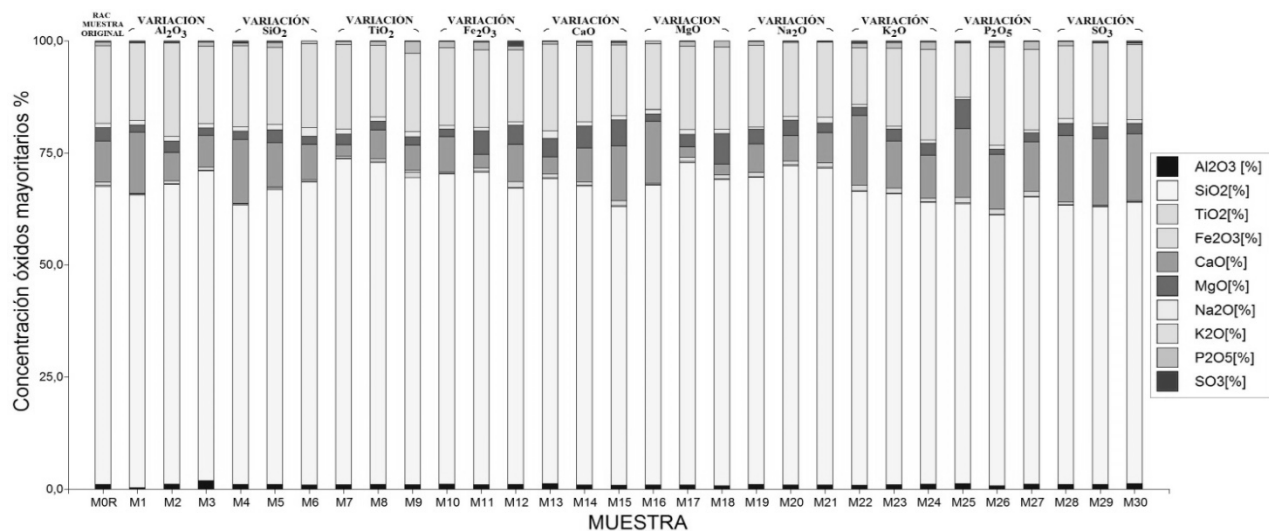


Figura 2. Variación de la concentración de óxidos mayoritarios en cenizas fortificadas de RAC para este estudio. Elaboración propia.

En la Tabla 1 se indican los rangos de concentraciones de óxidos logrados con las muestras de cenizas fortificadas en base a la composición que se encuentra en bagazo y RAC. Estos rangos representan las zonas en los que fueron evaluados los diferentes componentes de las cenizas en relación a su fusibilidad.

Tabla 4. Rango de concentraciones de óxidos logrados con cenizas fortificadas de bagazo y RAC. Elaboración propia.

Óxidos mayoritarios	Rango de concentraciones evaluado en bagazo [%]	Rango de concentraciones evaluado en RAC [%]
Al ₂ O ₃	6,71 a 21,68	0,30 a 1,60
SiO ₂	7,66 a 54,25	48,90 a 62,20
TiO ₂	0,10 a 0,90	0,34 a 14,03
Fe ₂ O ₃	1,19 a 14,06	0,10 a 1,10
CaO	1,60 a 13,26	1,70 a 12,80
MgO	0,65 a 14,55	1,10 a 6,00
Na ₂ O	0,37 a 13,88	0,40 a 1,60
K ₂ O	1,92 a 9,35	9,50 a 19,40
SO ₃	0,45 a 3,53	0,00 a 1,00
P ₂ O ₅	0,01 a 8,24	0,10 a 2,10

La Figura 3 muestra los gráficos “biplot” del ACP para cenizas fortificadas de bagazo en AO y AR. Se observa una correlación negativa del %SiO₂ respecto a DT en AO; además, no es probable que estén correlacionados este óxido con ST y HT. Mientras tanto, existe un aporte positivo (principalmente del %Al₂O₃, %CaO y %MgO) sobre DT. Se destaca la correlación positiva de %K₂O sobre HT, ST y en menor medida sobre FT. Además, se observa baja influencia en esta atmósfera del %K₂O sobre DT. Para AR se observó una correlación negativa del %SiO₂ y del %K₂O respecto a DT, además, para este tipo de atmósfera se encontraron correlaciones positivas entre ST, HT y FT, respecto al %K₂O. Para estas temperaturas es probable que no exista correlación con él %SiO₂ para el rango analizado.

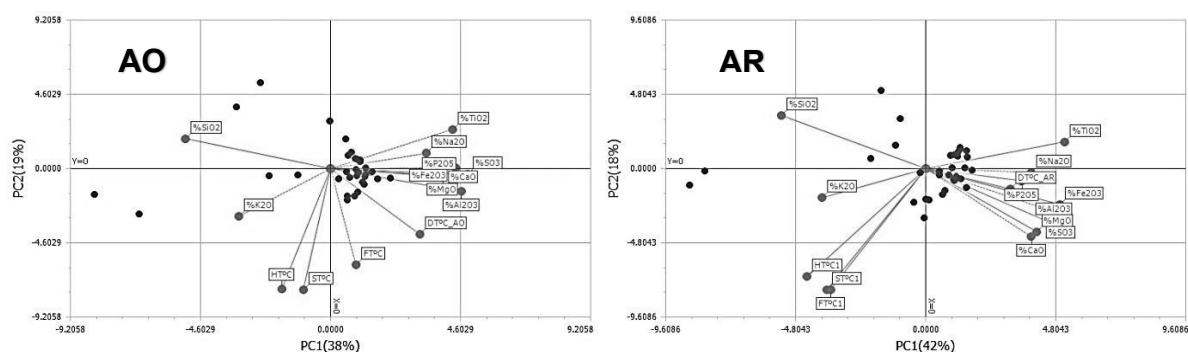


Figura 3. Incidencia de óxidos mayoritarios en la fusibilidad en AO y AR de cenizas fortificadas de bagazo de caña de azúcar de Tucumán, Argentina. Elaboración propia.

La Figura 4 muestra una correlación positiva del %Al₂O₃, %P₂O₅, %TiO₂, %SiO₂ y %Na₂O sobre DT y ST e independencia de %Fe₂O₃, %MgO y %K₂O respecto a las temperaturas mencionadas para cenizas de RAC trabajando en AO. Además, se determinó una correlación negativa del %CaO y %SO₃ sobre DT y ST. Por otro lado, para los rangos de concentraciones evaluados en RAC trabajando en AR, se observó que %CaO presentó una correlación negativa en relación a DT, ST, HT y FT, con baja influencia del %Fe₂O₃, %MgO, %K₂O y %Na₂O sobre estas temperaturas. Además, se encontraron correlaciones positivas del %Al₂O₃, %P₂O₅, %TiO₂, %SiO₂ sobre las temperaturas indicadas.

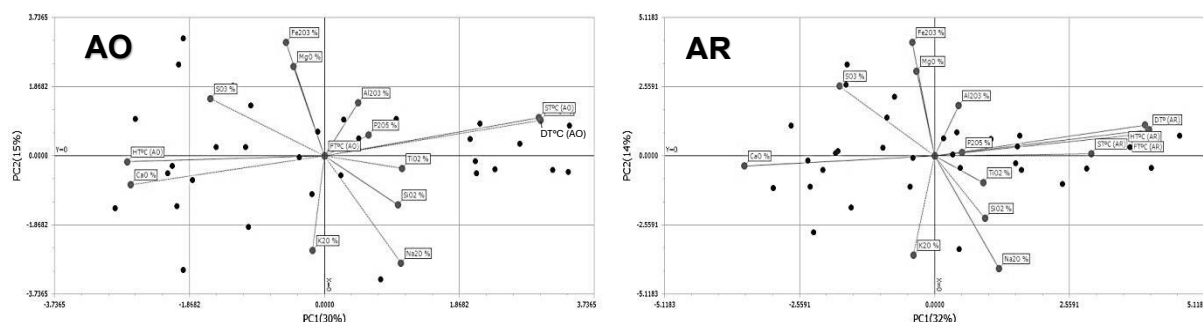


Figura 4. Incidencia de óxidos mayoritarios en la fusibilidad en AO y AR de cenizas fortificadas de RAC de caña de azúcar de Tucumán, Argentina. Elaboración propia.

CONCLUSIONES

El comportamiento de las cenizas de un combustible está influenciado por su composición química, siendo crucial su caracterización para evaluar su desempeño en calderas de vapor. En cenizas fortificadas de bagazo bajo AO, la correlación entre DT y $\%SiO_2$ fue negativa, mientras que $\%K_2O$ mostró baja influencia sobre DT. En AR, $\%Fe_2O_3$, $\%CaO$ y $\%MgO$ mostraron correlaciones positivas con DT, mientras que $\%K_2O$ y $\%SiO_2$ tuvieron influencias negativas. No obstante, el $\%K_2O$ influyó positivamente en ST, HT y FT, y el $\%SiO_2$ se mantuvo independiente sobre estas temperaturas. Las cenizas fortificadas de RAC bajo AO, $\%Al_2O_3$, $\%P_2O_5$, $\%TiO_2$ y $\%SiO_2$ mostraron correlaciones positivas con DT y ST, mientras que para los $\%CaO$ y $\%SO_3$ fueron negativas. El $\%Fe_2O_3$ y $\%MgO$ no afectaron las temperaturas de fusión en esta atmósfera, el $\%CaO$ resultó positivo para HT. En RAC fortificado bajo AR, el $\%CaO$, $\%SO_3$ y $\%K_2O$ influyeron negativamente en todas las temperaturas de fusión, mientras que $\%Fe_2O_3$ y $\%MgO$ se mantuvieron independientes. Estos hallazgos resaltan el impacto de los CA y CB en las propiedades de fusibilidad de las cenizas de bagazo y RAC de caña de azúcar, destacando la importancia de controlar la cantidad de material inorgánico en el combustible y las temperaturas de combustión en el interior del hogar de las calderas de vapor.

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.
- Balzarini M., Bruno C., Córdoba M. y Teich I. 2015.** Herramientas en el Análisis Estadístico Multivariado. Escuela Virtual Internacional CAVILA. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.
- Baxter L. L.; T. R. Miles; T. R. Miles Jr.; B. M. Jenkins; T. Milne; D. Dayton; R. W. Bryers y L. L. Oden. 1998.** The behavior of inorganic material in biomass-fired power boilers: field and laboratory experiences. Fuel Processing Technology 54: 47-78.
- Golato, M. A., 2021.** Estudio de la variación de la temperatura de fusión de cenizas de calderas de biomasa en función de sus componentes ácidos y básicos. Tesis de Maestría en Ingeniería Bioenergética. FRT. UTN. Disponible en: <https://ria.utn.edu.ar>
- Golato, M.A., C. E. Gutierrez, G. del H. Zamora Rueda, G. Juárez, N. Kamiya, D. Paz y M. Ruíz. 2023.** Características de las cenizas de bagazo y de residuos agrícolas de cosecha de la caña de azúcar (RAC) de Tucumán, Argentina. Revista industrial y agrícola de Tucumán, en prensa.
- 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. Revista industrial y agrícola de Tucumán. Tomo 98 (2): 21-27.

GESTIÓN DE CAPACITACIÓN EN INDUSTRIAS SUCROALCOHOLERAS DISEÑO DE CURSOS-TALLERES DESDE LAS REALIDADES TRANSMITIDAS

Gusils León, C.H.¹; Molina Vidal, M.A.²; Trejo, J.², Lucena, M.C.¹, Bravo, M.² y M. Rearte¹

¹Departamento de Energías Renovables NOA (DERNOA); ²Departamento Ingeniería Agroalimentaria NOA (DIANO) – Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), Charcas 21 -Tucumán, CP (4100). Email: cgusils@inti.gob.ar

PALABRAS CLAVES: formación – recursos humanos – procesos industriales.

INTRODUCCIÓN

Argentina es un mediano productor en la industria sucroalcoholera que concentra la actividad principalmente en regiones del Noroeste de su territorio, provincias de Tucumán, Salta y Jujuy. Aunque significativamente menor en volumen, también hay producción de azúcar en las provincias de Santa Fe y Misiones. La actividad tiene un fuerte impacto socioeconómico en la región del NOA: genera 60.900 puestos de trabajo directos y 140.000 indirectos. En Tucumán la industria sucroalcoholera aporta el 10% del Producto Bruto Provincial mientras que la participación en Jujuy es del 6%. Como ocurre en muchos países del mundo, el sector junto a instituciones científicas y otras cámaras empresarias, trabaja en los desarrollos técnicos para seguir incrementando la producción y uso combustible del bioetanol (Centro Azucarero Argentino, 2022).

La competitividad a distintos niveles (empresa, región, industria o país) ha adquirido una importancia central en la agenda de desarrollo. En los países latinoamericanos, caracterizados por economías cada vez más abiertas e integradas a cadenas globales de producción, el mejoramiento de la competitividad es fundamental para lograr mayores niveles de desarrollo económico y social (Medeiros y colab. 2019).

Uno de los principales aspectos relacionados con estos cambios está dado por la inclusión de personal calificado cuya formación en una industria tan dinámica suele darse en marcos poco estructurados que no aseguran la transferencia de conocimiento y no generan impacto en la mejora de procesos.

En este contexto la formación “*in company*” en empresas del sector es una herramienta fundamental de fortalecimiento y mejora de la competitividad, brindando además a técnicos y profesionales conocimientos y habilidades necesarios para hacer uso de tecnologías actuales, adaptándolas y eventualmente mejorándolas al estar dirigida a sus actividades, generando así resultados rápidos y significativos en términos de retornos para la empresa (Padilla y Juárez, 2006; Medeiros y colab. 2019).

La Gestión de la Capacitación (GDC) es un proceso del Sistema Administrativo de Gestión de Recursos Humanos que busca mejorar el desempeño de las personas a través del desarrollo de competencias o conocimientos (Observatorio Federal de Recursos Humanos, 2018; Gobierno de Perú, 2024).

El ciclo del proceso de capacitación comprende tres etapas:

- 1- **Etapas de planificación:** se identifican y definen las necesidades de capacitación con el propósito de determinar las acciones de capacitación que serán priorizadas en el Plan de Capacitación (PC).
- 2- **Etapas de ejecución:** se ejecutan y monitorean las capacitaciones aprobadas en el PC.
- 3- **Etapas de evaluación:** se miden los resultados de las acciones de capacitación ejecutadas. Los resultados permiten la toma de decisiones y mejora continua de la gestión de la capacitación.

Un plan o programa de capacitación comprende una serie de acciones de entrenamiento y formación de personas, donde la transferencia de conocimiento puede servir de actividades teóricas o prácticas. El objetivo de este trabajo fue desarrollar un plan de capacitación aplicativo a necesidades reales en la industria sucroalcoholera.

MATERIALES Y METODOS

Para el desarrollo de un plan de capacitación se siguió el siguiente flujograma de actividades (figura 1):

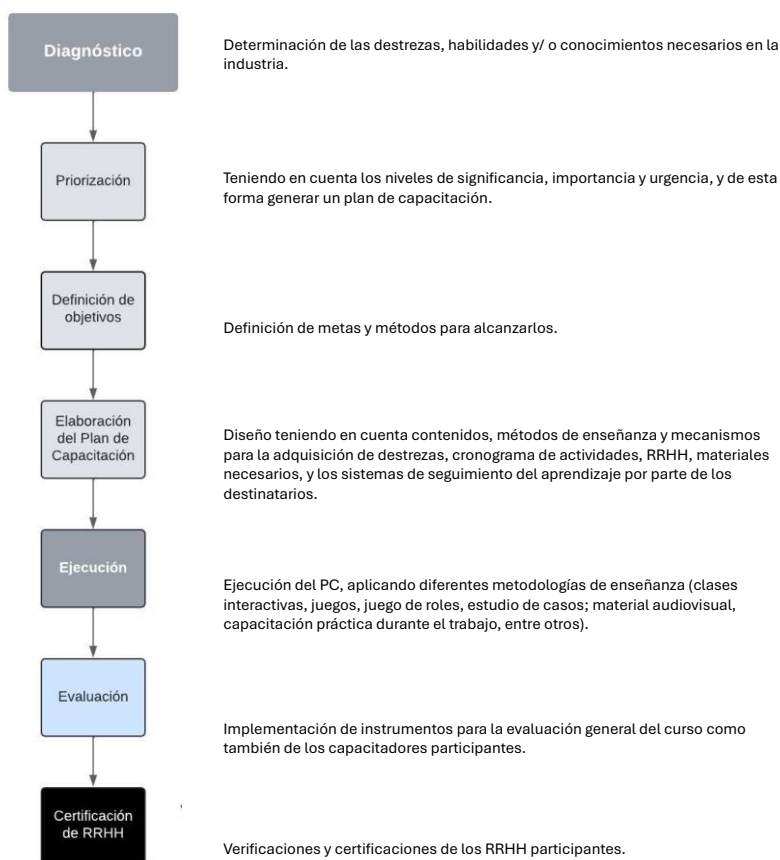


Figura 5. Flujograma correspondiente del desarrollo en INTI de un Plan de Capacitación.

Para la etapa de evaluación del curso, la misma fue dividida en cinco partes, las cuales consistieron en:

- **Evaluación diagnóstica:** se realizó en forma oral con preguntas, y se llevó a cabo al inicio de los cursos para conocer el nivel de conocimiento de los participantes.
- **Evaluación formativa:** se realizó mediante preguntas orales durante toda la formación y fue en forma general. Esta evaluación se llevó a cabo para conocer el aprendizaje de los participantes de los temas ya dictados, como también la calidad de la formación recibida por si fuese necesario realizar modificaciones en el método de enseñanza.
- **Evaluación sumativa:** se realizó para valorar el alcance al cual han llegado los resultados más importantes al final del curso. En la evaluación sumativa se mide el rendimiento de los participantes al final de la formación. Se realizó empleando actividades a partir de procesos instalados en las industrias, por ejemplo, metodología “5S”, control del proceso de esterilización por autoclave (calor húmedo bajo presión).
- **Evaluación ipsativa:** se realizó con las personas encargadas de los análisis microbiológicos en las empresas, observando los cambios en la forma de trabajar después de los aportes realizados durante el cursado.
- **Evaluación del curso y de los docentes:** se realizó una encuesta del curso empleando un Formulario de Google.

RESULTADOS

En este sentido, como impulso al sector sucroalcoholero durante el período 2023-2024 se desarrolló un plan de mejora basado en la especialización de recursos humanos (RRHH) de laboratorios en industrias que producen bioetanol en el corredor Tucumán, Salta y Jujuy. Se realizó el diagnóstico de necesidades de capacitaciones en los ingenios sucroalcoholeros del NOA, a partir de los cuales se desprendieron algunos de los temas para ser desarrollados en cursos-talleres: procesos industriales, alimentos, energías renovables, metodologías analíticas, calibración y control de equipamiento, calidad, trabajo en equipo, entre otros.

Teniendo en cuenta los niveles de importancia y demanda del sector se realizó una primera intervención desarrollando del plan de capacitaciones sobre controles microbiológicos en los procesos de las industrias sucroalcoholeras. En esta industria se conoce la implicancia del efecto de la presencia de altos niveles de microorganismos no deseados en la disminución de los rendimientos fabriles en los procesos de obtención de azúcar y de etanol (Gusils y Ruíz, 2016; Núñez y Gusils, 2020).

Como prueba piloto, se llevaron a cabo las primeras capacitaciones basadas en las actividades como también el uso de diferentes instalaciones fabriles, equipamientos e insumos analíticos. Para la transferencia del material de trabajo (presentaciones de las clases, actividades de laboratorio, ejercicios, dinámicas de trabajos, bibliografías, fotos, etc.) se utilizaron plataformas digitales para mejorar la accesibilidad de los participantes durante y posteriormente a las actividades presenciales. Los cursos se dictaron *"in company"* lo que permitió desarrollar actividades teniendo en cuenta disponibilidad, procedimientos, documentación y procesos propios de la institución (figura 2).



Figura 2. Desarrollo de actividades de las capacitaciones en industrias. Dictado de aspectos conceptuales de los temas.

La modalidad de las clases fue con exposición del personal de INTI motivando a la participación e interacción activa de los asistentes. Las actividades prácticas fueron desarrolladas completamente por el personal de la empresa.

El temario propuesto para el desarrollo de las primeras capacitaciones fue orientado a necesidades específicas en la temática seleccionada para una primera etapa de fortalecimiento, abarcando aspectos generales sobre: fisiologías y metabolismos microbianos; control del desarrollo microbiano (procesos de desinfección, esterilización, uso de productos químicos como antibióticos y desinfectantes, etc.); diagnóstico microbiológico; recuento de microorganismos marcadores e indicadores en la industria azucarera; análisis microbiológicos de muestras de azúcar, agua, ambientales, aire y estudio de la eficiencia de los procesos de desinfección de superficies y sanitización de manos; Bioseguridad en los laboratorios.

Las actividades prácticas desarrolladas estuvieron diseñadas para transmitir aspectos relacionados con (ver figura 3):

- Preparación de los insumos de ensayos: acondicionamiento del material para trabajo en microbiología; aplicación de diferentes técnicas de esterilización para los insumos; utilización de controles físicos, químicos y microbiológicos de procesos de esterilización.
- Análisis microbiológico de muestras: ambientales (aire y superficie), lavado y sanitización de manos, desinfección de superficies, muestra de agua, azúcar, entre otros.

- Análisis de viabilidad y recuento de levaduras - Metodología de colorantes vitales.
- Análisis de la resistencia-sensibilidad microbiana a sustancias antimicrobianas.
- Interpretación de resultados.

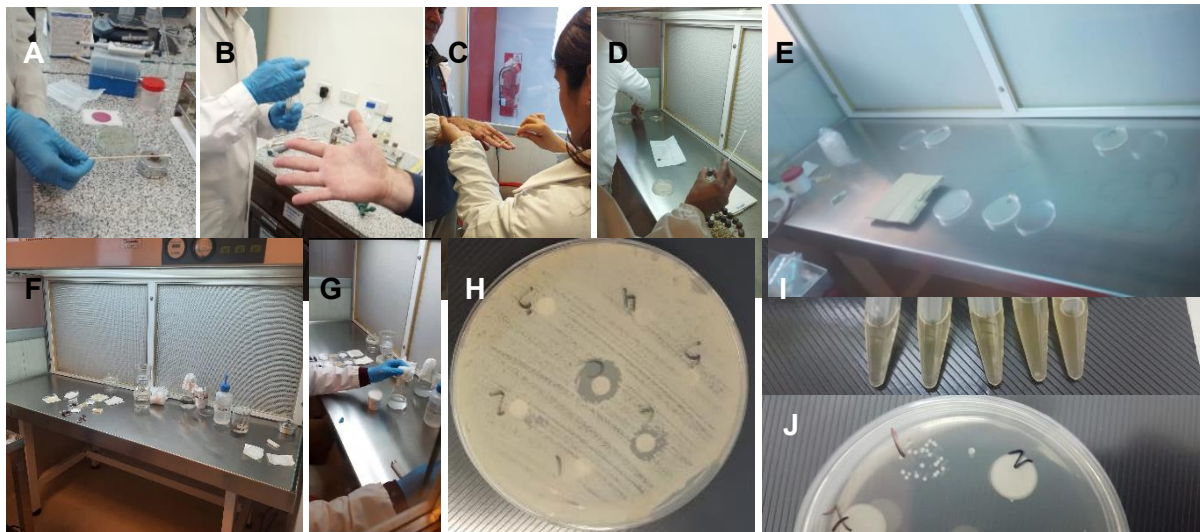


Figura 3. Desarrollo de actividades de las capacitaciones en industrias. Dictado de aspectos prácticos: A) hisopados de superficies; B-D) Hisopados de manos; E) Ambientales; F-G) Procesamiento de azúcar; H-J) Estudio de sensibilidad y resistencia a desinfectante.

Para la evaluación de las capacitaciones se emplearon dos metodologías:

1. **Tormenta de ideas:** donde a partir de procedimientos establecidos en las industrias se realicen aportes teniendo en cuenta aspectos desarrollados en el curso (figura 4A).
2. **Mejoramiento de un documento (registro):** se realizó un trabajo grupal y metodología de “role play” para la modificación del registro de autoclave aportando los conceptos desarrollados en la capacitación, luego se conversaron las propuestas y se elevó la decisión a la persona que ocupaba el rol de coordinadora de laboratorio. Se generaron dos versiones, una impresa y una segunda digital con validación de datos y generación de mensajes de alertas (figura 4B-C).

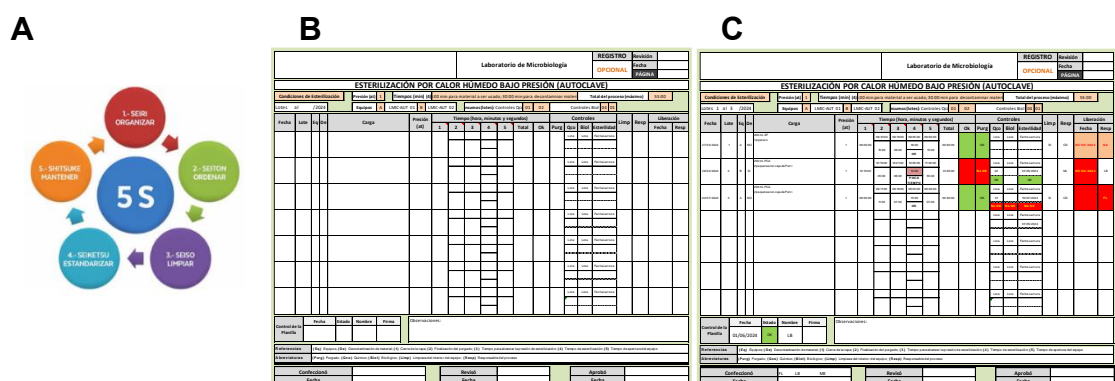


Figura 4. Desarrollo de actividades de las capacitaciones en industrias. Metodologías de supervisión del aprendizaje: Tormenta de ideas a partir de metodología 5S implementada (A); Mejoramiento de un registro de control de esterilización por autoclave, versión papel (B) y versión digital (C).

De la evaluación de las capacitaciones realizadas, todos los participantes indicaron que volverían a contratar al INTI para brindar capacitaciones. Las devoluciones con respecto a los aspectos relacionados al curso y a los capacitadores

participantes fueron muy buenas (figura 5). Los futuros temas de capacitación que indicaron los participantes que les gustaría recibir fueron: metodología analítica, fermentación, controles de procesos, trabajo en equipo, bioseguridad, talleres de coaching.

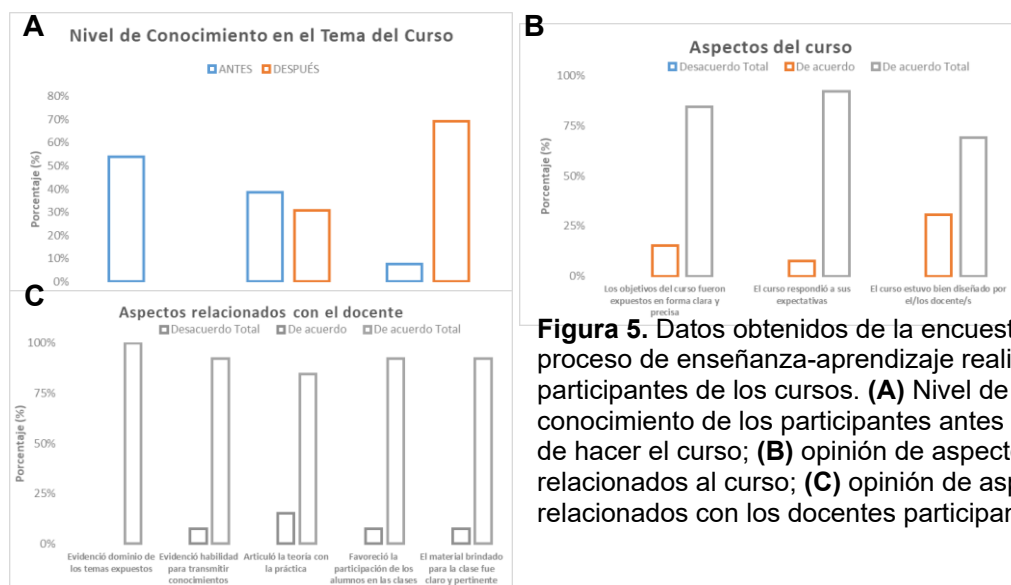


Figura 5. Datos obtenidos de la encuesta sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje realizada a los participantes de los cursos. **(A)** Nivel de conocimiento de los participantes antes y después de hacer el curso; **(B)** opinión de aspectos relacionados al curso; **(C)** opinión de aspectos relacionados con los docentes participantes.

CONCLUSIONES

Podemos concluir que el Plan de Capacitación diseñado y ejecutado, teniendo en cuenta las necesidades transmitidas por las industrias, permitió a los participantes adquirir conocimientos, habilidades y destreza para la ejecución de sus labores en sus puestos de trabajos. Las devoluciones de las encuestas indicaron que el nivel de capacitación brindado es acorde a las necesidades de la industria.

El INTI tiene personal formado para brindar capacitaciones y asesoramientos en los temas de importancia de las industrias, tanto procesos, como metodologías, controles y calidad.

REFERENCIAS

- Centro Azucarero Argentino. 2022. Producción en el país. 20 ingenios azucareros producen un equivalente de 2,2 a 2,5 millones de toneladas de azúcar Link de acceso: <https://centroazucarero.com.ar/produccion/>. Última consulta: 11/07/2024.
- Gobierno de Perú. 2024. Gestión de la Capacitación – GDC. Link de acceso: <https://www.gob.pe/institucion/servir/campa%C3%B1as/4834-gestion-de-la-capacitacion-gdc>. Última consulta: 11/07/2024.
- Gusils, C.; Ruíz, R.M. 2016. Contaminación microbiana en industria sucroalcoholera. IV SAPROBIO; 2016. Tucumán – Argentina.
- Medeiros, V.; Gonçalves Godoi, L.; Camargos Teixeira, E. 2019. La competitividad y sus factores determinantes: un análisis sistémico para países en desarrollo. CEPAL. 19:7-27.
- Núñez, F.; Gusils, C. 2020. Factores microbiológicos Involucrados en la producción de bioetanol, aspectos a considerar. Trabajo Final Integrador para optar al Grado Académico Superior de Especialista en Ingeniería Bioenergética. Facultad Regional Tucumán - Universidad Tecnológica Nacional.
- Observatorio Federal de Recursos Humanos – Ministerio de Salud, Presidencia de la Nación Argentina. 2018. La gestión de los procesos de capacitación. Orientaciones técnicas y operativas. Link de acceso: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2024/04/guia_gestion_procesos_de_capacitacion_2642_024.pdf. Último acceso: 11/07/2024.

CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DE RESIDUO DE TABACO DE LA PROVINCIA DE TUCUMÁN - ARGENTINA PARA BIOCOMBUSTIBLE

Gutiérrez, C. E.; Zamora Rueda, G. del H.; Armella, G.; Morales, W. D.; Golato, M. A.; Feijóo, E. y R.M. Ruiz

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

Palabras clave: campos tabacaleros, análisis inmediato, Burley.

INTRODUCCIÓN

La matriz energética Argentina está conformada, en su gran mayoría, por combustibles fósiles. Esta situación presenta desafíos y oportunidades para el desarrollo de las energías renovables, ya que la gran disponibilidad de recursos biomásicos en todo el territorio nacional constituye una alternativa eficaz frente al difícil contexto energético local e internacional (FAO, 2020).

En este escenario, en 2015, la República Argentina promulgó la Ley 27.191, Régimen de fomento nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica que modificaba la Ley 26.190, con el objetivo de fomentar la participación de las fuentes renovables hasta que estas alcancen un 20% del consumo de la energía eléctrica nacional en 2025, que otorgó a la biomasa una gran relevancia. En virtud de sus extraordinarias condiciones agroecológicas, y las ventajas comparativas y competitivas de su sector agroindustrial, la Argentina es un gran productor de biomasa con potencial energético. La energía derivada de biomasa respeta y protege el ambiente, genera nuevos puestos de trabajo, integra comunidades energéticamente vulnerables, reduce la emisión de gases de efecto invernadero, convierte residuos en recursos, moviliza inversiones y promueve el agregado de valor y nuevos negocios (FAO, 2020).

El tabaco en la Argentina se produce en su mayoría en las provincias de Salta, Jujuy y en Misiones, estas tres provincias concentran más del 80% de la producción del país. El resto de tabaco proviene de Tucumán, Catamarca, Chaco y Corrientes, en menor proporción. En la provincia de Tucumán predominan la variedad tipo Burley. El proceso de curado del tabaco genera una oferta indirecta de biomasa que proviene de los campos tabacaleros. En el proceso de curado del tabaco se generan desperdicios que pueden ser aprovechados para producir energía, como el descarte de hojas y los tallos en la variedad Burley (FAO, 2020). La superficie ocupada con tabaco en la provincia de Tucumán en la campaña 2023/2024 fue estimada en 3.880 [ha] (Scandaliaris *et. al*, 2024). Considerándose que se producen 20000 [tallos/ha], donde cada uno tiene un peso promedio de 0,187 [Kg], se obtiene un valor estimado de residuo disponible para fines energéticos de 14.523 [t/año], potencialmente aptos para destino energético (Ing. A. Villares e Ing. H. Salas, comunicación personal, 13 de Junio de 2024).

OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es mostrar los resultados de los análisis químicos y energéticos realizados en tallos de tabaco proveniente de los campos de cultivo de Tucumán para la campaña 2023/2024, para ser aprovechado como posible biocombustible para calderas de vapor.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue realizado en el Laboratorio de Ensayos y Mediciones Industriales (LEMI), de la Sección Ingeniería y Proyectos Agroindustriales de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). Para ello se recolectaron 6 muestras de tallos de tabaco provenientes de los campos de cultivo.

La determinación del contenido de humedad (W), se realizó siguiendo la norma ASTM D 5142-02 modificada. Posteriormente se realizó la trituration de las muestras en un molino del tipo fresa, marca Fritcher, hasta alcanzar una granulometría adecuada (aproximadamente 1mm).

Para el análisis inmediato de los contenidos de cenizas (CZ), sólidos volátiles (SV) y carbono fijo (CF) en base seca (b.s.), se utilizó un equipo analizador termogravimétrico (TGA), marca LECO, modelo TGA701, ajustado y calibrado para biomasa. Esta metodología sigue el procedimiento de la norma ASTM D 5142-02, modificada.

Para la determinación del PCS en b.s., se utilizó la metodología indicada en la norma ASTM D 2015-96 usando un Calorímetro Isoperibólico modelo 6200, marca Parr.

Para el cálculo de PCI en base húmeda (b.h.), se utilizó la Ecuación 1 informada por Feijóo *et al.* (2015):

$$PCI = PCSx(1 - W) - 2442x[9xHx(1 - CZ)x(1 - W) + W] \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

PCI: poder calorífico inferior en base húmeda [KJ/Kg]

PCS: poder calorífico superior [KJ/Kg]

H: contenido de hidrogeno, en composición centesimal.

W: contenido de humedad, en composición centesimal.

CZ: contenido de cenizas, en composición centesimal.

El análisis de fusibilidad de cenizas se realizó con un equipo analizador con sistema de reconocimiento de imágenes, marca LECO, modelo AF700, siguiendo la metodología ASTM D 1857-03, que identifica cuatro temperaturas: la inicial de deformación (DT), de ablandamiento (ST), de semiesfera (HT) y de fluidización (FT), para dos atmósferas diferentes: oxidante (CO₂ y O₂) y reductora (CO₂ y CO).

La determinación de Cl, se realizó siguiendo la metodología propuesta en la norma ASTM E 776-87 modificada (Gutierrez *et al.*, 2016) y la de S, por medio de la norma ASTM D 3177-02 modificada (Mistretta *et al.*, 2019).

Para la determinación del contenido de SiO₂ se realizó siguiendo el método gravimétrico descrito en la norma ASTM E 887-88 (Gutierrez *et al.*, 2018).

Para realizar el análisis de composición elemental se siguió la metodología basada en la norma ASTM D 5373-08, estipulada para carbón mineral y adaptada para biomasa. Para este análisis se utilizó un equipo de composición elemental, marca LECO, modelo CHN628, que determina el contenido de hidrógeno (H), carbono (C) y nitrógeno (N) elemental en matrices orgánicas.

RESULTADOS

En la Tabla 1 se observan los valores promedio del análisis inmediato en b.s. y de la caracterización energética de los tallos de tabaco, donde el PCS se encuentra en b.s. y el PCI en b.h. Además, se observa el análisis estadístico realizado para el lote de muestras ensayadas, con sus respectivos coeficientes de variación % CV.

Tabla1. Valores promedio del análisis inmediato y caracterización energética, determinados en los tallos de tabaco estudiados en Tucumán.

	%W	SV (%) b.s.	CZ (%) b.s.	CF (%) b.s.	PCS b.s. [kJ/kg]	PCI b.h. [kJ/kg]
Promedio	36,39	73,23	9,11	17,66	17.619	9.579
Rango	[34,17 - 38,60]	[72,79 - 73,92]	[8,78 - 9,36]	[16,92 - 18,07]	[17.037 - 18.292]	[9.258 - 9.630]
%CV	0,09	0,01	0,02	0,03	0,03	0,01

La Tabla 2 muestra los resultados de la composición elemental, el contenido de Cl, el de S y el de SiO₂ de las muestras de tallos de tabaco. Además, se observa el análisis estadístico realizado para el lote de muestras ensayadas, con sus respectivos coeficientes de variación % CV.

Tabla 2: Valores promedio del Análisis elemental, el contenido de Cl, S y de SiO₂, determinados en los tallos de tabaco estudiados en Tucumán.

	Cl (%) b.s.	S (%) b.s.	N (%) b.s.	C (%) b.s.	H (%) b.s.	SiO ₂ (%) b.s.
Promedio	0,51	0,17	2,26	43,05	6,19	2,50
Rango	[0,49 - 0,52]	[0,15 - 0,18]	[1,935 - 2,580]	[42,246 - 43,854]	[6,191 - 6,192]	[2,08 – 3,11]
%CV	0,04	0,13	0,20	0,03	0,00	0,17

La Tabla 3 muestra los resultados del análisis de fusibilidad de las cenizas de las muestras de tallos de tabaco, realizadas en atmósferas oxidante y reductora según ASTM 1857-03. 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 de los tallos de tabaco estudiados en Tucumán, Argentina.

Ensayo	ATMÓSFERA OXIDANTE				ATMÓSFERA REDUCTORA			
	DT [°C]	ST [°C]	HT [°C]	FT [°C]	DT [°C]	ST [°C]	HT [°C]	FT [°C]
Promedio	745	1.213	1.433	>1.500	760	1.175	1.472	>1.500
Rango	[740 - 750]	[1210 - 1215]	[1430 - 1435]	-	[755 - 765]	[1170 - 1180]	[1468 - 1475]	-
% CV	0,01	0,01	0,01	-	0,01	0,01	0,01	-

En la Tabla 4 se observa una comparación de los valores promedio del análisis inmediato y de la caracterización energética, de los tallos de tabaco y del bagazo (Zamora *et. al*, 2023).

Tabla 4. Valores promedio del análisis inmediato y caracterización energética, para los tallos de tabaco y Bagazo.

	%W	SV (%) b.s.	CZ (%) b.s.	CF (%) b.s.	PCS b.s. [kJ/kg]	PCI b.h. [kJ/kg]
Tallos de tabaco	36,39	73,23	9,11	17,66	17.619	9.579
Bagazo	52,54	77,21	5,77	16,65	17.584	6.538

En la Tabla 5 se observa una comparación de los valores promedio de la composición elemental, el contenido de Cl, el de S y el de SiO₂, de los tallos de tabaco y del bagazo.

Tabla 5. Valores promedio del Análisis elemental, del contenido de Cl, S y del SiO₂, para los tallos de tabaco y Bagazo.

	Cl (%) b.s.	S (%) b.s.	N (%) b.s.	C (%) b.s.	H (%) b.s.	SiO ₂ (%) b.s.
Tallos de tabaco	0,51	0,17	2,26	43,05	6,19	2,50
Bagazo	0,14	0,16	0,40	43,90	5,80	54,25

En la Tabla 6 se observa una comparación de los valores promedio del análisis de fusibilidad de las cenizas, de los tallos de tabaco y del bagazo.

Tabla 6. Valores promedio de las temperaturas de fusibilidad de cenizas en atmósfera oxidante y reductora, para los tallos de tabaco y Bagazo.

	ATMÓSFERA OXIDANTE				ATMÓSFERA REDUCTORA			
	DT [°C]	ST [°C]	HT [°C]	FT [°C]	DT [°C]	ST [°C]	HT [°C]	FT [°C]
Tallos de tabaco	745	1.213	1.433	>1.50 0	760	1.175	1.472	>1.50 0
Bagazo	1.066	1.280	1.358	>1.50 0	1.062	1.280	1.358	>1.50 0

CONCLUSIONES

Las estimaciones preliminares de la cantidad de tallos de tabaco disponible para fines energéticos es de 14.523 [t/año], potencialmente aptos para destino energético. Los tallos de tabaco generados en los campos de Tucumán demuestran que existe un alto potencial de bioenergía disponible y factible de ser aprovechada.

Los parámetros termogravimétricos y energéticos de los tallos de tabaco fueron en promedio de: W= 36,39%; CZ=9,11%; SV=73,23%; CF=17,66%; PCS=17.619[kJ/kg] y PCI=9.579 [kJ/kg]. La caracterización de los residuos mencionados indica un PCS semejante al del bagazo. Estos resultados poseen igual orden de magnitud a los informados por Manrique *et. al*, 2008. La temperatura DT, fue de 745°C para atmósfera oxidante y 760°C para atmósfera reductora. Debido a estas bajas temperaturas de fusibilidad es recomendable realizar una caracterización de las cenizas con el objetivo de evaluar los índices de comportamiento de las mismas.

Asimismo, debido al alto contenido de cloro (0,35%) en relación al bagazo (0,14%) podrían presentarse a largo plazo algunos problemas de corrosión en el interior de la caldera de vapor. Por ello se evaluó y se tiene previsto realizar una prueba de combustión de mezclas de bagazo con tallos de tabaco en la caldera del Ingenio Leales. El ciclo de producción de tabaco tiene una etapa de secado al aire y disposición ordenada al lado de los campos de cultivo, lo que favorece su aprovechamiento por tratarse de una biomasa, que una vez seca alcanza una humedad del 13% (Ing. A. Villares, comunicación personal, 13 de Junio de 2024).

El potencial energético de los residuos de tabaco, permite señalar que líneas futuras de investigación deberían evaluar diferentes sistemas tecnológicos posibles de aplicarse en la región. Para esto, también deberían profundizarse algunos parámetros físicos y químicos para conocer la reacción de los materiales en diferentes sistemas de conversión energética.

BIBLIOGRAFÍA

FAO. 2020. Actualización del balance de biomasa con fines energéticos en la Argentina. Colección Documentos Técnicos N.º 19. Buenos Aires. <https://doi.org/10.4060/ca8764es>. Disponible en: http://www.probiomasa.gob.ar/_pdf/19-Actualizacion-balance-biomasa.pdf

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. Y Agríc. de Tucumán 92 (2): 23-32.

Gutierrez, C. E.; Mistretta, G.; Zamora Rueda, G.; Peralta, F. L.; Golato, M. A.; Coronel, M.; Ruiz, M.; Paz, D. y Cárdenas, G. J. 2016. Contenido de cloro total en residuos agrícolas de cosecha de caña de azúcar (RAC) en Tucumán. RIAT. Tomo 93 (2). Pág.: 15-19. Disponible en: <http://www.scielo.org.ar/pdf/riat/v93n2/v93n2a04.pdf>. Consultado: 15 de enero 2022.

Gutierrez, C. E.; Mistretta, G.; Zamora Rueda, G.; Peralta, F. L.; Golato, M. A.; Juárez, G.; Ruiz, M.; Paz, D. y Cárdenas, G. J. 2018. Contenido de sílice total en cenizas de residuos agrícolas de cosecha de caña de azúcar (RAC) en Tucumán, Argentina. RIAT 95 (1). Pág.: 21-26.

Manrique, S.; Franco, J.; Núñez, V. y Seghezzo, L. 2008. POTENCIAL ENERGÉTICO DE BIOMASA RESIDUAL DE TABACO Y AJÍ EN EL MUNICIPIO DE CORONEL MOLDES (SALTA – ARGENTINA). Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 12. Págs.: 87-94. ISSN 0329-5184.

Mistretta, G.; Gutierrez, C.; Zamora Rueda, G.; Peralta, F.; Golato, M. A.; Paz, D.; Cárdenas, G. y Ruiz, M. 2019. Contenido de azufre total del residuo agrícola de la cosecha de caña de azúcar de Tucumán, Argentina. RIAT. Tomo 96 (1). Pág.: 49-54. Disponible en: <http://www.scielo.org.ar/pdf/riat/v96n1/v96n1a01.pdf>. Consultado: 15 de enero 2022.

Disponible en: <http://www.scielo.org.ar/pdf/riat/v95n1/v95n1a03.pdf>. Consultado: 15 de enero 2022.

Scandaliaris P., C. Fandos, F. J. Soria, J. I. Carreras Baldrés, y A. Villares. 2024. Estimación satelital de la superficie cultivada con tabaco en la provincia de Tucumán en la campaña 2023/2024 y comparación con campañas precedentes. Reporte Agroindustrial EEAOC. N° 301, ISSN 2346-9102. Disponible en: <https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=estimacion-satelital-de-la-superficie-cultivada-con-tabaco-en-la-provincia-de-tucuman-en-la-campana-2023-2024-y-comparacion-con-campanas-precedentes>

Zamora Rueda, G del H.; Mistretta, M. G.; Gutierrez, C. E.; Golato M. A.; Paz, D. y Ruiz, M. 2023. Caracterización energética de bagazo de caña de azúcar en Tucumán, Argentina. Revista Industrial y Agrícola de Tucuman. Tomo 100 (1):47-53. ISSN 0370-5404.

CARACTERIZACIÓN DE CENIZAS DE GASES DE CHIMENEAS DE INGENIOS DE TUCUMÁN, ARGENTINA

Gutiérrez, C. E.; Zalazar, H. C.; Zamora, G. del H.; Morales, W. D.; Golato, M. A. y R. M. Ruiz

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

Palabras clave: lavadores de gases, análisis inmediato, scrubbers.

INTRODUCCION

La ceniza del bagazo de la caña es un residuo que se deriva del proceso de fabricación del azúcar. En la etapa de la molienda de la caña se produce una fibra (bagazo) que es utilizada en los propios ingenios para la generación de energía. Producto de la incineración de este material se genera un nuevo residuo que es la ceniza de bagazo de caña (Álvarez et. al, 2019). Las cenizas de bagazo poseen dos fracciones identificables, la que 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 atmosfera por la chimenea, previo filtrado de las partículas por medio de un lavador de gases (Jijo and Kasinatha Pandian, 2017; Golato *et.al*, 2012).

Con la finalidad de cumplir con los límites máximos permisibles establecidos, las calderas están equipadas con sistemas lavadores de gases que cumplen la función de captar las cenizas en suspensión presentes en los gases de combustión. Los sistemas de lavadores de gases, los cuales con el uso continuo de atomización de agua industrial atrapan las partículas de cenizas suspendidas en los gases de combustión. El agua, luego de la captación de cenizas es llevada a un sistema de tratamiento por decantación para separarla de la ceniza y volverla a reutilizar en los lavadores de gases (Vizueta Méndez e Martínez Lozano, 2013).

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 (Agencia Nacional de Aguas, 2009).

OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es mostrar los resultados de los análisis físicos, químicos y energéticos realizados a las cenizas provenientes 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 2023 se tomaron 100 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 salida de cada scrubber. Las muestras líquidas fueron evaporadas a sequedad a 105°C, en estufa marca ORL con circulación forzada de aire, donde posteriormente se obtuvieron las cenizas a las que se les realizó una caracterización física mediante análisis de granulometría y densidad (D); análisis inmediato mediante análisis termogravimétrico (TGA) en base seca (b.s.); caracterización energética mediante determinación de PCS en b.s. y análisis de fusibilidad de cenizas.

Para el análisis del tamaño de partícula de las cenizas (Dp), se siguió la Norma ASTM C136-01. La determinación de la D en las muestras de cenizas se realizó de acuerdo a la norma ASTM D 854-02.

En el análisis TGA, se determinó sólidos volátiles (SV), carbono fijo (CF) y cenizas (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.

El análisis de fusibilidad de cenizas se realizó con un equipo analizador con sistema de reconocimiento de imágenes, marca LECO, modelo AF700, siguiendo la metodología ASTM D 1857-03, que identifica cuatro temperaturas: la inicial de deformación (DT), de ablandamiento (ST), de semiesfera (HT) y de fluidización (FT), para dos atmósferas diferentes: oxidante (CO₂ y O₂) y reductora (CO₂ y CO).

La determinación de Cl, se realizó siguiendo la metodología propuesta en la norma ASTM E 776-87 modificada (Gutiérrez *et al.*, 2016) y la de S, por medio de la norma ASTM D 3177-02 modificada (Mistretta *et al.*, 2019).

Para la determinación del contenido de SiO₂ se realizó siguiendo el método gravimétrico descrito en la norma ASTM E 887-88 (Gutiérrez *et al.*, 2018).

RESULTADOS

En la Tabla 1 se observan los valores promedio de la caracterización física, del análisis inmediato y de la caracterización energética de las cenizas obtenidas a la salida de los filtros lavadores estudiados. Además, se observa el análisis estadístico realizado para el lote de muestras ensayadas.

Tabla 1. Valores promedio de la caracterización física, análisis inmediato y caracterización energética, determinados en las cenizas de los scrubbers estudiados en Tucumán.

Ensayo	D [Kg/m ³]	Dp [mm]	SV [%] b.s.	CF [%] b.s.	CZ [%] b.s.	PCS [KJ/Kg] b.s.
Promedio	1.664,6	0,31	17,47	10,99	71,61	6.585
Rango	1.046,7 – 2.813,1	0,18 - 0,84	0,01 – 65,74	0,01 – 50,73	20,42 – 96,65	439 – 21.459
% CV	0,27	0,40	0,71	1,01	0,23	0,61

En la caracterización física de las cenizas se obtuvo un valor de D promedio de 1.664,6 [Kg/m³]; el Dp dio un valor promedio de 0,31 [mm]; del análisis inmediato se obtuvo un valor promedio de SV 17,47 [%], CF 10,99 [%] y CZ 71,61[%]. Asimismo, en la Tabla 2, pueden verse los resultados del PCS en b.s., con un valor promedio de 6.585 [kJ/kg].

La Tabla 2 muestra los resultados del contenido de Cl, S y SiO₂ de las muestras de las cenizas recuperadas del lavado de gases. Además, se observa el análisis estadístico realizado para el lote de muestras ensayadas, con sus respectivos coeficientes de variación % CV.

Tabla 2: Valores promedio del contenido de Cl, S y de SiO₂, determinados en las cenizas estudiadas en Tucumán.

Ensayo	Cl [%] b.s.	S [%] b.s.	SiO ₂ [%] b.s.
Promedio	0,51	0,64	30,05
Rango	0,05 – 2,40	0,03 – 2,65	6,05 – 52,88
%CV	1,03	0,92	0,45

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 de Tucumán, Argentina.

Ensayo	ATMÓSFERA OXIDANTE				ATMÓSFERA REDUCTORA			
	DT [°C]	ST [°C]	HT [°C]	FT [°C]	DT [°C]	ST [°C]	HT [°C]	FT [°C]
Promedio	1.043	1.245	1.378	>1.500	1.009	1.256	1.378	>1.500
Rango	845 - 1.145	990 - 1.425	1.110 - 1.490	-	735 - 1.195	905 - 1.405	1.145 - 1.495	-
% CV	0,07	0,09	0,07	-	0,13	0,10	0,07	-

Para atmósfera oxidante, el valor promedio fue de: DT= 1.043°C, ST= 1.245°C, HT=1.378°C y FT >1.500°C. Para atmósfera reductora, los resultados fueron en promedio: DT=1.009°C, ST =1.256°C, HT=1.378°C y FT >1.500°C. La máxima temperatura promedio registrada (FT), fue mayor a 1.500°C para ambas atmósferas analizadas.

En la Tabla 4 se observa una comparación de los valores promedio de la caracterización física, del análisis inmediato y de la caracterización energética, de las cenizas obtenidas a la salida de los filtros lavadores estudiados para zafras 2022 y 2023.

Tabla 4. Valores promedio de la caracterización física, análisis inmediato y caracterización energética, para las cenizas de agua de lavado de los scrubbers para zafras 2022 y 2023.

	D [Kg/m ³]	Dp [mm]	SV [%] b.s.	CF [%] b.s.	CZ [%] b.s.	PCS [KJ/Kg] b.s.
Zafra 2022	1.722,3	0,26	15,23	11,92	72,81	4.881
Zafra 2023	1.664,6	0,31	17,47	10,99	71,61	6.585

En la Tabla 5 se observan una comparación de los valores promedio del contenido de Cl, el de S y el de SiO₂, para las muestras de las cenizas recuperadas del lavado de gases para zafras 2022 y 2023.

Tabla 5. Valores promedio del contenido de Cl, S y del SiO₂, para las muestras de las cenizas recuperadas del lavado de gases, para zafras 2022 y 2023.

	Cl [%] b.s.	S [%] b.s.	SiO ₂ [%] b.s.
Zafra 2022	0,29	0,76	31,80
Zafra 2023	0,51	0,64	30,05

En la Tabla 6 se observan una comparación de los valores promedio del análisis de fusibilidad de las cenizas, para las muestras de las cenizas recuperadas del lavado de gases para zafras 2022 y 2023.

Tabla 6. Valores promedio de las temperaturas de fusibilidad de cenizas en atmósfera oxidante y reductora, de las cenizas recuperadas del lavado de gases, para zafras 2022 y 2023.

	ATMÓSFERA OXIDANTE				ATMÓSFERA REDUCTORA			
	DT [°C]	ST [°C]	HT [°C]	FT [°C]	DT [°C]	ST [°C]	HT [°C]	FT [°C]
Zafra 2022	1.045	1.262	1.402	>1.500	1.021	1.270	1.402	>1.500
Zafra 2023	1.043	1.245	1.378	>1.500	1.009	1.256	1.378	>1.500

CONCLUSIONES

Los parámetros termogravimétricos, energéticos y de fusibilidad de cenizas del material recuperado del agua de lavado de gases fueron en promedio de: CZ=71,61%; SV=17,47%; CF=10,99% y PCS=6.585 [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 Gutiérrez *et. al*, 2022. La DT de fusibilidad de las cenizas, fue de 1.043°C para atmósfera oxidante y 1.009°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, 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.

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.

ASTM C 136- 01. 2001. Método de Ensayo Normalizado para determinar el Análisis Granulométrico de los Áridos Finos y Gruesos. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

ASTM D 854-02. 2002. Métodos de Prueba estándar para Gravedad específica de los sólidos del suelo por picnómetro de Agua. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

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 Tomo 89 (1). Págs.: 11-19.

Golato, M., Zamora Rueda, G., Gutiérrez, 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 Tomo 98 (2): 21-27. Págs.: 21 – 27.

Gutiérrez, C. E.; Mistretta, G.; Zamora Rueda, G.; Peralta, F. L.; Golato, M. A.; Coronel, M.; Ruiz, M.; Paz, D. y Cárdenas, G. J. 2016. Contenido de cloro total en residuos agrícolas de cosecha de

caña de azúcar (RAC) en Tucumán. RIAT. Tomo 93 (2). Pág.: 15-19. Disponible en: <http://www.scielo.org.ar/pdf/riat/v93n2/v93n2a04.pdf>. Consultado: 15 de enero 2022.

Gutiérrez, C. E.; Mistretta, G.; Zamora Rueda, G.; Peralta, F. L.; Golato, M. A.; Juárez, G.; Ruiz, M.; Paz, D. y Cárdenas, G. J. 2018. Contenido de sílice total en cenizas de residuos agrícolas de cosecha de caña de azúcar (RAC) en Tucumán, Argentina. RIAT 95 (1). Pág.: 21-26.

Mistretta, G.; Gutiérrez, C.; Zamora Rueda, G.; Peralta, F.; Golato, M. A.; Paz, D.; Cárdenas, G. y Ruiz, M. 2019. Contenido de azufre total del residuo agrícola de la cosecha de caña de azúcar de Tucumán, Argentina. RIAT. Tomo 96 (1). Pág.: 49-54. Disponible en: <http://www.scielo.org.ar/pdf/riat/v96n1/v96n1a01.pdf>. Consultado: 15 de enero 2022.

Disponible en: <http://www.scielo.org.ar/pdf/riat/v95n1/v95n1a03.pdf>. Consultado: 15 de enero 2022.

Gutiérrez, C. E.; Zalazar, H. C.; Morales, W. D.; Golato, M. A. y Ruiz, M. 2022. Caracterización de agua de lavado y cenizas de gases de chimeneas de ingenios de Tucumán, Argentina. XXII REUNIÓN TÉCNICA SATCA 2022.

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. Volume 2017. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2017/1706893>

Vizueta Méndez, J. A. y Martínez Lozano, E. 2013. Implementación de un nuevo sistema de tratamiento de agua con ceniza proveniente de los lavadores de gases de combustión de las calderas de Ingenio San Carlos. Disponible en: https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/24603/1/FIMCP_Implementacion%20de%20un%20nuevo%20sisema%20de%20tratamiento%20de%20agua_FIMCP.pdf

DESARROLLOS TECNOLÓGICOS PARA LOGRAR LA UTILIZACIÓN EFICIENTE Y SEGURA DE BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS EN APARATOS DE CALEFACCIÓN DOMÉSTICA EN ARGENTINA

F.E. Luna; M. G. Risso; G. Martínez Pulido y M. Rearte

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: Estufas, Pellets, Normalización, Sustentabilidad, Energías renovables.

Introducción

El corredor productivo del Noroeste Argentino (NOA) tiene un gran potencial para la producción de biocombustibles sólidos (BCS). Solamente el sector sucroalcoholero, cuya base proyecta para 2024 más de 20 millones de toneladas de caña⁴, genera grandes cantidades de biomasa que podrían direccionarse a nuevas aplicaciones. La transformación de biomasa derivadas de la caña de azúcar en pellets se presenta como una oportunidad energética sostenible, tanto para el mercado interno como para la exportación a otras regiones y mercados internacionales.

En el camino a la transición energética y la diversificación de la matriz de fuentes de energía, la inserción y consolidación del sector bioenergético es un desafío crucial. En nuestro país aún existen regiones que no tienen acceso pleno a los combustibles convencionales disminuyendo la calidad de vida al no poder satisfacer las necesidades básicas energéticas (NBE) y en contrapunto, existen regiones productoras de biomasa residuales factibles de transformar en biocombustibles sólidos como el RAC y bagazo de caña de azúcar Martínez Pulido *et al.* (2017). La utilización eficiente y segura de biocombustibles sólidos (BCS) es un desafío crucial en este proceso que se intensifica en la época invernal. Este sector industrial emergente detrás de esta temática enfrenta la necesidad de soporte y consolidación, meta a la que el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) viene contribuyendo hace más de 10 años, particularmente impulsado por el desarrollo de un marco normativo para garantizar primeramente la seguridad de las personas que utilizan aparatos de calefacción doméstica sin descuidar aspectos técnicos como la eficiencia, el mantenimiento y la correcta instalación.

La norma IRAM ISO 17225 (ISO, 2021) y las normas europeas UNE EN 14785 y UNE EN 16510 con las que trabaja el Laboratorio de Fabricación Industrial para las energías renovables en Tucumán (FabLAB), son esenciales en este proceso. La norma IRAM ISO 17225 establece especificaciones para diversas clases de biocombustibles sólidos, garantizando su calidad y rendimiento. Las normas UNE EN 14785 y UNE EN 16510 se centran en la certificación de aparatos de calefacción doméstica que funcionan con pellets, briquetas y leña, estableciendo criterios para su verificación técnica.

Utilizando como herramienta clave, por un lado, datos de análisis del Laboratorio de Biocombustibles (LBC) de estudios energéticos de pellets de RAC y Bagazo, y por otro lado, conceptos de Banco de Pruebas de Estufas (BPE) adaptado por el Departamento de Energías Renovables NOA en la provincia de Tucumán para evaluar BCS bajo lineamientos normativos. Este BPE ha sido diseñado para realizar verificaciones técnicas en términos de seguridad, operación y mantenimiento de los aparatos de calefacción que utilizan BCS, adicionalmente brindar soporte integral al programa de certificación de biocombustibles sólidos de INTI⁵, asegurando que los productos cumplan con los estándares de calidad y eficiencia requeridos por el mercado europeo.

El primer ensayo a escala industrial de pelletizado de RAC de caña de azúcar en Argentina, llevado a cabo por el INTI y otros actores Martínez Pulido *et al.* (2017), ha

⁴ <https://www.c5n.com/economia/no-hay-que-preocuparse-la-sobreproduccion-el-ingenio-la-florida-comenzo-la-zafra-2024-tucuman-n154428>

⁵ [Hacia una nueva certificación para generar biocombustibles sólidos | Argentina.gob.ar](https://www.argentina.gob.ar/energia-renovable/biocombustibles)

demostrado la viabilidad técnica y económica de convertir estos residuos en pellets. El bagazo de caña, un subproducto abundante en la industria azucarera, también representa una fuente viable de biomasa para la producción de pellets, ampliando así las posibilidades de desarrollo del sector bioenergético en el NOA.

En otras regiones del mundo, el uso del bagazo como materia prima para la fabricación de biocombustibles ya se ha explorado, particularmente para la producción de briquetas Mitchell et al. (2020), no obstante, la producción de pellets, un BCS que puede alcanzar mejores condiciones físico-químicas para asegurar una mayor eficiencia en la combustión es un rubro que aún no está completamente desarrollado.

Objetivo

El presente trabajo tiene como objetivo analizar y comparar las calidades de pellets de algunas biomásas derivadas de la industria sucroalcoholera, con el pellet clase A1 (elaborado con *Pinus Elliotti*) según el estándar ISO 17725. Por tal motivo es importante identificar modelos de estufas que podrían utilizar este BCS explorando algunas normativas aplicables brindando recomendaciones para llevar adelante ensayos de combustión a futuro en el BPE para los estándares seleccionados según el caso.

Materiales y métodos

Los pellets analizados corresponden a muestras obtenidas de diferentes proyectos de desarrollo llevados a cabo por el Departamento de Energías Renovables NOA del INTI. La ejecución del trabajo aquí propuesto se plantea en etapas, las cuales se describen a continuación:

- 1) Caracterización de pellets de origen leñoso (pellet de pino clase A1) y pellet de origen no leñoso (bagazo de caña y RAC), según norma ISO 17225-2 e ISO 17225-4: Poder calorífico superior (PCS), Densidad aparente (BD), Contenido de humedad (M), Contenido de cenizas (A), Durabilidad mecánica en pellets (DU) y Análisis dimensional (D y L).
- 2) Obtención de la equivalencia energética de los pellets no convencionales al estándar ISO17225-2 (ISO, 2021) manteniendo constante los parámetros de combustión.
- 3) Identificación de los tipos de aparatos de calefacción doméstica a pellets que podrían utilizar estos BCS derivados de la caña de azúcar, con parámetros a comparar según norma UNE 14785.
- 4) Estimación del consumo del aparato de calefacción considerado registrando la cantidad de BCS de manera periódica, e identificación de las problemáticas que pudieran presentarse durante su operación.
- 5) Validación de un ensayo a realizarse para verificar la eficiencia en el BPE evaluando parámetros como seguridad, consumo, análisis de gases, potencia, rendimiento, entre otros.

Resultados

A continuación, en la Tabla 1, se muestran las características de las muestras representativas.

Tabla 1 - Comparación de propiedades de pellets de Bagazo (PBGC), RAC (PRAC) y un pellet clase A1 (PAA1).

Muestra	Determinaciones						
	PCS [kcal/kg]	BD [kg/m ³]	M [%]	A [%]	DU [%]	Clase D [mm]	Longitud d [mm]
PBGC	3200	567	10	5,41	90,3	6	8
PRAC	2400	728	9,0	9,5	95	5,8	12
PAA1* ISO17225 -2	4100	600	10	0,35	98	6	10

*Parámetros extraídos de Tabla 2 ISO 17225 (ISO, 2021).


En la Tabla 2 se puede observar un resumen del relevamiento y los resultados por tipos de aparatos:

Tabla 2 - Relevamiento del sector a nivel nacional.

Tipo de aparato de calefacción	Cantidad de pymes fabricantes
Estufas a pellet alimentadas mecánicamente	4
Estufas a pellet gravimétricas	10
Estufas a leña o briquetas	24

Para este estudio se seleccionó una estufa alimentada mecánicamente, descrita en la Tabla 3.

Tabla 3 - Características de la estufa seleccionada en este estudio.

Característica	Valor	Ejemplo
Potencia	8 KW	
Consumo Nominal	2,5 kg/h	
Tipo	Alimentada mecánicamente, electrónica	
Tipo de combustibles declarado	Pellet de pino A1	

Para proveer los 8 kW la estufa consumió 2,5 kg/h pellet de clase A1 (PAA1), cuyo PCS es de 4100 Kcal/kg, suministrando una potencia de 10.250 kcal/h. Manteniendo la misma equivalencia energética, el flujo de pellet de bagazo necesario fue de 3,2 kg/h y el flujo de pellet de RAC fue de 4,27 kg/h.

Bajo esta nueva premisa de consumo, de la oferta disponible, es importante considerar varias características claves, además de entender la diferencia entre estufas de alimentación electrónica y gravimétrica ya que la tasa de consumo también es diferente si las mismas cuentan con tiro forzado.

Las características para evaluar la factibilidad de uso de estos nuevos BCS derivados de la caña son:

- La eficiencia energética la cual se mide por el porcentaje de energía contenida en los pellets que se convierte en calor utilizable. Estufas con una eficiencia superior al 75% se consideran buenas. Si la eficiencia no cumple con el estándar, el exceso de cenizas y el bajo poder calorífico harían que la estufa no funcione correctamente.
- De acuerdo con la Norma, la capacidad de carga del equipo de calefacción debe ser de 3 horas en potencia térmica nominal y 6 horas en potencia térmica reducida como mínimo.
- Una frecuencia adecuada de mantenimiento según el fabricante es un indicador de una estufa bien diseñada. Este parámetro debe ser tenido en cuenta al cambiar el BCS, dado que si presenta un mayor contenido de cenizas podría acortar el tiempo de operación a carga completa.

Para validar el uso de los dos BCS se realizaron ensayos basados en las normas bajo las cuales han sido diseñadas los aparatos de calefacción doméstica (Norma UNE EN 14785:2017, 2017). Con esta norma se diseñó el banco de pruebas de estufas de INTI (BPE) actualmente integrado al programa de Certificación INTI para biocombustibles sólidos, en el cual se evalúan tanto los equipos como los BCS. En la figura 1 se pueden observar algunas pruebas realizadas con pellet de RAC, los datos aún están sujetos a confidencialidad con el usuario.

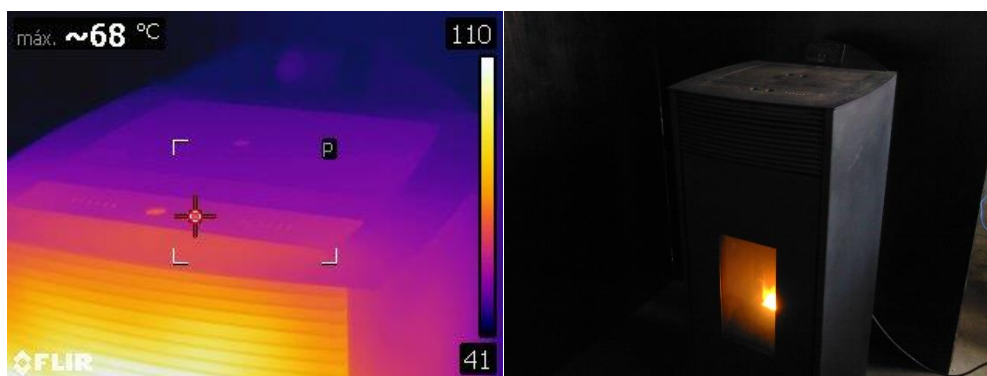


Figura 1 - Ensayos de aparatos en el BPE pellet no convencionales.

En Martínez Pulido *et al.* (2017), se muestra que el RAC de caña y el bagazo pueden transformarse en pellets de buena calidad, que de alcanzar la escala industrial de forma madura y con un sector bioenergético consolidado, podría alcanzar calidades similares a las del estándar ISO17225-2. En este trabajo aún no se validó los ensayos en estufas, actualmente se está adaptando el BPE y haciendo los acuerdos pertinentes con proveedores de equipos nacionales para avanzar con las pruebas de validación. El BPE durante el año 2024 ha sido adaptado y mejorado para evaluar de forma más eficiente estos equipos funcionando con el RAC y el bagazo de caña.

Conclusiones

En función de las características preliminares de los BCS evaluados en INTI, el presente trabajo se enfocó en brindar algunas recomendaciones en el análisis de

comparación de la calidad de los pellets de biomásas derivadas de la industria sucroalcoholera, para validar el uso de estos nuevos pellets no convencionales como ser la mayor acumulación de cenizas, la generación de material particulado y la posible pérdida de eficiencia que puede ocasionar problemas de mantenimiento. No obstante, tanto el PBGC y el PRAC se obtuvieron de pruebas preliminares, no en producción nominal como el pellet A1 de pino.

Podemos concluir que en comparación con el pellet AA1 (según norma ISO 17225) el consumo de pellet de bagazo (PBGC) y el pellet de RAC (PRAC) para obtener una misma potencia térmica se incrementó en un 28% y 70,8% respectivamente.

Es probable que, en un futuro, la industria del pelletizado incorpore o adopte estas biomásas con potencial probado de conformado como pellet y logre mayores calidades. Queda pendiente avanzar con las pruebas a potencia térmica nominal y reducida en el BPE como lo indica la norma para obtener mayor información del desempeño de estos materiales para su uso en sistemas de calefacción doméstica.

Referencias bibliográficas

- International Organization for Standardization. (2021). ISO 17225-1:2021 Solid biofuels — Fuel specifications and classes — Part 1: General requirements. *Technical Committee : ISO/TC 238 Solid biofuels*, 8.
- M. Rearte, G. M., Peralta, F., Samaja, Y., Risso, M., & Nuño., G. (2021). Caso XI: Diversificación de la producción agroindustrial del Noroeste Argentino a través de la producción de pellets de residuos de cosecha de caña de azúcar. *Sistemas de biomasa y bioenergía: casos ejemplares en Iberoamérica*, 230-246.
- M. Pulido, G., Risso, M., Rearte, M., & Abdelhamid, S. (2017). Pelletizado de residuo agrícola de cosecha de caña de azúcar en Argentina. *TecnoINTI*.
- Mitchell, E., Gudka, B., Whittaker, C., Shield, I., Price-Allison, A., Maxwell, D., . . . Williams, A. (2020). The use of agricultural residues, wood briquettes and logs for small-scale domestic heating. *Fuel Processing Technology, ELSEVIER*, 210.
- Norma UNE EN 14785:2011. (20-17). *Aparatos de calefacción doméstica alimentados con pellets de madera. Requisitos y métodos de ensayo*. AENOR.

DESARROLLO DE TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN DE BIOMASA PARA USOS ENERGÉTICOS UTILIZANDO VISIÓN POR COMPUTADORA E INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Martínez, G.; Peralta, F.L.; Martinez Pulido, G.; Danielsen Rodríguez, K.; Rearte, M.

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, visión por computadora, calidad, python

Introducción

En la última década el análisis inteligente de imágenes ha avanzado en saltos agigantados en campos como la medicina, la biología, el medio ambiente y particularmente en aplicaciones industriales. La inteligencia artificial ha potenciado este campo, especialmente en el desarrollo de herramientas para el control de procesos. En el ámbito de las energías renovables y en especial en la bioenergía, esta tecnología puede afectar a mejorar la eficiencia y precisión en el uso de biomasa para generar energía. Específicamente, identificando impurezas, grado de degradación y tamaño de partículas, así como otras variables críticas que afectan la calidad de combustible producido, todo ello sin grandes inversiones. En este contexto, el Instituto Nacional de Tecnología Industrial trabaja en el desarrollo de herramientas de análisis dinámico para fortalecer un programa de certificación de biocombustibles sólidos, basándose en estándares internacionales como ISO 17225 (International Organization for Standardization, 2021) utilizando para crear un “dataset” específico, las muestras de la Biomasa-teca® del Departamento de Energías Renovables NOA, una base de datos (DDBB) que refleja la industrialización de biomasa en todo el país desde hace más de 14 años, incluso biomasa con posibles contaminantes que afectan su calidad.

El uso de la visión por computadora o “*computer vision*” para el análisis de calidad ha tenido un rápido despliegue en la industria (Abril, Moya, Valverde, & Martínez, 2023) ya que de forma económica pueden utilizarse para identificar determinadas características en las materias primas utilizadas para el desarrollo de nuevos bioproductos como biocombustibles (BCS), materiales compuestos, estructuras fundamentales de los materiales lignocelulósicos como la celulosa micro y nano cristalina (Viloria, Marfisi, Rondón, Gáscue, & Peña, 2014), ayudando a identificar la fracción técnicamente aprovechable (FTA) para su uso en aplicaciones térmicas e incluso para evitar o restringir su uso en el caso de no cumplir requisitos mínimos establecidos por los marcos normativos de referencia vigentes en la industria. En la actualidad existen diversos métodos para la cuantificación de propiedades de físicas por imágenes, por ejemplo, en la determinación de calidad de fibras para la industria textil o farmacéutica donde se busca conocer la orientación, la densidad u otras características clave, no obstante el método estándar de control de calidad es la cuantificación manual de los diámetros de las fibras usando microscopía electrónica de barrido (SEM), procedimiento que requiere tiempo e introduce sesgos por parte del operador (Ipohorski & Bozzano, 2013). El procedimiento desarrollado en este trabajo se basa en la implementación de un algoritmo utilizando OpenCV en Python para identificar y contabilizar partículas no deseadas en muestras de bagazo de caña de azúcar *Saccharum officinarum* L. (BCA) de Tucumán y aserrín de primera transformación obtenido del aserrado de *Pinus elliottii* (APT) proveniente de Corrientes. El algoritmo aplica transformaciones de espacio de color, umbralización y detección de contornos, para facilitar el análisis cuantitativo del tamaño de macropartículas y la detección de impurezas. Se discuten los métodos utilizados para la optimización de parámetros, la validación de resultados y su aplicación para cada tipo de biomasa.

Objetivos

Desarrollar una técnica de caracterización de biomásas para usos industriales y diversas aplicaciones, en el campo de la bioenergía y la producción de biomateriales, basada en la implementación de un algoritmo OpenCV que utilice visión por computadora en un “*dataset*” de biomásas generado en el Laboratorio de Biocombustibles de INTI (LBC) utilizando como base registros históricos de la Biomasaoteca del INTI.

Materiales y métodos

Para la selección y preparación de muestras de biomasa se utilizó procedimientos basados en la norma ISO 18135:2017 y procedimientos de registros estandarizados para la gestión de muestras y la generación de imágenes. Adicionalmente se utilizó referencias técnicas de ISO 17225-9 para crear el “*dataset*” de imágenes generada en una cabina fotométrica en desarrollo en el LBC específicamente para esta aplicación.

En el diseño del algoritmo se utilizaron las librerías de Python

- 1) OpenCV utilizada para el procesamiento de imágenes y videos
- 2) NumPy para la manipulación de “*arrays*” y operaciones matemáticas,
- 3) Matplotlib para la visualización de resultados.

Para el pre-procesamiento se utilizó una serie de técnicas digitales basado en el modelo de Smith (Smith, 1978):

- Conversión de RGB a HSV: Se transformaron las imágenes del espacio de color RGB a HSV. Esta conversión es crucial porque separa la información de luminancia (value) de las componentes de color (Hue y Saturation), permitiendo un análisis más robusto ante variaciones de iluminación.
- Umbralización inversa: Se aplicó una umbralización inversa sobre el canal de Value para segmentar las regiones de interés. Este proceso identifica las áreas oscuras (potenciales impurezas o partículas no deseadas) invirtiéndolas a blanco, mientras el resto de la imagen se vuelve negro. El umbral se determinó adaptativamente para cada imagen utilizando el método de Otsu, que maximiza la varianza entre clases.
- Detección de elementos visuales: Se implementaron algoritmos de detección de contornos y análisis de componentes conectados para identificar y aislar los elementos visuales de interés. Específicamente: a) Se aplicó el detector de bordes Canny para encontrar los contornos de las partículas. b) Se utilizó la transformada de distancia para separar partículas que pudieran estar tocándose. c) Se implementó un filtrado por área para eliminar detecciones muy pequeñas que probablemente sean ruido.
- Mejora de imagen: Previo a los pasos anteriores, se aplicaron técnicas de mejora de imagen como:
 - a) Ecualización de histograma para mejorar el contraste global.
 - b) Filtrado Gaussiano para reducir el ruido y suavizar la imagen

Este pre-procesamiento robusto prepara las imágenes para un análisis más preciso, facilitando la identificación y cuantificación de partículas no deseadas en las muestras de biomasa.

Desarrollo

La primera etapa del desarrollo se basó en el estudio y selección de muestras de la base de datos generada en el Departamento de Energías Renovables NOA del INTI documentadas en la Biomasaoteca® que cuenta con muestras de proyectos y servicios realizados por los especialistas de la Red de Biomasa (Rearte & Beccari, 2019) en todo el territorio nacional. Para el desarrollo de la herramienta digital de caracterización se seleccionaron dos categorías o familias de muestras, el bagazo no aprovechado en la industria sucroalcoholera de la provincia de Tucumán y el aserrín

generado en procesos de transformación primaria de la producción forestoindustrial de Corrientes. Cabe destacar que el bagazo convencional es utilizado en calderas bagaceras para la generación de energía, las muestras seleccionadas se enfocan en materiales sujetos a contaminación por materiales foráneos que pueden interferir con procesos posteriores de valorización.

En la Fig. 1 se puede observar el flujo de trabajo basado en la metodología propuesta.

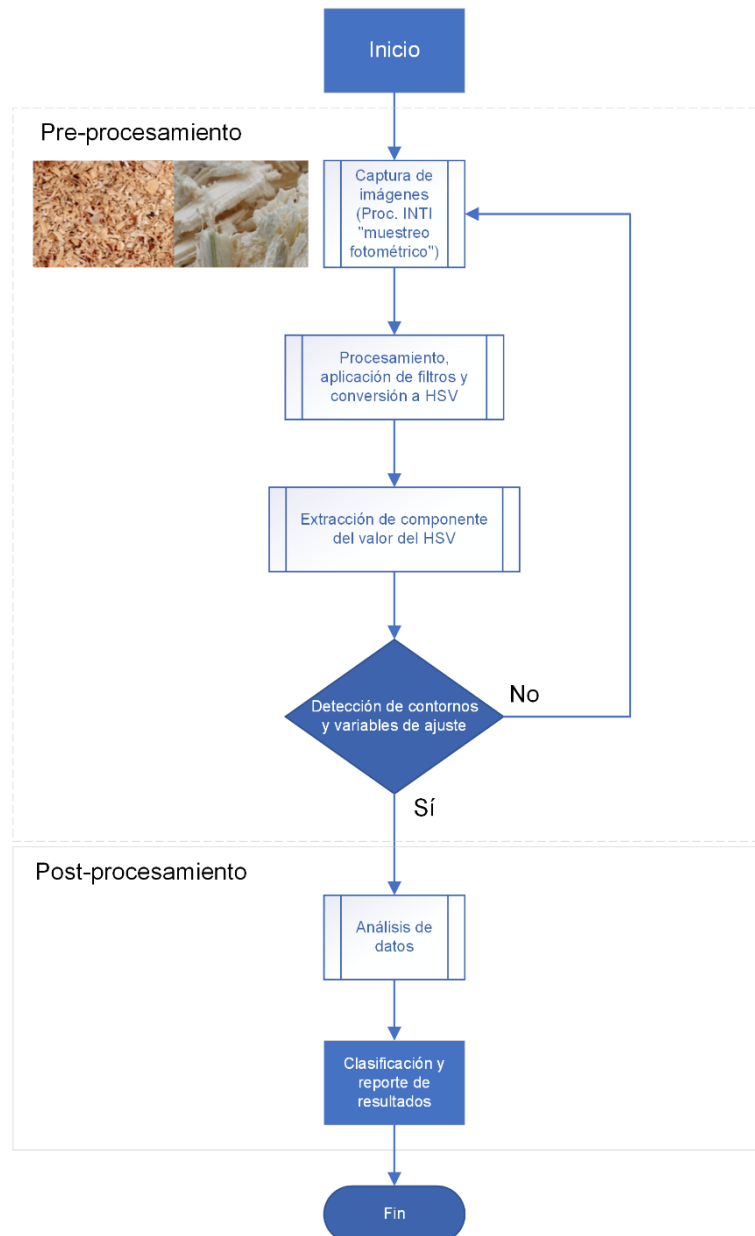


Fig. 1 - Esquema del desarrollo basado en (P & Castillo Agurto, 2014).

A continuación, en las Fig. 2 y 3 se muestran biomapas de la BBDD de imágenes utilizadas para el entrenamiento y perfeccionamiento del algoritmo para detección de material no deseado.



Fig. 2 - M1-BCA, Muestra de bagazo de descarte con 10% de material no deseado s/LBC.



Fig. 3 - M2-APT, Muestra de aserrín con 5 % de material no deseado s/LBC.

Los BCS mostrados en la Fig. 2 y 3 se agrupan en el estándar homólogo IRAM ISO 17225 en Argentina, el BCA y el APT en la actualidad, mayormente se utilizan en procesos térmicos, desde el secado de la yerba mate hasta combustible en calderas bagaceras para generar vapor y energía eléctrica, incluso para la producción de pellet (M.Pulido, Risso, Rearte, & Abdelhamid, 2017).

Para la detección y el reconocimiento se utilizó un algoritmo basado en procesamiento de imágenes y umbralización. A partir de las imágenes obtenidas del pre-procesamiento, el algoritmo identificó y clasificó las áreas de interés según el modelo de análisis de partículas.

El modelo basado en (Smith, 1978) incluyó varios métodos de detección y reconocimiento de objetivos. Primero, se aplicó un filtro gaussiano para suavizar la imagen y reducir el ruido, lo que mejoró la precisión en la detección de partículas no deseadas (PND).

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right)} \quad (1)$$

Donde $G(x, y)$ es el valor del filtro en el punto (x, y) y σ es la desviación estándar.

Luego, se convirtió la imagen al espacio de color HSV y se extrajo la componente de valor (V), que representa la luminosidad. Mediante umbralización, se separaron las partículas oscuras del fondo.

La conversión de RGB a HSV se realizó con las siguientes fórmulas:

$$\text{Para el valor (V)} \quad V = \max(R, G, B) \quad (2)$$

$$\text{Para la saturación (S)} \quad S = \begin{cases} 0 & \text{si } V = 0 \\ 1 - \frac{\min(R, G, B)}{V} & \text{si } V \neq 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{Para el tono (H)} \quad H = \begin{cases} 0 & \text{si } R = G = B \\ 60^\circ \times \frac{G - B}{V - \min(R, G, B)} & \text{si } V = R \\ 60^\circ \times \left(2 + \frac{B - R}{V - \min(R, G, B)}\right) & \text{si } V = G \\ 60^\circ \times \left(4 + \frac{R - G}{V - \min(R, G, B)}\right) & \text{si } V = B \end{cases} \quad (4)$$

La umbralización binaria se realizó aplicando la formula:

$$I_{binary}(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{si } I(x, y) < T \\ 255 & \text{si } I(x, y) \geq T \end{cases} \quad (5)$$

Donde $I(x, y)$ es el valor de intensidad en el punto (x, y) y T es el umbral de decisión.

Una vez realizadas estas etapas, se aplicaron operaciones morfológicas para cerrar pequeños huecos en las partículas detectadas y mejorar la coherencia de las

formas. Este proceso permitió estimar el porcentaje de áreas oscuras en relación con el total de la imagen, ajustando iterativamente el umbral de detección para optimizar la precisión en función de datos de referencia proporcionados por análisis de laboratorio.

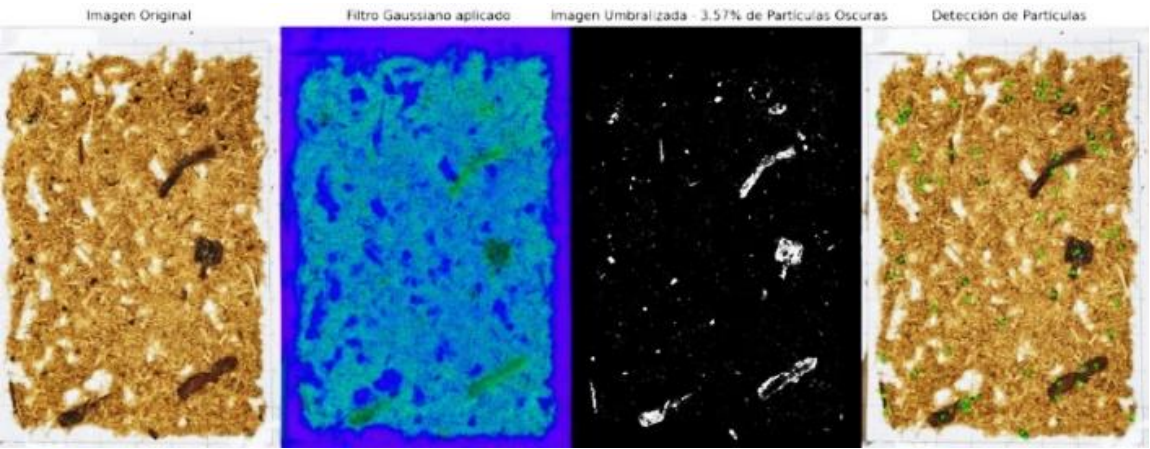
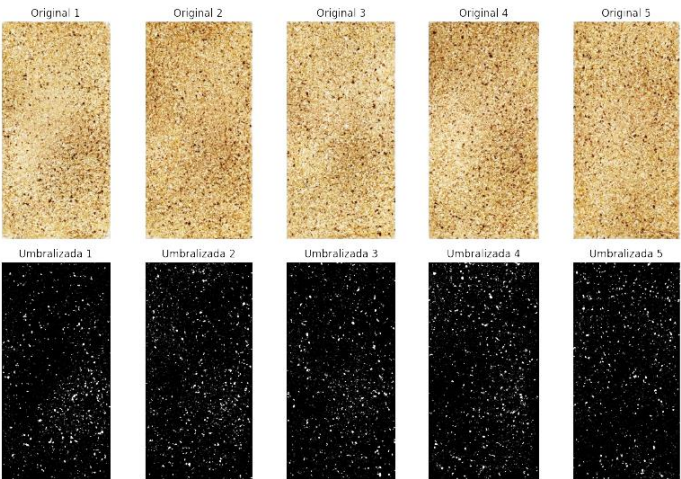


Fig. 4- Proceso de procesamiento de imágenes para la detección de partículas no deseadas.

En la fig. 4, se puede observar en análisis de las imágenes previamente preparadas para que los resultados sean comparables en función de las variables establecidas en el estándar ISO17725-9 (Escalante, y otros, 2022). Estas variables incluyen la normalización en términos del contenido de humedad, el peso de la muestra, la densidad aparente entre otras.



Porcentaje de partículas foráneas: 3.96%

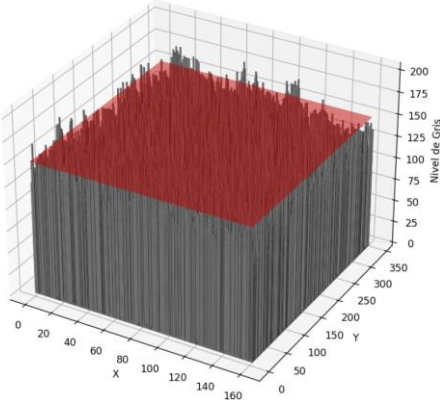


Fig. 5 – Normalización de muestras de aserrín con cortezas.

El modelo detecta y reconoce partículas oscuras (Fig.5) y ajusta dinámicamente sus parámetros para mejorar la exactitud del reconocimiento a través de múltiples iteraciones estableciendo un criterio de convergencia. Esta capacidad de ajuste iterativo presenta diferentes rangos de exactitud para cada tipo de biomasa. En la Fig. 6 se muestra el proceso de calibración del modelo el cual requiere refinamiento para cada biomasa, desarrollo en curso en el INTI para diferentes industrias.

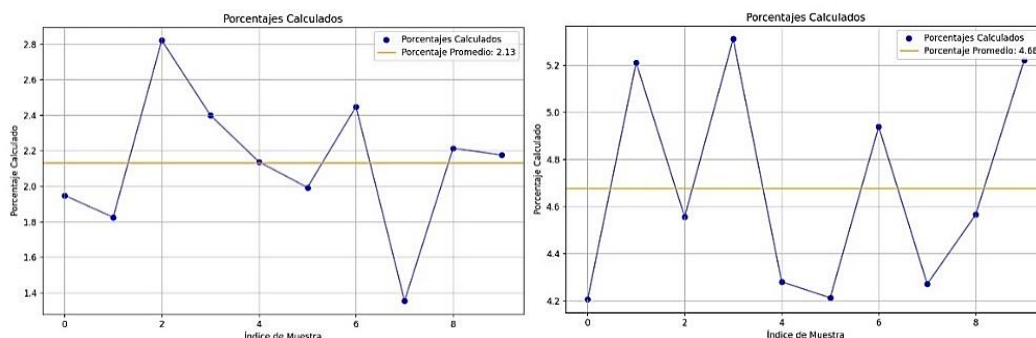


Fig. 6 – Proceso de calibración de curvas para BCA (2,5% PND) y BCA (5% PND).

En la Tabla 1 se pueden observar los resultados comparativos de la determinación por fotometría inteligente y los resultados de las determinaciones del LBC para M1, M2 y una tercera muestra APT con otro porcentaje de contaminación para contraste.

Tabla 1 - Comparación de resultados.

Técnica	Unidad	Muestra		
		M1-BCA	M2-APT	M3-APT
Det. del contenido de material no deseado	%, g/g	10,00	5,00	2,50
Fotometría inteligente	%, g/g	4,69	4,87	2,13
Error relativo	%	-53,1	-2,60	-14,80
Error absoluto	%	5,31	0,13	0,37

Conclusiones

Si bien la metodología presentada es una simplificación del proceso aún en desarrollo por parte del INTI, los resultados obtenidos denotan que el modelo para APT con partículas como la corteza, funciona con un error relativo del orden del 2,6%, valor dentro de los rangos aceptables en la industria del pelletizado. En cambio, para el bagazo, por la heterogeneidad de la materia prima, los resultados presentan un error relativo mayor y pierde precisión, no obstante, para contaminación con partículas como la corteza, funciona de forma similar que, para el ATP, en los casos en los que el bagazo se encuentra mejor acondicionado como podría requerirse para utilizarlo en aplicaciones diferentes de la combustión. Teniendo en cuenta que en aplicaciones industriales la fracción aceptable varía, por ejemplo, de corteza entre el 1% para uso en calderas de baja y media potencia, hasta 10% para su uso en la fabricación de tableros para la construcción. También se puede observar que, para valores menores de contenido de material no deseado, aumenta el error relativo con este método de detección. El modelo deberá continuar siendo refinado para ajustar a los parámetros de detección deseados. Mínimamente los valores de materiales no deseados deben declararse y mantenerse

por debajo de los límites para cada rubro, siendo este desarrollo una herramienta factible de implementar para el aseguramiento de calidad en estos procesos industriales.

El desarrollo presentado es la base para continuar con un módulo específico para el bagazo y el RAC de caña como así también para la gran diversidad de muestras pre-industrializadas de la Biomasa-teca de INTI significando un campo no explorado para el cual este trabajo pretende establecer las bases de la inserción de la tecnología de análisis inteligente en los sistemas de calidad de la bioenergía y para el trabajo en laboratorio.

Referencias bibliográficas

Abril, P. C., Moya, S. D., Valverde, L. D., & Martínez, D. R. (2023). Revisión sistemática de las aplicaciones de vanguardia en el campo de la visión por computadora. *Ciencia digital*, Vol.7 N°4, PP 26-53.

Escalante, K., Hoyos, G., Giraudo, C., Rearte, M., Bornancin, M., & Tirado, L. M. (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. *TecnoINTI*. CABA: INTI.

International Organization for Standardization. (2021). ISO 17225-1:2021 Solid biofuels — Fuel specifications and classes — Part 1: General requirements. *Technical Committee : ISO/TC 238 Solid biofuels*, 8.

Ipohorski, M., & Bozzano, P. B. (2013). Microscopía electrónica de barrido en la caracterización de materiales. *Ciencia e investigación*, Tomo 63-3.

M.Pulido, G., Risso, M., Rearte, M., & Abdelhamid, S. (2017). Pelletizado de residuo agrícola de cosecha de caña de azúcar en Argentina. *TecnoINTI*.

P, A. P., & Castillo Agurto, E. (2014). *Determinación de la distribución de orientación y longitud de fibras mediante procesamiento digital de imágenes en compuestos poliméricos reforzados con fibras cortas*. Cuenca, Ecuador.: Univerisdad Politécnica Salesiana, Carrera de ingeniería mecánica.

Rearte, M., & Beccari, P. (2019). *Bioenergía INTI*. Obtenido de Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Argentina. Publicación N°167 (2019). Noticias BIOENERGÍA: <https://www2.inti.gob.ar/web/noticiero.jsp?idNoticia=1295>

Smith, A. R. (1978). Color Gamut Transform Pair. *SIGGRAPH 78 Conference Proceedings*, 12-19.

Viloria, P. R., Marfisi, S., Rondón, P. O., Gáscue, B. R., & Peña, G. (2014). Obtención de celulosa microcristalina a partir de desechos agrícolas del cambur (musa sapientum). Síntesis de celulosa microcristalina. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 15(6).

EVALUACION DEL POTENCIAL DE METANIZACIÓN DE MEZCLAS CACHAZA Y VINAZA

Molina, C.F.; Acuña, M.F.; Coria Muñoz, L.A.; Machado, W.D. y E.A. Quaia

Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, Las Talitas, Tucumán. República Argentina.

Email: federico.molina@eeaoc.org.ar

PALABRAS CLAVES: Economía Circular, Biogas, Bioenergías, Industria sucroalcoholera.

INTRODUCCIÓN

Con la aplicación de la economía circular, se pretende maximizar el aprovechamiento de las materias primas y subproductos, con el fin de minimizar la producción de residuos y el consumo de recursos naturales. En este sentido la utilización de la digestión anaerobia de los subproductos fabriles de la industria sucroalcoholera, tienen un gran potencial en la generación de energías renovables a partir del biogás producido y una En este sentido la generación de biogás por medio de la digestión anaeróbica de los residuos o subproductos de la industria sucroalcoholera, tiene un gran potencial para la producción de energías renovables; así como la de disminuir la utilización de los fertilizantes de origen fósiles, al emplear el digestato como biofertilizante. Además de conseguir con la suma de estos efectos, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Existen diversas publicaciones en los últimos 20 años sobre la digestión anaeróbica de la vinaza (Bermúdez Savon y col., 2000; Ariza Calvo y col., 2020), donde se han probado distintas tecnologías para la producción de biogás, en general como monosustrato, es decir utilizando exclusivamente la vinaza, sin embargo se conoce, también, que la codigestión de sustratos favorece la producción de metano en un proceso de digestión anaeróbica ya que potencia las condiciones nutricionales que favorecen el crecimiento y desarrollo de la microbiota que forman el consorcio (Sarabia Méndez y col., 2017, *Bernal Martinez y col. 2020*),.

A partir de esta premisa, se plantea la hipótesis de que la utilización de dos sustratos diferentes aun provenientes del mismo proceso industrial, podrían mejorar la producción de biogás en un proceso de digestión anaerobia. Con el fin de probarlo se planteó el objetivo de evaluar la producción de biogás utilizando el método de potencial de metanización de vinaza y cachaza como monosustratos y el de diferentes proporciones de mezclas vinaza-cachaza como co-sustratos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el ensayo se utilizaron: vinaza recogida de la base de la columna de destilación y mantenida a temperatura ambiente hasta su utilización; y cachaza que fue recogida a la salida del proceso de filtración en bolsas plásticas cerradas herméticamente para conservar la humedad. Ambos sustratos fueron obtenidos del mismo complejo sucroalcoholero de la provincia de Tucumán.

Mezclas para la Codigestión: el cálculo de la cantidad de cada sustrato se hizo en función de los sólidos volátiles (SV) aportados por cada materia prima. Cada vial, independientemente del sustrato que se haya utilizado, contenía 0,75 gSV/l. Se evaluaron tres tipos de mezclas vinaza:cachaza (cuadro 1).

Cuadro 1: composición de las distintas mezclas evaluadas en la codigestion.

Proporciones "Vinaza:Cachaza" en SV			
	Sistema1	Sistema2	Sistema3
CANTIDADES ¹	90:10	75:25	50:50
CACHAZA (mg)	79	198	395
VINAZA (ml)	3,3	2,7	1,8

¹ cantidad de sustrato fresco añadido a cada reactor, del sistema correspondiente.

Determinación de la materia orgánica del sustrato: Se estableció en función de los sólidos volátiles presentes. Con este fin determinaron los sólidos totales, fijos y volátiles empleando el método identificado como 2540 B y E del Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (24th ed).

Potencial Biológico de Metanización (BMP): Se utilizó el método descrito por Field y col. (1988). Se midió el metano generado periódicamente en la fermentación controlada con el sustrato a ensayar en presencia de un lodo anaeróbico de actividad metanogénica conocida. La fermentación se llevó a cabo en viales de 250 ml. Se utilizó un lodo anaeróbico proveniente de un reactor que se utiliza para hacer ensayos pilotos, en la EEAO, cuya concentración fue de 11,02 gSSV/l y la Actividad Metanogénica Específica (AME) fue de 0,247 gDQO_{CH4}/gSSV.d., a razón de 1,5 gSSV/l. Se añadieron soluciones macro y micronutrientes. La concentración de sustrato que se agregó en cada vial, se calculó en función de mantener la concentración de sustrato [F] a la mitad de la concentración de biomasa activa o lodo [X], (cuadro 1).

Cada ensayo con los sustratos solos o con las mezclas de sustratos se realizaron por triplicado. Además, se armaron 3 viales controles o blancos que sólo contenían lodo activo en el medio de fermentación, sin el agregado de los sustratos. Cada sistema fue incubado a 35° C por 32 días. Periódicamente se midió el metano producido.

Análisis estadístico: Se realizó el análisis de la varianza (ANOVA) y de diferencias de medias entre tratamientos con el test de Tukey al 5% de significación.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

El análisis de la composición de sólidos de la materia prima utilizada, se muestra en el Cuadro 2. Se decidió trabajar con los sólidos volátiles (SV) en vez de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), ya que a pesar de ser una medida normal para caracterizar la materia orgánica en la vinaza, la determinación de DQO es una técnica que se vuelve inexacta para los sustratos sólidos, por su heterogeneidad.

Cuadro 2. Composición de sólidos de las materias primas

	Sólidos Totales	Sólidos Fijos	Sólidos Volátiles
CACHAZA [g/Kg]	311,05	73,94	237,11
VINAZA [g/l]	84,37	32,76	51,61

Producción de Metano

En la Imagen 1, se muestran las curvas de producción acumulada de metano en función del tiempo durante la fermentación en los distintos viales. En la misma puede observarse la diferencia evidente entre el metano producido por la cachaza y vinaza, (trazos claros) con las mezclas de vinaza y cachaza (en trazos oscuros). La cachaza no sólo presentó una menor producción de metano, sino que también mostró la menor tasa de producción de metano (Imagen 1), determinada por la pendiente de la curva durante la fase

logarítmica. Este fenómeno se atribuye probablemente, a su naturaleza rica en fibras, lo que hace más lenta la solubilización de los nutrientes y retarda su disponibilidad para los microorganismos. En cambio si comparamos las velocidades entre las mezclas y la vinaza, se observa en las gráficas de la imagen 1 una pendiente similar, es decir tasas equivalentes. El mayor rendimiento en metano de las mezclas respecto a los sustratos puros podría explicarse por la complementariedad nutricional.

Las curvas obtenidas se condicen en comportamiento y en valores a los reportados por Pagés Díaz y col. (2019), donde se obtuvieron mayores rendimientos de metano cuando se utilizaron mezclas de sustratos, por encima de la digestión de monosustratos.

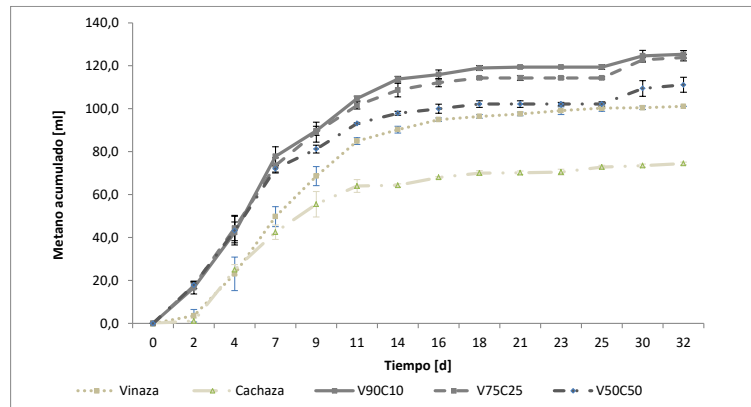


Imagen 1. Curva de volumen acumulado de metano en el tiempo de incubación.

El análisis de varianza sobre los valores de metano acumulado producido por cada sustrato (Imagen 2), nos arroja que, la cachaza es el sustrato que menos metano produjo en 32 días de incubación con una media de $77,3 \pm 3,3$ ml presentando diferencia significativa para un p valor de $<0,05$. La vinaza produjo $104,4 \pm 7,7$ ml y no presentó diferencia significativa con la mezcla V50:C50 que produjo $107,4 \pm 9,1$ ml, y las mezclas V75:C25 ($119,5 \pm 4,9$ ml) y V90:C10 ($123,3 \pm 2,5$ ml) fueron las que más metano produjeron sin presentar diferencias significativas entre ellas.

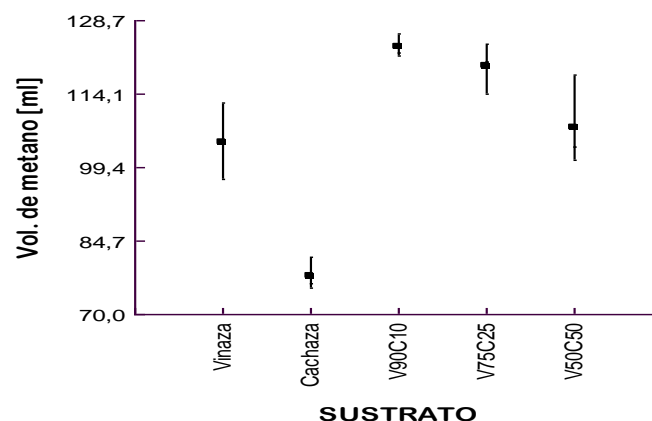


Imagen 2. Gráfico de medias de la producción de metano de los distintos sustratos

Rendimiento de Metano

En cuanto a los rendimientos de metano por gramo de sólidos volátiles (Imagen 3), la vinaza presentó 476,3 mlCH₄/gSV, casi el doble de lo reportada por Janke y col. (2015), con valores de 273 y 302 mlCH₄/g_{DQO} para vinazas de destilerías autónomas y anexas a ingenios en Brasil, respectivamente. La diferencia se debe a que las vinazas probadas por estos autores tenían menos carga orgánica que las utilizadas en este ensayo, y además la misma se expresa en Demanda Química de Oxígeno (DQO). Estos autores atribuyen la mayor producción de metano en las destilerías anexas sobre las autónomas relacionadas a la mayor carga orgánica.

El rendimiento que se obtuvo de la fermentación de la cachaza fue de 353,1 mlCH₄/gSV, valor 30% superior a los reportados por Janke y col. (2015) que rondan entre 245 y 281 mlCH₄/gSV, y los 250 mlCH₄/gSV reportado por Pagés-Díaz y col. (2019).

Los rendimientos para las mezclas vinaza: cachaza fueron; 630,9 mlCH₄/gSV para la proporción 90V:10C; 625,2 ml CH₄/g para la proporción 75V:25C y 560,9 para la mezcla 50V:50C. En todos los casos, las mezclas independientemente de la proporción, presentaron mejores rendimientos que los sustratos monodigeridos, en concordancia con lo que reportan otros autores (Pagés-Díaz y col., 2019; Janke y col. 2015). En este ensayo la vinaza presentó un rendimiento 35% mayor que la cachaza, y la mezcla V90C10 un 35% más que el de la vinaza sola.

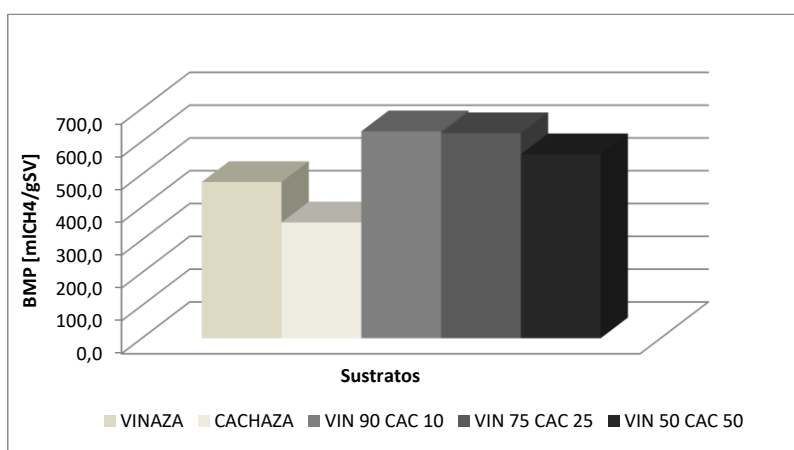


Imagen 3. Rendimiento en la producción de metano de las distintas materias primas probadas.

CONCLUSIONES

Todos los sustratos estudiados demostraron tener un alto potencial de metanización. Los sistemas de mono-digestión, cachaza y vinaza, presentaron valores de BMP por encima de los publicados por otros autores, sin embargo los rendimientos presentados por los sistema de co-digestión fueron aún mayores, presentando diferencias significativas, respecto de los monosustratos.

Para conseguir mayores rendimientos de metano es recomendable la codigestion vinaza-cachaza La proporción de mezcla con mayor rendimiento fue la 90% de SV de la vinaza y 10% de la cachaza. Sería conveniente realizar estudios de rendimiento y comportamiento en sistemas continuos de fermentación.

BIBLIOGRAFIA

APHA, AWWA, WPCF. (2022). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, 24 th ed. Washington, D.C. U.S.A.

Ariza Calvo D.; Rincón Ravelo M.; Paz Cadavid C.A.; Gutiérrez-Montero D.J.; 2020. Evaluación de producción de biogás y reducción de carga orgánica de vinazas mediante digestión anaerobia. Rev. Colomb. Biotecnol vol.21 pp. 118-130. Bogotá. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v21n2.79555>

Bermúdez Savón R. C.; Hoyos Hernández J.; Rodríguez Pérez S.; 2000. Evaluación de la disminución de la carga contaminante de la vinaza de destilería por tratamiento anaerobio. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, vol. 16, núm. 3, pp. 103-107. México. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/370/37016302.pdf>

Bernal-Martínez A.; González-López G.I.; Cuevas-Rodríguez G. 2020. Codigestión anaerobia como alternativa para el tratamiento de aguas residuales lácteas y la generación de biogás y biosólidos. Ed. Capítulo 9, Handbook "Ciencias ambientales, uso de recursos. ECOFARFAN, DOI: 10.35429/H.2020.8.115.141; Queretaro, México.

Field, J.; Sierra Álvarez R.; Lettinga G.; 1988. Ensayos anaerobios. En: Depuración anaerobia de aguas residuales. Actas del 4º Seminario D.A.A.R, Ed. Coordinada por Fdz-Polanco, F.; García, P.A; Hernando. S.. Secretariado de Publicaciones Universidad de Valladolid. Valladolid, España.pp. 52-80.

Sarabia Méndez M.A.; Laines Canepa J.R; Sosa Olivier J.A.; Escalante Espinosa E.; 2017. Producción De Biogás Mediante Codigestión Anaerobia De Excretas De Borrego Y Rumen Adicionadas Con Lodos Procedentes De Una Planta De Aguas Residuales. Revista internacional de contaminación ambiental. vol.33 no.1 pp 109-116. ISSN 0188-4999. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992017000100109&script=sci_abstract

Pagés-Díaz, J.; Cabrera Contreras L.; Cabrera Díaz A.; Pereda Reyes I.; 2019. Biodegradabilidad De Residuos De La Industria Agro-Azucarera Cubana: Co-Digestión Anaerobia. Centro de Azúcar. vol.46 no.3 Santa Clara. Epub versión On-line ISSN 2223-4861.

Janke L.; Leite A.; Nikolausz M.; Schmidt T.; Liebetrau J.; Nelles M.;Stinner W.; 2015. Biogas Production from Sugarcane Waste: Assessment on Kinetic Challenges for Process Designing. *Int. J. Mol. Sci.*, 16(9), 20685-20703; Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijms160920685> .

ESTUDIO COMPARATIVO DEL USO DE PELLETS A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS AGROINDUSTRIALES DERIVADOS DE LA CADENA SUCROALCOHOLERA Y OLIVÍCOLA EN EL NOA

Perdiguero Samaja, Y; Martínez Pulido, G; Risso, M.G. y M. Rearte

Departamento de Energías Renovables NOA. Instituto Nacional de Tecnología Industrial DERNOA – INTI; Real Audiencia de Charcas 21, San Miguel de Tucumán. Tucumán, Argentina. e-mail: ysamaja@inti.gob.ar

Palabras Claves: Olivicultura, RAC, Residuos lignocelulósicos.

INTRODUCCIÓN

La Industria sucro alcoholera de Tucumán, se convirtió en los últimos años, en una biorrefinería con instalaciones y proceso integrados, para un completo aprovechamiento de la caña azúcar y del bioetanol que se produce, transformando los que fueron sus residuos, en diferentes subproductos como materias primas para otras industrias como los son el papel, la energía, los bio insumos, los plásticos y el alcohol (Ruiz, M; 2021). El residuo de interés para este trabajo es el Residuo Agrícola de Cosecha (RAC) de caña, debido a que el manejo en campo, aprovechamiento y disposición final se viene estudiando hace unos años, para evitar las prácticas habituales de quema en pie en el campo. Esta costumbre, tiene implicancias directas riesgosas en el ambiente y en las personas que habitan los alrededores. Este es un residuo lignocelulósico, que posee una alta viabilidad para ser aprovechado energéticamente en las calderas industriales, como complemento del bagazo o dándole un valor agregado al ser convertido en un biocombustible sólido para calefacción.

Analizando los residuos de otra industria, según los datos del año 2023 perteneciente a la Agencia Argentina de Inversiones y Comercio Internacional, la industria olivícola posee 78.000 hectáreas productivas destinadas el 50% a la producción aceitera, el 30% a aceituna de mesa; y el 20% restante a ambos propósitos. La provincia de Catamarca es la tercera provincia productora de olivos en país, con aproximadamente 7000 ha productivas dentro del Valle Central de la provincia. Esta actividad, genera diferentes tipos de residuos, desde sólidos (poda, carozo de aceituna, orujo; que es carozo y pulpa de aceitunas), semisólidos (alperujo; carozo y pulpa de aceitunas en una fase acuosa) y líquido (alpechín), provenientes de su proceso productivo. En la etapa de campo, se generan grandes volúmenes de poda que se acopian a cielo abierto, sin ningún tipo de disposición final, resultando en el tiempo, un pasivo ambiental con alto potencial de riesgo de incendio por las altas temperaturas de verano. Esta poda, es un material lignocelulósico disponible para utilizar en el sector de los bioproductos, como lo hace empresa española Compolive, juntamente con la Universidad de Jaén, donde desarrollaron un “biocomposite” (plástico reforzado con fibras lignocelulósicas proveniente de los restos de poda de olivos) destinado a la inyección de piezas y la extrusión de perfiles por parte de otras industrias (Sánchez-Migallón, M; 2023) o también puede ser usada la poda, en el sector energético. Los demás residuos, por ejemplo, el alpeorujo es usado en la producción de biosurfactantes en diversas áreas como la cosmética, medicamentos, alimentación, detergentes y medioambientales (Agroisa S.L., 2022) a su vez, poseen inconvenientes relacionados al manejo y disposición final por su composición química de alta toxicidad (Cornejo, V et al; 2018), a excepción de los residuos sólidos, que suelen ser utilizados para compostaje, carbón activado y como enmiendas orgánicas al suelo (Filippin, A. et al, 2015). Como vemos, estos productos aún no están siendo aprovechados de forma integral, para el desarrollo de su cadena de valor en Catamarca y así proyectar la biorrefinería en la industria olivícola de la provincia, tomando como ejemplo la industria sucro alcoholera de Tucumán.

Para determinar la potencialidad de aprovechamiento energético de ambos residuos sólidos lignocelulósicos agroindustriales, el Departamento de Energías Renovables del NOA (DERNOA) de INTI, ha realizado ensayos de conformado de un biocombustible sólido “pellet”, para darle un valor agregado a ambos residuos y así diversificar la disponibilidad de energía térmica en ambas industrias (Martínez Pulido, G et al; 2017). Los pellets, son un tipo de biocombustible sólido que representa una alternativa de aprovechamiento energético y renovable de la biomasa residual, que puede ser aprovechado a escala industrial en calderas de biomasa, y a su vez comercializados para calefacción doméstica si poseen ciertos parámetros de calidad según Norma IRAM- ISO 17225 de Biocombustibles sólidos.

En los años 2019 y 2021, se realizaron las valorizaciones energéticas a escala industrial de los residuos de RAC de la provincia de Tucumán en miras de suplir la demanda energética y de poda de olivo de la provincia de La Rioja para *energía eléctrica para la extracción del agua subterránea para riego, (INTI, 2021)* y en 2022-2023 se realizaron pellets con los residuos de poda del Valle Central de Catamarca como *biocombustible sólido para estufa domiciliaria para como parte de tesis de postgrado*. Es de especial interés de ambas industrias, disminuir los riegos e impactos ambientales que suceden a la atmósfera, suelo y personas, por las prácticas habituales antes mencionadas, por lo tanto, la elaboración de un pellet energético brinda una posibilidad de una correcta gestión ambiental y disposición final del residuo y una forma de incentivar la biorrefinería para la industria olivícola.

OBJETIVO GENERAL

Realizar una comparación en el uso y aplicaciones industriales y domiciliarios de pellets producidos a partir del residuo agrícola de cosecha (RAC) *Saccharum officinarum* de la provincia de Tucumán y del residuo de poda de *Olea europaea* var. *arbequina*, del Valle Central de Catamarca, como alternativas energéticas que sumen a la matriz y a la cadena de valor del sector industrial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la evaluación energética se realizó el trabajo en etapas, el RAC y la poda de Olivo (PO) se trataron de formas diferentes, el RAC fue procesado a nivel industrial y se tomó muestra para caracterización en laboratorio, y la PO a nivel piloto debido a que es un trabajo experimental de tesis.

- Primera etapa: caracterización de la biomasa.

Se analizaron muestras históricas de la Biomasa INTI para el caso del RAC y para la PO, se acondicionaron muestras de la variedad mencionada, para realizar la caracterización físico-química y comparar ambas biomásas, según la norma IRAM-ISO 17225-6 de Biocombustible Sólidos (humedad, densidad aparente, cenizas, poder calorífico, Azufre, Cloro) en el Laboratorio de Biocombustibles INTI DERNOA (LBC).

- Segunda etapa: Conformado y caracterización de pellets.

Para el PO se transformaron en aserrín de las muestras y se realizó el ensayo de conformado de pellet con las diferentes biomásas. Los pellets de RAC utilizados se elaboraron en el año 2017 con una prensa industrial marca con matriz anular de 6 mm de diámetro de extrusión y motor eléctrico de 75 HP. Los pellets de poda de olivo se realizaron en la planta de procesos piloto INTI, con una prensa de laboratorio de potencia 3 HP (Figura 1).



Figura 1: Prensas peletizadoras (Izq. Utilizadas para RAC; Der. Utilizada para para olivo) Fuente: INTI 2017 y 2020.

Una vez obtenido el producto pellet de PO, se realizaron las caracterizaciones para comparar la calidad a ambos biocombustibles, bajo la Norma IRAM-ISO 17225-6, los parámetros a determinar fueron (análisis dimensional, humedad, densidad, durabilidad y finos).

- Tercera etapa: Ensayo de combustión

Para validar el comportamiento energético del biocombustible, se realizaron ensayos de combustión a los pellets elaborados. Los pellets de RAC, se probaron en un quemador de pellet modelo versátil para diferentes aplicaciones industriales y los PO, se probaron en estufa domiciliaria para pellet de pino de fabricación nacional en el Banco de Evaluación de Equipos de calefacción y combustión de INTI (BPE) de acuerdo a la norma UNE EN 14785 para aparatos de calefacción doméstica alimentados con pellets de madera (si bien esta Norma es específica para estufas de pellet de madera, se podrá observar el comportamiento de los PO, como un biocombustible alternativo para uso domiciliar).

RESULTADOS

Los resultados de la primera etapa de caracterización de RAC y PO se indican en la Tabla 1.

Tabla 1: Caracterización físico-química de los residuos de lignocelulósicos.

Determinación	Unidad	RAC	PO	Valores de Referencia IRAM ISO 17225-6
Humedad (M)	%	7	11,70	≤ 15
Densidad Aparente (BD)	kg/m ³	25.87	511.9	$600 \geq$
Poder Calorífico (PCS)	kJ/kg	17109	17580.98	$14.5 \geq$
Cloro (Cl)	% (base seca)	0.54	0.11	$0.10 \leq 0.30$
Cenizas (A)	% (base seca)	12.05	3.89	$6 \leq 10$
Azufre (S)	% (base seca)	0.13	0.45	$0.2 \leq 0.3$

La etapa de conformado y caracterización de pellets, fue satisfactoria para ambas biomásas como se observa en la Figura 2. La caracterización, se realizó de acuerdo con los parámetros de referencia de la norma IRAM ISO 17225-6 para pellet no leñosos y los resultados de las determinaciones se presentan en la Tabla 2.



Figura 2: Pellets elaborados con residuos lignocelulósicos (Izq. RAC y Der poda de olivo).

Tabla 2: Caracterización del biocombustible.

Determinación	Unidad	RAC	PO	Valores de Referencia IRAM ISO 17225-6
Humedad (M)	%	9	4.76 %	≤ 15
Densidad Aparente (BD)	kg/m ³	728	652.05 kg/m ³	$600 \geq$
Durabilidad (DU)	%	95	93.91 %	≤ 97.5
Finos (F)	%	-	-	≤ 3
Dimensional (Dim)	mm	L: 12 D: 5.8	L: 9.91 D: 6.16	L: $3,15 \geq L \geq 40$ D: $6(\pm 1)$ u $8(\pm 1)$

Los pellets de RAC fueron realizado a escala industrial con un formato apto para aplicaciones industriales. Para el conformado de los PO hubo dificultades, debido a la baja humedad, granulometría y atascos en la máquina, se lograron solucionar incorporando aditivos contemplados en la Norma para el aserrín de olivo. Se elaboraron aproximadamente 10 kg de pellet de olivo para el ensayo de combustión en estufa.

En la tercera etapa de ensayo de combustión (Figura 3), los pellets de RAC se ensayaron en un quemador de 15-140 kW de potencia térmica y un consumo de biocombustible de 3-29 kg/h. Para conseguir un buen arranque del quemador, se utilizó una mezcla de RAC 30/70 con pellets de madera para asegurar alcanzar el régimen recomendado por el proveedor. El ensayo se realizó durante 30 minutos con una potencia de 140 kW a máxima capacidad de dosificación de aire sin problemas produciendo sólo una pequeña cantidad de partículas durante el encendido, similar a los pellets de madera durante el funcionamiento normal en el mismo quemador de pellets (Rearte, M. *et al*; 2019). El PO aún tiene pendiente la realización de ensayos para poder comparar la dificultad de su uso teniendo en cuenta que también presenta un contenido de cenizas mayor al de pellet leñoso tipo A1.

Para la prueba de los PO, se utilizó una estufa electrónica domiciliaria para pellets y el ensayo se realizó según la norma UNE EN 14785 para aparatos de calefacción doméstica alimentados con pellets de madera, la prueba se realizó durante 2 horas, consumiendo 2,5 kg de pellet y se detuvo por acumulación de cenizas en el quemador. En cuanto a la alimentación y comportamiento del biocombustible fue comparable a los pellets de pino que recomienda el fabricante de estufa (Grafico 1).

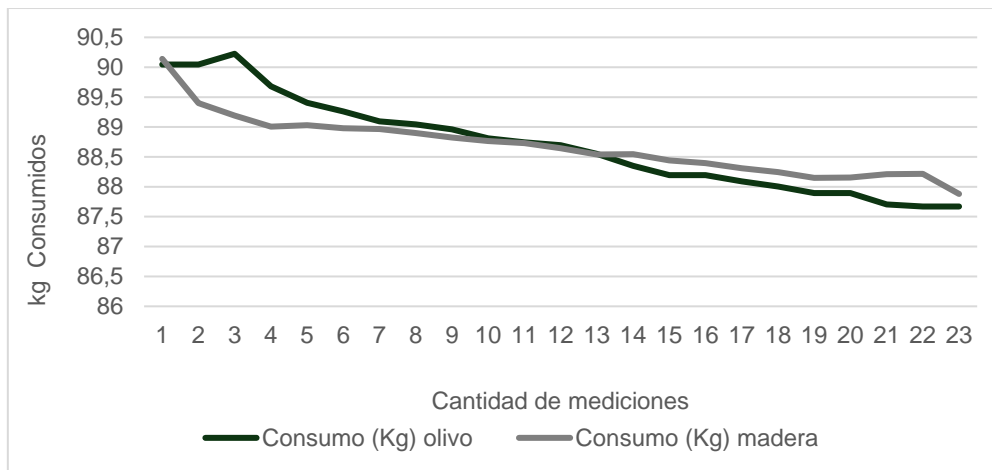


Gráfico 1: Comparación de consumo de pellet de poda de olivo y con pellet de madera de pino



Figura 3: Ensayo de Combustión (Izq. Quemador industrial con pellet de RAC y Der. Estufa con pellet de olivo) Fte: INTI 2019, 2022.

CONCLUSIONES

En el ensayo de combustión, para ambos biocombustibles, se emplearon pellets de madera, debido a que los equipos están diseñados originariamente para ser usado con este tipo de biocombustible. Por lo tanto, un comportamiento que se asemeje al de pellet de madera, es indicativo de consideración para uso energético. Los quemadores de las estufas electrónicas domiciliarias poseen requerimientos más elevados en cuanto a parámetros de calidad en sus combustibles, que los quemadores industriales. Sin embargo, ambos residuos poseen un alto valor de cenizas siendo las del RAC mayores que del PO, por lo tanto, en comparación entre ambos, este último presentaría menores dificultades de operación a escala industrial por el mantenimiento que requiere a diferencia del sector domiciliario, donde las intervenciones esperadas son menores y la exigencia en calidad del BCS es mucho mayor. Una consideración para disminuir las cenizas, es estudiar la etapa agrícola en ambas industrias, realizar una mejora en la recolección del residuo para que, al gestionarse no se arrastre material superficial del suelo y contamine la biomasa, ya que este suele ser un factor que aumenta las cenizas.

Para una mejor performance del PO como un biocombustible alternativo, a escala domiciliaria, el equipo que debería contar con un mecanismo para limpieza de las cenizas y así minimizar las intervenciones del usuario e interrupciones en la combustión y lograr una mejor autonomía. Debe tenerse en cuenta que el agregado de

aditivos (oleaginosos permitidos o aditivos en polvo) al conformado del pellet si bien puede mejorar ciertas propiedades energéticas o minimizar los esfuerzos durante el proceso, deja restos de material graso en las paredes de la estufa y eso colabora a la obstrucción de la entrada de aire al quemador.

Otra alternativa a estudiar es la posibilidad de utilizar otros residuos de la industria por ejemplo el carozo molido y/u orujo de aceituna, como otra posible forma de recupero y de gestión de disposición final de los residuos, posibilitando la creación de un nuevo producto que pueda ser incorporado en la cadena de valor de la industria, por lo tanto, al diversificar el y los usos, se puede pensar en la futura biorrefinería olivícola.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ruiz, M (2021); Ingenios Tucumanos. La eficiencia como punto de partida Avance Agroindustrial, <https://www.avance.eeaoc.org.ar/articulo/la-eficiencia-como-punto-de-partida/> Web
- Agencia Argentina de Inversiones y Comercio Internacional (2023), Aceite de oliva y aceitunas. Ministerio de Relaciones exteriores, comercio internacional y culto https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/7770/INTA_CRMendoza-SanJuan_EEASanJuan_Monetta_P_Mapa_residuos_solidos_semisolidos_industria.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Agroisa S.L (2022); Residuos de la industria oleícola <https://agroisa.com/residuos-de-la-industria-oleicola/>
- Cornejo, V; Monetta, P; Oviedo, A; Renzi, L; Suarez, E; (2018); Mapa de residuos sólidos y semisólidos de la industria aceitera olivícola de la provincia San Juan (campana 2016). II Simposio de Residuos Agropecuarios y Agroindustriales del NOA Y Cuyo. San Juan, Argentina. https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/7770/INTA_CRMendoza-SanJuan_EEASanJuan_Monetta_P_Mapa_residuos_solidos_semisolidos_industria.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Paroldi, H., Pierantozzi, P., & Monetta, P. M. (2019). Utilización de residuos olivícolas crudos como enmiendas de suelos de olivares. Web
- Filippin, A. J., Pozzi, M. T., & Luna, N. S. (2015). Tecnología de tratamiento de residuos del olivar para obtener compost y la viabilidad de su aplicación. Web
- Filippin, Ana Julia; Pozzi, María Teresa; Luna, Nadia; (2015) Subproductos del olivar y sus procesamiento para obtención de productos con valor agregado. <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/2498/10628-28010-1-SM.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Web
- Marta Sánchez- Migallón (2023); Biorrefinería COMPOLIVE y el renacer del subproducto generado de la poda del olivar <https://sevilla.abc.es/agronoma/noticias/cultivos/biorrefineria-comp0live-y-el-renacer-del-subproducto-generado-de-la-poda-del-olivar/n>
- IRAM-ISO 17225-1:2021(Biocombustibles sólidos. Especificaciones y clases de combustibles. Parte 1: Requisitos generales. .
- IRAM-ISO 17225-6:2021 Biocombustibles sólidos. Especificaciones y clases de combustibles. Parte 6: Clases de pélets de origen no leñoso.
- Instituto Nacional de Tecnología Industrial, (2021) Valle de la Puerta S.A., producción de pellets a partir de los residuos del olivo <https://www.argentina.gob.ar/inti/pymes-exportan/energia/edicion-8-enero-2021/valle-de-la-puerta-sa-produccion-de-pellets-partir>
- UNE-EN 14785 (2007) Aparatos de calefacción doméstica alimentados con pellets de madera. Requisitos y métodos de ensayo.
- Rearte, M E; Martínez Pulido, G; Risso M G; Peralta, F; Nuño, G; Molina Tirado, L; (2019) Utilization of pellets of residues from sugarcane harvesting in biomass combustors. Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists, volume 30, 223–230, 2019.

OPTIMIZACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO DE BIOETANOL EN ARGENTINA FRENTE A UN AUMENTO EN EL CORTE DE BIOETANOL EN LAS NAFTAS

Ploper, A.^{1,2}; Iñigo Martínez, M.E.⁴; Mele, F. D^{2,3}.
aploper@eeaoc.org.ar; minigo@eeaoc.org.ar; fmele@herrera.unt.edu.ar

(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.

PALABRAS CLAVES: optimización de procesos, biocombustibles, cadenas de suministro.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de combustibles renovables y más amigables con el medio ambiente tiene dos principales fundamentos: el aumento de la temperatura ambiente y el inminente agotamiento de los recursos fósiles (Patel, 2014), los cuales abastecen más del 80% del suministro de energía mundial (IEA, 2023). En este contexto, el bioetanol se presenta como un combustible clave para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la diversificación energética (Wang, 2012).

La producción mundial de bioetanol en el 2023 fue aproximadamente 111 millones de m³ (RFA, 2023). Estados Unidos es el mayor productor utilizando como materia prima principal el maíz, mientras que Brasil, el segundo mayor productor, utiliza caña de azúcar como insumo predominante (Figura 1).

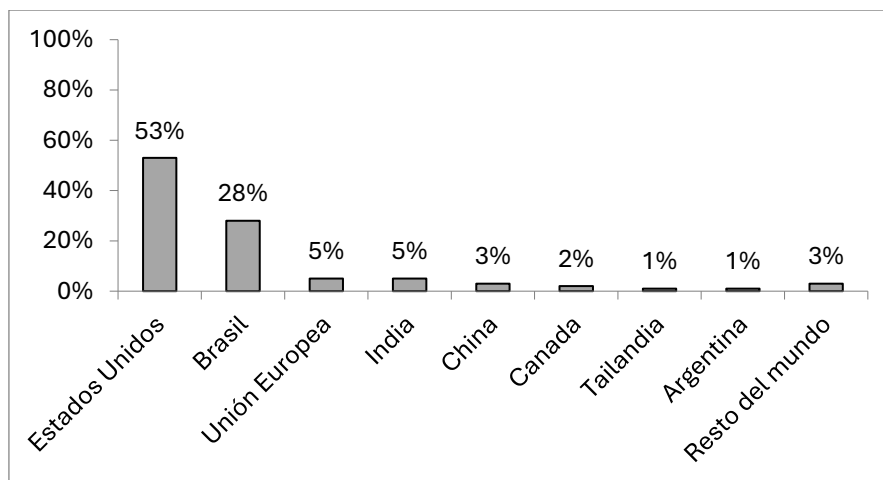


Figura 4. Porcentaje de la producción mundial de etanol por países 2023. Datos extraídos de RFA (2023).

La Argentina es un país con una intensa actividad agrícola, lo que promueve el surgimiento de empresas agroindustriales en gran parte de su territorio. Dispone de campos aptos para el cultivo de maíz y la plantación de caña de azúcar (USDA, 2017). Por ley 26.093, la producción de alcohol para combustibles está dividida 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 de biocombustibles

antes mencionada que el sector maicero comenzó a instalar plantas productoras de etanol, en la segunda década del siglo XXI.

OBJETIVO

Este estudio aborda el diseño y la optimización económica de la cadena de suministro (CS) de bioetanol en Argentina ante un aumento del corte en las naftas del 12% al 18%, utilizando un modelo de programación lineal entera mixta. 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 facilitar la toma de decisiones en esta área. Un ejemplo de estos modelos es el trabajo de Mele *et al.* (2011), que se centra en el uso de la programación matemática para optimizar las decisiones estratégicas y tácticas en la industria sucroalcoholera argentina.

Por ende, el objetivo de este trabajo fue determinar la configuración de la CS de bioetanol y las decisiones de planificación asociadas que maximicen el valor actual neto (VAN) en un horizonte de tiempo prefijado de 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 y que el abastecimiento de bioetanol, por parte de ambos sectores, debe ser distribuido en partes iguales. También se supone un aumento de la demanda de bioetanol del 5% anual (debido al incremento anual de las ventas de naftas). El problema de diseño de la CS se puede expresar de la siguiente forma:

Dado un horizonte de 10 años, precios de venta de los productos, parámetros de costos para la producción, almacenamiento y transporte de materiales, datos de capacidades actuales de producción y otros parámetros económicos y productivos, el objetivo del modelo es determinar la configuración de la CS de bioetanol y las decisiones de planificación asociadas que maximicen el VAN del sector ante un aumento de la mezcla etanol-nafta. 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.

Existen cuatro tecnologías para las plantas productoras, tres 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 crudo y melaza. En la segunda tecnología (T2), se produce bioetanol a partir de melaza fermentada y se obtiene como residuo vinaza, un residuo altamente contaminante que presenta en su composición química altos contenidos de materia orgánica y sales. En la tecnología T3, se procesa caña de azúcar directamente para producir alcohol. En la tecnología T4, se procesa el maíz para obtener alcohol como producto principal y un subproducto llamado burlanda o DGS (por su traducción al inglés *Distillers Grains with Solubles*), un material rico en proteínas, fibras y lípidos que se incorpora a la dieta de rumiantes.

El modelo contempla dos categorías de almacenamiento: depósitos para sustancias líquidas y bodegas para materiales sólidos, cada uno con sus gastos de inversión y operativos, así como los rangos mínimos y máximos para la ampliación de su capacidad. En cuanto al aspecto logístico, se establece un modelo de costos basado en la cantidad transportada y la distancia recorrida, expresado en costo por tonelada-kilómetro. Además, la logística incorpora gastos de inversión, costos variables de operación y límites de capacidad, tanto mínimos como máximos, para las operaciones de transporte.

El balance de masa global para cada 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}).

$$\begin{aligned} & \sum_{s \in IS(i,s)} ST_{isgt-1} + PT_{igt} + PU_{igt} + \sum_{l \in IL(i,l)} \sum_{g' \neq g} Q_{ilg'gt} \\ &= \sum_{s \in IS(i,s)} ST_{isgt} + DTS_{igt} + \\ & \sum_{l \in IL(i,l)} \sum_{g' \neq g} Q_{ilgg't} + W_{igt} ; \quad \forall i, g, t \quad (ec.1) \end{aligned}$$

$IS(i,s)$ es un conjunto de pares ordenados que asocia el 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 tantas ecuaciones que conforman el modelo del sistema. Otros ejemplos de restricciones se muestran en las ec. 2 y 3.

La producción total del producto i en la región g (PT_{igt}) se calcula a partir de los coeficientes de balance de masa de cada tecnología, ρ_{pi} , y la producción del producto principal PE_{ipgt} (ec. 2). El coeficiente de balance de masa ρ de los principales productos se normaliza a 1. Los coeficientes ρ_{pi} son positivos para las materias primas y negativos para los productos.

$$PT_{igt} = - \sum_p \rho_{pi} \cdot PE_{ipgt} \quad \forall i, g, t, \quad \forall i^* \in IM(i,p) \quad (ec.2)$$

$IM(i,p)$ define los principales productos de cada tecnología (azúcar blanco en T1 y etanol en las tres restantes).

La demanda de cada producto i en cada región g y en cada año t (SD_{igt}) fija un límite superior para las ventas (DTS_{igt}) (ec. 3). También, se asume que los productos principales (azúcar blanco y etanol) tienen una satisfacción de la demanda mínima determinada por α ($0 \leq \alpha \leq 1$), ya que el azúcar es un producto alimenticio básico requerido por el mercado y el etanol debe mezclarse con las naftas por ley. Se supone un valor de $\alpha = 0,8$.

$$\alpha \cdot SD_{igt} \leq DTS_{igt} \leq SD_{igt} \quad \forall i, g, t \quad (ec. 3)$$

La función objetivo de este trabajo busca maximizar el desempeño económico. Dicho objetivo está representado por el VAN. Este se puede calcular a partir de los flujos de caja (CF_t) obtenidos en cada año (ec. 4):

$$VAN = \sum_t \frac{CF_t}{(1 + ir)^{t-1}} \quad (ec. 4)$$

donde ir representa la tasa de interés. El flujo de caja CF_t se calcula a partir de las ganancias netas de cada año, que a su vez dependen de las ventas de los productos demandados (etanol, azúcar y burlanda) menos los costos asociados a toda la CS (producción, transporte y almacenamiento).

Debido a restricciones de espacio no se incluyen todas las ecuaciones del modelo, pero la formulación del modelo de programación lineal entero mixto o *mixed integer linear programming* (MILP) puede resumirse de la siguiente manera:

$$\begin{cases} (M) \quad \max\{VAN\} \\ s.t \text{ restricciones } 1 - 54 \\ x \in \mathbb{R}, \quad X \in \{0,1\}, \quad N \in \mathbb{N} \end{cases}$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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 44.102 ecuaciones, 67.841 variables continuas y 6.951 variables discretas y tarda alrededor de 3 segundos en resolverse en una computadora DELL Inspiron 15 3000 con un procesador Intel CORE i5.

El resultado de la optimización arroja un valor del VAN de $US\$ 6,282 \cdot 10^9$, que es el resultado económico óptimo para un escenario de aumento del 12% al 18% del corte de etanol en naftas. En la Figura 2 se representa una porción del mapa de Argentina, donde se indica en que provincias se instalan plantas productivas. Además, se instalan almacenes en las 24 regiones (en la figura 2 se representan los dos almacenes con un mismo símbolo), lo cual es esperable ya que existe demanda de alcohol y azúcar en todas las provincias. El modelo también calcula el flujo de cada producto desde una provincia a otra, las ventas de cada producto, la cantidad producida y almacenada en cada región, los costos asociados a cada etapa, que por razones de espacio no se detallan en este trabajo.

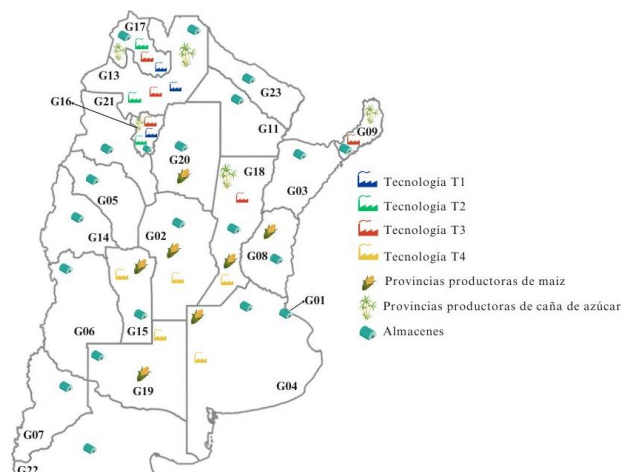


Figura 5. Detalle de la zona productiva de la CS.

En la tabla 1 se enumeran las plantas existentes de cada tecnología en cada provincia con el corte actual (12%) y con el aumento del corte a 18%. Un resultado notorio es la instalación de plantas de tecnología T3 en todas las provincias cañeras, las cuales no existen en la actualidad, así como la instalación de plantas de tecnología T4 en la provincia de Buenos Aires, escenario factible y necesario ante un aumento en la demanda de bioetanol.

CONCLUSIONES

En este estudio se presenta el diseño y modelado de la CS de la industria del bioetanol en la República Argentina ante un aumento del 50% en el corte del biocombustible en naftas. Se obtuvo el valor óptimo del VAN mediante programación lineal entera mixta que resulta de un modelo que combina la producción de los dos sectores alcohólicos, el maicero y el cañero, con una distribución equitativa de la demanda de bioetanol para combustibles y un sucesivo aumento del 5% anual de la demanda.

Tabla 5. Plantas productoras por provincia en para ambos cortes.

Provincia	Corte actual 12%				Corte planteado 18%			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
Salta	2	2	-	-	2	2	1	-
Tucumán	14	8	-	-	14	8	7	-
Jujuy	3	2	-	-	3	2	2	-
Misiones	-	-	-	-	-	-	1	-
Córdoba	-	-	-	3	-	-	-	3
Buenos Aires	-	-	-	-	-	-	-	3
San Luis	-	-	-	2	-	-	-	3
Santa Fe	-	-	-	1	-	-	1	1
La Pampa	-	-	-	-	-	-	-	1
Total	37				54			

Se calcularon variables del modelo tales como inversiones necesarias, flujos de insumos y de productos, número de plantas instaladas de cada tecnología y sus capacidades, número de almacenes, ventas y cantidades a producir de cada producto, entre otras. También, los valores de las inversiones, costos variables de producción y costos de transporte, asociados a toda la CS.

Por último, se puso en evidencia 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.

Bibliografía

Patel, N. (2014). Environmental and economical effects of fossil fuels. Journal of Recent Research in Engineering and Technology, vol. 1, no. 7, p. 1.

IEA (2023). World Energy Outlook 2023, IEA, Paris. Disponible en: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>.

Wang, M.; Han, J.; Dunn, J. B.; Cai, H.; Elgowainy, A. (2012). Well-to-wheels energy use and greenhouse gas emissions of ethanol from corn, sugarcane and cellulosic biomass for US use. Environmental Research Letters, 7(4), 045905.

Renewable Fuels Association (RFA). (2023). 2023 Ethanol Industry Outlook.

United States Department of Agriculture (USDA) - Foreign Agricultural Service, "Argentina - Biofuels Annual," Global Agricultural Information Network, July 2017.

Mele, F. D.; Kostin, A. M.; Guillén-Gosálbez, G.; Jiménez, L.. (2011). 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.

DIGESTIÓN EN FRIO PARA EVALUACIÓN DE CALIDAD DE CAÑA DE AZÚCAR

Sorol, N.R.; Diez, P.M.; Diez, O.A. y R.M. Ruiz

Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres. William Cross 3150. Las Talitas. Tucumán

Palabras clave: caña de azúcar, calidad, digestión húmeda.

INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar es una de las principales fuentes de sacarosa utilizada en la industria sucroalcoholera. Su calidad es crucial para el rendimiento y la calidad del azúcar y el etanol producidos. Evaluar con precisión la calidad de la materia prima es esencial para optimizar la producción y asegurar la rentabilidad del sector.

Para cuantificar la calidad de la caña, existen métodos indirectos y directos. El indirecto se basa en la Pol% y pureza del jugo de primera presión, utilizando el factor Java para estimar el contenido de fibra. Es menos preciso y funciona mejor con materia prima de alta calidad y baja en materia extraña (Digonzelli *et al.*, 2015). El método directo, por otro lado, analiza la caña desfibrada y determina tanto la Pol% caña real como la fibra, proporcionando una evaluación más precisa de la calidad y el rendimiento esperado. Incluye el desmenuzado de la caña y el posterior uso de desintegradores húmedos o prensas hidráulicas para una evaluación detallada.

OBJETIVO

Este trabajo se centró en desarrollar una nueva metodología de digestión en frío o digestión húmeda para evaluar la calidad de la caña de azúcar, comparándola con el método de prensa hidráulica. Se busca, específicamente, mejorar la eficiencia y fiabilidad de las mediciones, acelerando el proceso y añadiendo además la determinación de azúcares reductores totales en caña (ART%caña), una variable importante que representa la cantidad total de azúcares disponibles para la producción de azúcar y alcohol, lo cual se considera relevante para comprender y mejorar la evaluación de la calidad de la materia prima que ingresa a la planta de procesamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se llevó a cabo en el Laboratorio de Investigaciones Azucareras de la EEAOC el desarrollo y puesta a punto de la metodología de digestión húmeda para determinación de las variables macro relacionadas con la calidad de caña. Se realizó utilizando muestras representativas de 10 tallos limpios y despuntados cosechados de forma manual.

Para la preparación, las muestras fueron sometidas al proceso de desfibrado usando un desfibrador a martillo, que proporcionó un valor de células abiertas mayor a 92%.

Diseño del Método de Digestión Húmeda: En la figura 1 se puede observar el esquema diseñado para el método de digestión húmeda para la obtención de las variables de calidad en caña de azúcar.

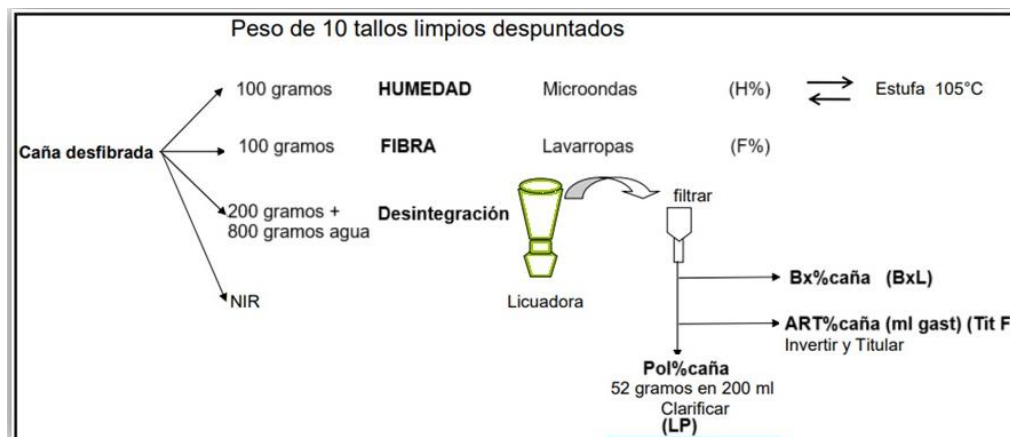


Figura 1: Esquema del Método de Digestión en frío o Húmeda en la calidad industrial.

Cada muestra de caña desfibrada se dividió en cuatro alícuotas para analizar Humedad, Fibra%caña, Brix%caña, Pol%caña y ART%caña. Algunas de estas técnicas fueron modificadas con respecto a las metodologías tradicionales de medición y puestas a punto en el laboratorio.

Humedad: Se determinó por microondas en la primera alícuota. Se utilizaron 41 muestras, procesadas por duplicado con el método de estufa y microondas para poner a punto esta última. La comparación de resultados se realizó con análisis de regresión y prueba t para muestras pareadas utilizando el software estadístico R.

Fibra: Se determinó en la segunda alícuota usando una técnica basada en el método de difusión en bolsa (Anon., 2014). Se lavó la caña desfibrada en una bolsa de lienzo utilizando una lavadora automática, eliminando todos los azúcares y compuestos solubles. El cálculo se hizo por diferencia de peso luego de secar en estufa a 105°C hasta peso constante.

Desintegración: La tercera alícuota se licuó con agua destilada usando una licuadora Turboblender. El extracto resultante se tamizó y se analizaron Brix % caña, Pol % caña y ART % caña. Las determinaciones se realizaron con un refractómetro digital Kem, un polarímetro digital Anton Paar y una adaptación del método de Fehling Causse Bonnans, respectivamente.

Espectroscopia NIR: La cuarta alícuota se usó para adquirir espectros de infrarrojo cercano (NIR) con el fin de construir una base de datos para futuros modelos de calibración.

Método de Prensa Hidráulica: Se procesaron 171 muestras tanto con digestión húmeda como con una prensa hidráulica de 60 TN, prensando la caña desfibrada a 250 kg/cm² durante 1 minuto. Luego se utilizó la metodología de Diez et al., 2000 para obtener las variables de interés. Se compararon las variables Pol%caña y Fibra%caña obtenidos por ambas metodologías.

Se utilizaron ecuaciones específicas para calcular las variables de interés y, posteriormente Solver, una herramienta de Excel, para optimizar y evaluar la precisión de las variables estudiadas, mejorando así la metodología y la fiabilidad de los resultados.

Impacto del trash: debido a que cada vez es mayor la aplicación de la cosecha integral en verde y la materia prima que ingresa a los ingenios tiene mayor contenido de materia extraña se incluyó en el presente trabajo un estudio del impacto del trash en la calidad de caña, analizando los mismos parámetros en 85 muestras provenientes de un ingenio de la provincia las cuales fueron divididas en dos porciones. Una porción se procesó tal cual (muestra “con trash”) y otra porción se limpió (muestra “sin trash”), eliminando hojas, despuntes, tierra, etc, y se determinó por diferencia de peso el valor de trash. Luego se analizaron con el método de digestión húmeda.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Humedad: En la tabla 1 se pueden observar los resultados de humedad obtenidos por los métodos de estufa y microondas.

Tabla 1. Resultados de Humedad (%) obtenidos por método estufa y microondas para 41 muestras de caña desfibrada: promedios, mínimos, máximos, desvío estándar (Desvío) y coeficiente de variación (CV%)

Humedad	n	Promedio	Mínimo	Máximo	Desvío	CV%
Estufa	41	67,26	63,99	71,83	2,00	2,97
Microondas	41	67,17	63,90	71,13	1,92	2,86

Se realizó un modelo de regresión lineal con los resultados obtenidos por ambos métodos. Ya que la pendiente fue significativa (p -valor: $< 2,2e-16$), dicho modelo sugiere que existe una fuerte relación lineal entre ellos. En la figura 2 se pueden observar la correlación de los métodos y la gráfica de las diferencias o residuales en 41 muestras. También se llevó a cabo la prueba t para medias emparejadas utilizando R cuyos resultados sugieren que no hay diferencias significativas entre ellos.

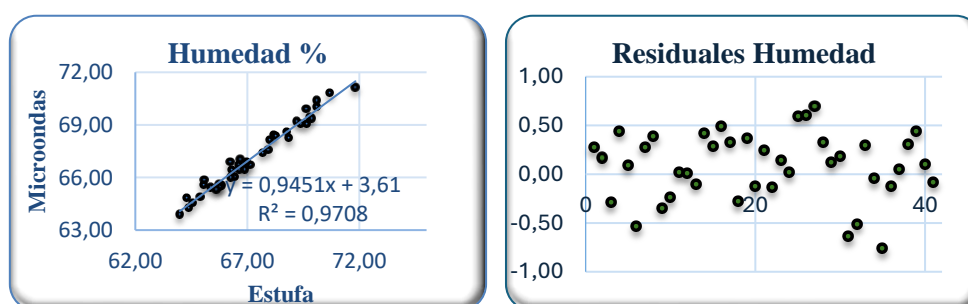


Figura 2. Comparación de métodos de determinación de humedad por estufa y microondas. Regresión lineal y Residuales, realizados en 41 muestras.

Fibra: Durante el proceso de desarrollo y refinamiento de la metodología se pudo constatar que la eficiencia de la misma está intrínsecamente relacionada con la elección del equipo utilizado para el lavado. De ello dependerá la extracción completa de azúcares de la muestra. En relación a la cantidad de muestra a emplear, se llevaron a cabo pruebas utilizando 50 y 100 gramos de caña desfibrada. A través del uso de Solver, se verificó que con 100 gramos se lograba minimizar el error de manera más efectiva. También se llevaron a cabo pruebas utilizando un ciclo de lavado sin temperatura (T) y otro con temperatura (60°C), en un total de 24 muestras por duplicado. Se empleó Solver para optimizar el proceso y calcular el error asociado a cada una de estas opciones. El error obtenido en el ciclo sin T (3,15%) fue menor que el obtenido en el ciclo con T (4,46%). El resultado de la prueba t de muestras pareadas realizado con R para la comparación de medias de fibra con y sin temperatura (p -valor: 0,1637) indica que no hay diferencia significativa entre ambos. Basándonos en estos resultados, se llegó a la conclusión de que es más apropiado realizar el lavado sin la aplicación de temperatura evitando gastos energéticos.

Digestión Húmeda: En la puesta a punto del proceso de desintegración se llevaron a cabo numerosas pruebas en las que se variaron diversos parámetros (cantidad de muestra y agua, tiempo y velocidad) con el fin de determinar la combinación óptima que permitiera la extracción total de los azúcares presentes en la muestra. Se llegó a la conclusión de que una cantidad de caña de 200 g con 800 g de agua, sometida a un proceso de desintegración durante 5 minutos a máxima velocidad, resultó la configuración más adecuada para lograr el objetivo deseado.

Comparación de métodos: Se determinó la calidad de 171 muestras por los métodos de digestión húmeda y prensa hidráulica, se observan los valores promedios,

mínimos y máximos y la comparación entre ambos métodos para Pol%caña y Fibra%caña en la Tabla 2.

Tabla 2. Comparación de métodos de prensa hidráulica y digestión húmeda para Pol%caña y Fibra % caña, promedio, mínimos y máximos de los ensayos realizados en 171 muestras.

	Pol%caña		Fibra%caña	
	Dig. húmeda	Prensa	Dig. húmeda	Prensa
Promedio	14,21	14,38	12,27	12,07
Mínimo	8,62	8,48	9,46	9,14
Máximo	20,23	20,33	17,2	17,84

En la figura 3 se puede observar el análisis de las diferencias o residuales para Pol%caña y Fibra%caña en 171 muestras.

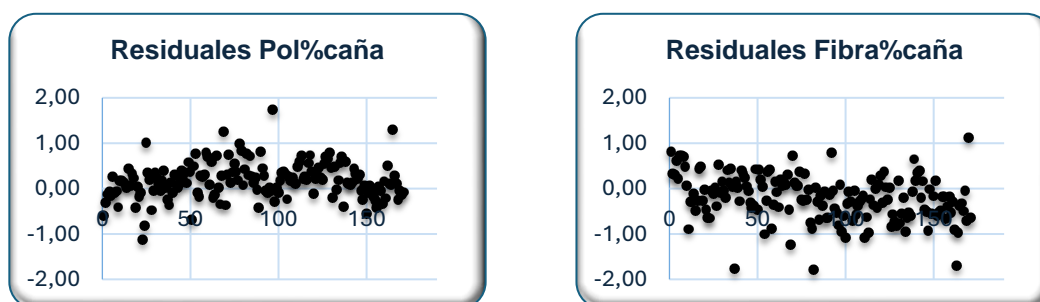


Figura 3. Comparación de métodos de prensa hidráulica y digestión húmeda. Residuales para Pol%caña y Fibra%caña, ensayos realizados en 171 muestras.

Se realizó un análisis de regresión lineal empleando el entorno de programación R y se utilizaron los datos obtenidos mediante ambos métodos. Los resultados revelaron la significatividad de la pendiente (p -valor $< 2e-16$) para Pol%caña y Fibra%Caña y valores de R^2 de 0,97 y 0,91 respectivamente, lo que sugiere fuertemente la existencia de una relación lineal entre los métodos analizados y las variables en estudio. Este hallazgo refuerza la idea de que los métodos están relacionados y podrían utilizarse en conjunción para comprender y modelar las variables en cuestión. En la figura 4 se observan las correlaciones del método de digestión húmeda y prensa hidráulica para Pol%caña y Fibra%caña.

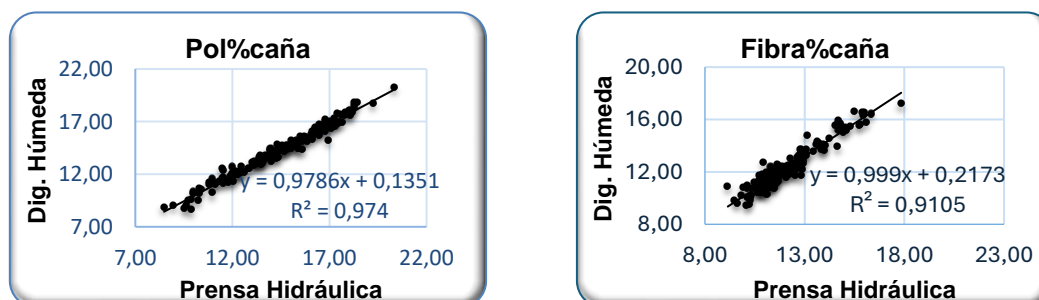


Figura 4. Comparación de métodos de prensa hidráulica y digestión húmeda. Regresión lineal para Pol%caña y Fibra%caña, ensayos realizados en 171 muestras.

Impacto del trash: El estudio de la contribución del trash permitió caracterizar al mismo para determinar su aporte a la muestra limpia o “sin trash”. Teniendo los valores que toma cada variable bajo estudio en las muestras con trash y sin trash es posible determinar el cambio en el valor de las mismas por cada punto de trash incorporado. Esto se puede calcular despejando la incógnita V_2 de la siguiente ecuación:

$$100 * V_1 \text{ sin trash(cañalimpia)} + \%T * V_2(\text{trash}) = (100+\%T) * V_3 \text{ con trash(cañasucia)}$$

Donde:

V_1 = Valor de cada variable (brix%caña, pol%caña, etc) en la muestra sin trash.

$\%T$ = %trash determinado por diferencia de peso luego de limpiar la muestra.

V_2 = Valor de contribución del trash a cada variable.

V_3 = Valor de cada variable (brix%caña, pol%caña, etc) en la muestra con trash.

En la tabla 4 se pueden observar los valores calculados con la ecuación antes mencionada para cada variable del trash en 85 muestras de caña industrial de cosecha integral por cada punto de trash incorporado.

Tabla 4. Caracterización del trash. Cambio en el valor de la variable por cada punto de trash incorporado calculado con 85 muestras de caña industrial de cosecha integral.

	JUNIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	Promedio
%TRASH	16,13	9,48	7,87	5,72	
Brix % caña	-0,07	-0,05	-0,08	-0,07	-0,07
Pol % caña	-0,07	-0,09	-0,08	-0,09	-0,08
ART % caña	-0,07	-0,07	-0,06	-0,06	-0,07
Pza % caña	-0,25	-0,30	-0,29	-0,61	-0,36
Humedad % caña	-0,05	-0,07	-0,07	-0,11	-0,07
Fibra % caña	0,07	0,13	0,10	0,27	0,14
No-Az % caña	0,02	0,05	0,04	0,10	0,05

Con los valores de esta tabla, es posible calcular o inferir rápidamente en un ingenio las pérdidas ocasionadas por un elevado nivel de trash o una cosecha deficiente. Esto se logra mediante la medición del porcentaje de trash y el análisis de las variables en la caña “sucia” para determinar cuál habría sido su valor si la caña hubiera estado “limpia”.

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en este estudio, se pueden extraer varias conclusiones significativas respecto a la evaluación de la calidad de la caña de azúcar mediante diferentes metodologías. La implementación de la metodología de digestión húmeda desarrollada demostró ser eficaz y precisa para determinar variables clave como el contenido de sacarosa y la cantidad de fibra en la caña. Comparando con el método de prensa hidráulica, se encontró una fuerte correlación entre ambos métodos, respaldada por altos valores de R^2 en los análisis de regresión. Esto sugiere que la digestión húmeda puede ser una alternativa viable y posiblemente más eficiente en términos de tiempo y recursos para la evaluación de la calidad de la caña en la industria.

Además, la inclusión de la determinación de azúcares reductores totales en caña (ART%caña) representa un avance significativo, ya que proporciona una medida adicional sobre la disponibilidad total de azúcares para la producción de azúcar y etanol, información crucial que no se evalúa actualmente de manera sistemática en la industria.

El estudio del impacto del trash en la calidad de la caña también arrojó resultados importantes. Se demostró que el contenido de trash afecta negativamente las variables de interés, destacando la importancia de una gestión eficiente de la cosecha para evitar pérdidas de rendimiento y calidad en la materia prima.

En resumen, este trabajo proporciona una base sólida para mejorar la eficiencia y la precisión en la evaluación de la calidad de la caña de azúcar, mediante el desarrollo

y validación de una metodología innovadora que incorpora tanto técnicas tradicionales como nuevas herramientas analíticas, contribuyendo así al avance y optimización de los procesos industriales relacionados con esta importante materia prima agrícola.

BIBLIOGRAFÍA

Anon. 2014. The standard laboratory manual for Australian sugar mills: Volume 2. Sugar Research Australia, Brisbane.

Diez, O.; S. Zossi, E. Chavanne y Cárdenas, G. 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. y Agric. Tucumán 77 (2): 39-48.

Digonzelli, P.; Romero, E.; Scandaliaris, J. 2015. Guía técnica del cañero. Las Talitas, Argentina. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres. Capítulo C3.

COMPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE EN LA DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS INSOLUBLES: UN ENFOQUE COMPARATIVO ENTRE MÉTODOS CLÁSICOS Y MONTE CARLO

Suarez, RO; Sastre Siladji, M; Madrid, M.A.; Veliz, O.A.; Coronel, M. y R.M. Ruiz

Av, William Cross 3150, EEAOC, Las Talitas, Tucumán, Argentina, rsuarez@eeaoc.org.ar

Palabra clave

sólidos insolubles; incertidumbre; método Monte Carlo; método clásico.

Introducción

En este trabajo se analiza la incertidumbre asociada con la técnica ICUMSA GS 2/3/9-19 para la determinación de sólidos insolubles (SI) y se comparan los resultados con los obtenidos mediante dos métodos alternativos para el cálculo de la estimación de la incertidumbre: el método clásico y el método de Monte Carlo. Se discuten las diferencias en los valores de incertidumbre y se evalúa la precisión y confiabilidad de cada método. Además, se examina cómo esta incertidumbre puede afectar específicamente los resultados en estudios interlaboratorios, proporcionando una visión integral de su eficacia en contextos industriales y de investigación.

Un problema recurrente en estudios interlaboratorios es la obtención de resultados insatisfactorios. Esto, probablemente se deba a que la incertidumbre reportada del valor asignado en estos estudios sea mucho menor a la incertidumbre propia del método. ICUMSA manifiesta que para la determinación de SI, las diferencias entre duplicados en condiciones de repetibilidad no deben ser mayores a 4,9 mg/kg, y en condiciones de reproducibilidad –condiciones análogas a las de un interlaboratorio– no deberían superar los 7,2 mg/kg. En contraste, la mediana de las incertidumbres asociadas al valor asignado en el interlaboratorio se reporta como 0,6 mg/kg. Esta discrepancia, medida a través del coeficiente TUR (Test Uncertainty Ratio) según recomienda la ILAC G8-09-219, resalta que la incertidumbre asignada por el interlaboratorio es insuficiente para capturar la variabilidad real, lo que lleva a discrepancias significativas en los resultados.

De acuerdo a lo expuesto, surgió la necesidad de estimar la incertidumbre del método mediante dos enfoques diferentes: el método de Monte Carlo y el método tradicional.

El método de Monte Carlo es una técnica estadística que utiliza simulaciones repetidas para obtener una distribución de posibles resultados. Esta metodología permite evaluar la incertidumbre de un modelo mediante la generación de un gran número de conjuntos de variables de entrada según distribuciones de probabilidad predefinidas. Los resultados de estas simulaciones se analizan para obtener una estimación de la incertidumbre, proporcionando una comprensión detallada de la variabilidad y los posibles errores en las mediciones.

Por otro lado, el método clásico de estimación de la incertidumbre implica realizar múltiples repeticiones de una medición para evaluar la variabilidad y el error asociado. En este estudio, se realizaron 13 (trece) repeticiones de una muestra de azúcar refinada y 6 (seis) repeticiones de una muestra de azúcar común tipo A (CTA).

Objetivos

El objetivo de este trabajo es evaluar y comparar la incertidumbre asociada con la técnica ICUMSA GS 2/3/9-19 para la determinación de sólidos insolubles (SI) en muestras de azúcar utilizando dos métodos distintos: el método clásico de estimación de la incertidumbre y el método de estimación de la incertidumbre de Monte Carlo a fin de establecer el nivel de confianza que se puede tener con el método ICUMSA.

Se analizará cómo la incertidumbre del método afecta los resultados en estudios interlaboratorios, considerando la incertidumbre reportada del valor asignado por los interlaboratorios y la incertidumbre estimada a través del coeficiente TUR. Finalmente,

se evaluará la viabilidad y eficacia de los métodos de estimación de incertidumbre mediante una comparación de los resultados obtenidos con cada método y su aplicabilidad práctica tanto en laboratorios de control de calidad de la industria azucarera como en investigaciones académicas y técnicas.

Materiales y Métodos

La determinación de sólidos insolubles (SI) se realizó conforme a la metodología oficial ICUMSA GS 2/3/9-19 en el Laboratorio de Fisicoquímica de la Sección Química de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). Para esto, se utilizaron membranas de nitrato de celulosa 8 μm (micrones) de alta calidad (marca Sartorius). La preparación de las membranas se realizó por inmersión en agua a ebullición durante 6 minutos. Posteriormente se las colocó en cajas de Petri de aluminio para su secado en una estufa (marca Fac) a una temperatura entre 60 °C y 65 °C durante una hora. Una vez secas y enfriadas hasta temperatura ambiente, las membranas se pesaron utilizando una balanza analítica Mettler AB-204-s, con un error máximo tolerado de 0,001 g, obteniendo así el peso de tarado de las membranas (P_1).

Se emplearon dos calidades diferentes de azúcar comercial: azúcar refinado y azúcar común tipo A (CTA). Cada muestra de azúcar consistió en la combinación de varias alícuotas de azúcar de la misma calidad, mezcladas adecuadamente para asegurar la homogeneidad. El azúcar se pesó (P_0) en una balanza granataria Precisa 1620 C, con un error máximo tolerado de 0,1 g. Aunque la técnica sugiere que a mayor cantidad de azúcar se obtiene una mayor exactitud en el análisis, analíticamente esto no siempre es viable, ya que depende no sólo de la cantidad de muestra disponible, sino también de la naturaleza y cantidad de sólidos insolubles (SI) presentes en la muestra. En este estudio, se pesaron 400 g de azúcar refinado y 250 g de azúcar CTA para los análisis.

El azúcar se disolvió en agua destilada caliente a 45 °C hasta obtener aproximadamente 0,800 L (litros) de solución. Las membranas preparadas y pesadas se colocaron en un equipo de filtración conectado a una bomba de vacío. La solución de azúcar a 45 °C se filtró a través de las membranas, realizando luego lavados sucesivos en el material usado y la membrana, con aproximadamente 2 L de agua destilada en ebullición.

Después del lavado las membranas se colocaron nuevamente en las cajas de Petri y se secaron en la estufa entre 60 °C y 65 °C, por espacio de durante 1 (una) hora. Se retiraron de la estufa, se dejaron enfriar en desecador hasta temperatura ambiente para ser nuevamente pesadas en balanza analítica y obtener el peso final (P_2).

El resultado final, SI en mg/kg, se calcula según:

$$SI (mg/kg) = \frac{(P_2 - P_1)}{P_0} 1000000 \quad (1)$$

Para estimar la incertidumbre mediante el método clásico, se realizaron 13 (trece) repeticiones con muestras de azúcar refinado y 6 (seis) repeticiones con muestras de azúcar CTA. La estimación de la incertidumbre mediante el método de Monte Carlo se basó en datos históricos a partir de 2019, considerando que en promedio la membrana vacía y su caja Petri pesaban alrededor de 45,15 g.

Para la estimación de la incertidumbre, se consideró la ecuación:

$$Sesgo = V_{Real} - V_{Medido} + E_{Balanza} \quad (2)$$

En este modelo se asumió que el valor real (V_{Real}), aunque desconocido, no aporta incertidumbre a la media, y que el error de la balanza ($E_{Balanza}$), aunque no contribuye al sesgo, sí genera incertidumbre. La incertidumbre combinada se calcula como:

$$u_{Combinada}^2 = u_{V_{Medido}}^2 + u_{Balanza}^2 \quad (3)$$

Donde $u_{V_{Medido}}$, es la incertidumbre del valor medido y $u_{Balanza}$, es la incertidumbre generada por la balanza.

Resultados y discusión

1) Estimación de la Incertidumbre con el método tradicional

Para evaluar la incertidumbre asociada con la técnica ICUMSA GS 2/3/9-19, se considera que las repeticiones se hicieron en condiciones de reproducibilidad ya que no fue posible realizarlas exactamente el mismo día con los mismos analistas, lo que introduce variabilidad adicional por cambios en las condiciones de operación.

Los resultados encontrados en azúcar refinado se lo pueden observar en la Tabla 1. Se obtuvo un promedio de 6,7 mg/kg, con una desviación estándar (s) de 3,1 mg/kg.

En la Tabla 2 se consignan los resultados encontrados en la muestra de azúcar CTA, con un promedio de 64,0 mg/kg y una desviación estándar (s) de 0,6 mg/kg.

Tabla 1: Sólidos Insolubles en azúcar refinado.

Número de repeticiones	SI (mg/kg)
1	8
2	6
3	14
4	8
5	5
6	5
7	4
8	2
9	3
10	8
11	10
12	7
13	7
Promedio	6,7
s	3,1

Tabla 2: Sólidos Insolubles en azúcar CTA.

Número de repeticiones	SI (mg/kg)
1	64
2	64
3	65
4	63
5	64
6	64
Promedio	64,0
s	0,6

Para la estimación de la incertidumbre, a través de una aproximación clásica, se adopta el modelo matemático descrito por la ecuación 2 y la incertidumbre se calcula de acuerdo a la ecuación 3.

Si se considera que la balanza sólo genera una incertidumbre apreciable en las pesadas de las membranas, en la pesada de la membrana para su tarado y luego de haber filtrado la muestra, la ecuación 3 se expresa de la siguiente manera:

$$u_{Combinada}^2 = u_{V_{Medido}}^2 + u_{Pesada_1}^2 + u_{Pesada_2}^2 \quad (4)$$

Donde la $Pesada_1$ y la $Pesada_2$ hacen referencia a las pesadas de la membrana, para su tarado y después de ser utilizada para el filtrado de la muestra, realizada en la balanza analítica, que aporta un porcentaje importante de incertidumbre.

En este punto, cabe aclarar que la incertidumbre generada por la pesada de la muestra, realizada en la balanza granataria, es despreciable, esto será explicado posteriormente.

En la ecuación 3, el término correspondiente a la incertidumbre del valor medido, si se asume una distribución normal, se calcula como:

$$u_{V_{medido}} = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

Según recomendaciones de la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML) el error máximo tolerado (EMT) para una balanza automática es de 0,001 g. La diferencia en la masa de la membrana tarada ($Pesada_1$) y después del filtrado ($Pesada_2$), es decir, la masa de SI presente en la cantidad de muestra utilizada está dentro del rango del EMT de la balanza analítica.

Para poder entender a cuantos SI representan los gramos correspondientes al EMT de la balanza utilizada, y hacerlo comparable a los valores, en la Ecuación 3 se reemplazó a la expresión $(P_2 - P_1)$ por el valor del EMT.

Al trabajar con azúcar refinado, donde se utilizaron 400 g, el EMT corresponde a 2,5 mg/kg. Y en el caso del azúcar común tipo A, donde se utilizó 250 g de muestra, el EMT corresponde a 4,0 mg/kg.

Estos resultados son esperables ya que la metodología oficial ICUMSA recomienda utilizar la mayor cantidad de muestra posible sin utilizar más de una membrana en el filtrado de la muestra debido a posibles obstrucciones, lo que duplicaría la incertidumbre. En estos casos, la opción más adecuada, según las recomendaciones de ICUMSA, es pesar una menor cantidad de muestra.

Asumiendo una distribución rectangular (Esta elección se basa en la Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medición (GUM), que establece que una distribución rectangular es adecuada cuando todos los valores dentro del intervalo de apreciación son igualmente probables. La incertidumbre de apreciación se considera uniforme debido a la falta de información que indique una mayor probabilidad para cualquier valor específico dentro del rango de medición de la balanza.) para la balanza, se obtienen las siguientes incertidumbres de pesada:

Para el azúcar refinado:

$$u_{Pesada} = \frac{2,5}{\sqrt{3}} = 1,4 \quad (6)$$

Para el azúcar CTA:

$$u_{Pesada} = \frac{4,0}{\sqrt{3}} = 2,3 \quad (7)$$

Una vez obtenida la incertidumbre combinada y para la estimación de la incertidumbre expandida, se ha utilizado un factor de cobertura $k=2$, correspondiente a un nivel de confianza del 95%. Esta elección está respaldada por la Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medición (GUM). La incertidumbre expandida (U) tendría la siguiente expresión:

$$U = u_{Combinada} \times k = u_{Combinada} \times 2 \quad (8)$$

Para la estimación de U para azúcar refinada se debe tener en cuenta el resultado de la Ecuación 6 para la incertidumbre del valor medido y la Ecuación 5 para las incertidumbres de la $Pesada_1$ y de la $Pesada_2$, cuyas incertidumbres se consideran iguales.

Para azúcar refinado se obtuvo una desviación estándar $s = 3,1$ con un número de repeticiones $n = 13$. Esto permite estimar la incertidumbre del valor medido, al aplicar la Ecuación 5:

$$u_{V_{medido}} = \frac{3,1}{\sqrt{13}} = 0,9 \text{ (9)}$$

Con la Ecuación 4 se puede estimar una incertidumbre combinada:

$$u_{Combinada} = \sqrt{u_{V_{Medido}}^2 + u_{Pesada_1}^2 + u_{Pesada_2}^2}$$

$$u_{Combinada} = \sqrt{0,9^2 + 1,4^2 + 1,4^2} = 2,2 \text{ (10)}$$

Finalmente, con la Ecuación 8 se puede estimar una U de 4,4 mg/kg.

Al realizar el mismo análisis en el azúcar CTA, con una $s = 0,6$, un $n = 6$ se estima una incertidumbre del valor medido de 0,3. Este dato, en conjunto a las incertidumbres la $Pesada_1$ y de la $Pesada_2$, que de acuerdo a la Ecuación 7 son iguales a 2,3, permite estimar una U de 6,5 mg/kg.

Después de calcular la incertidumbre de ambas muestras, se asume como la incertidumbre del método la mayor incertidumbre encontrada, es decir: 6,5 mg/kg. Esta aproximación asegura que las variaciones en las mediciones se tienen en cuenta adecuadamente, y se ofrece una representación más precisa y fiable de la incertidumbre asociada con el procedimiento.

2) Estimación de la Incertidumbre con el método de aproximación de Monte Carlo

Para realizar la simulación, se tomaron datos históricos reales de muestras analizadas en el Laboratorio de Fisicoquímica de la Sección Química de la EEAOC desde el año 2019.

En base a estos datos, se determinó que en promedio una membrana tarada (P_1) pesa 45,1500 g.

También se identificaron dos modas en los resultados. Por un lado, una cuyo valor medio es de 8 mg/kg, obtenida al pesar 500 g de muestra. Por otro lado, una moda con una media de 78 mg/kg, obtenida al pesar 250 g de muestra.

A partir de estos datos, se calcularon los valores del peso de la membrana después de la filtración (P_2) que teóricamente producirían esos resultados.

Para 250 g de muestra (P_0) y un promedio de SI de 78 mg/kg se calculó un P_2 de 45,1695 g. En el caso de un P_0 de 500 g con un promedio de SI de 8 mg/kg, se calculó un P_2 de 45,1540 g.

Estos cálculos se realizaron considerando las incertidumbres asociadas y utilizando la metodología de Monte Carlo para obtener una distribución de posibles valores de P_2 . Este enfoque permite una evaluación más precisa y robusta de los resultados obtenidos.

Utilizando estos datos, se planteó la simulación en la que cada uno de los valores de P_1 , P_2 y P_0 podían variar dentro de un determinado rango.

Los valores de P_1 y P_2 se determinaron según los rangos del EMT de balanzas analíticas, es decir, $\pm 0,001$ g,

Para el valor de P_0 se consideró el EMT de la balanza granataria, la utilizada para el peso de la muestra, de $\pm 0,1$ g.

De acuerdo con la norma JCGM 101-2008, se recomienda realizar un elevado número de simulaciones para obtener resultados más precisos. En este estudio, se realizaron simulaciones con 816, 18.200 y 30.627 repeticiones. Finalmente, se optó por el modelo con 30.627 simulaciones. Sin embargo, se observó que el incremento en el número de simulaciones, más allá de un cierto punto, no afectaba significativamente los resultados. Esto se debe a que la fórmula para el cálculo de SI es relativamente sencilla

y no requiere un número extremadamente alto de repeticiones para obtener resultados precisos.

En la Tabla 3 se puede observar los resultados de 7 tandas de simulaciones, en las que se utilizaron un promedio de SI de 8 mg/kg y un peso de muestra P_0 de 500 g como condiciones:

Tabla 3: Simulación para las condiciones de P_0 de 500 g y un promedio de SI de 8 mg/kg.

Simulación	1	2	3	4	5	6	7
Promedio	7,99	7,99	8,00	7,99	8,00	8,00	7,98
Desviación	1,64	1,64	1,64	1,63	1,63	1,63	1,63

Esta primera ronda de simulaciones se caracterizó por una desviación media de 1,63 mg/kg y una U de 3,3 mg/kg, calculada con un factor de cobertura k de 2.

Se realizó una segunda ronda de simulaciones donde las condiciones fueron distintas: un promedio de SI de 78 mg/kg y un peso de muestra P_0 de 250 g. En la Tabla 4 se pueden observar los resultados obtenidos.

Tabla 4: Simulación para las condiciones de P_0 de 250 g y un promedio de SI de 78 mg/kg.

Simulación	1	2	3	4	5	6	7
Promedio	78,00	77,99	77,98	78,02	78,01	78,00	78,00
Desviación	3,27	3,28	3,26	3,26	3,27	3,27	3,27

La segunda ronda se caracterizó por una desviación media de 3,7 mg/kg y una U de 6,5 mg/kg.

Utilizando estas mismas simulaciones, se eliminó la variabilidad debido a las balanzas analíticas y se utilizó sólo la granataria, para determinar qué tan significativo es su aporte en particular. Se realizó una tercera ronda de simulaciones, cuyos resultados pueden verse en la Tabla 5, utilizando como condiciones las más desfavorables, aquellas en donde el P_0 es más próximo al EMT de la balanza granataria; es decir, un promedio de 78 mg/kg y un peso de muestra de 250 g.

Tabla 5: Simulación para las condiciones de P_0 de 250 g y un promedio de SI de 78 mg/kg considerando solo la variabilidad de la balanza granataria.

Simulación	1	2	3	4	5	6	7
Promedio	78,00	78,00	78,00	78,00	78,00	78,00	78,00
Desviación	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02

Esta última ronda de simulaciones demuestra la baja contribución de la balanza granataria a la incertidumbre del método. Los valores obtenidos de la simulación mostraron una desviación media de 0,018 y una U de 0,036.

Después de calcular la incertidumbre de ambas muestras, se asume como la incertidumbre del método la mayor incertidumbre encontrada, es decir 6,5 mg/kg. Esta aproximación asegura que las variaciones en las mediciones se tienen en cuenta adecuadamente, y se ofrece una representación más precisa y fiable de la incertidumbre asociada con el procedimiento.

Conclusiones

Este estudio evaluó y comparó la incertidumbre asociada con la técnica ICUMSA GS 2/3/9-19, para la determinación de SI en azúcar. Los resultados mostraron que tanto el método clásico como el de Monte Carlo estiman una incertidumbre de 6,5 mg/kg acorde al criterio de aceptación de duplicados en condiciones de reproducibilidad, reportado por la bibliografía oficial, de 7,2 mg/kg. Esto indica que ambos métodos proporcionan una visión coherente de la incertidumbre, aunque el método de Monte Carlo ofrece, además, una evaluación más precisa y detallada.

La incertidumbre combinada estimada con el método clásico fue de 4,4 mg/kg para azúcar refinado y 6,5 mg/kg para azúcar CTA. Las simulaciones de Monte Carlo arrojaron 6,5 mg/kg para 250 g de muestra con 78 mg/kg de SI y 3,3 mg/kg para 500 g de muestra con 8 mg/kg de SI. Estas diferencias destacan la importancia de la cantidad de muestra y las condiciones de operación.

En cuanto a las pruebas de aptitud donde el laboratorio LFQ participó, se identificó una discrepancia significativa entre la incertidumbre reportada del valor asignado, cuya mediana, a lo largo de más de 10 años de participación, es de 0,6 mg/kg. La discrepancia también se da en la incertidumbre del método estimada por cualquiera de los dos métodos en estudio, incluso por aquella reportada en la bibliografía. Esta diferencia, medida mediante un coeficiente TUR de aproximadamente 0,1 indica que la incertidumbre del valor asignado es solo el 10% de la incertidumbre del método, lo cual no es suficiente para capturar la variabilidad real y puede llevar a discrepancias significativas en los resultados interlaboratorios.

Bibliografía

- International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis (ICUMSA). 2019. *Methods of Sugar Analysis*. Method Books (2019). Verlag Dr. Albert Bartens KG. Berlin, Germany.
- International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC). 2019. *Guía para Establecer Reglas de Decisión en la Declaración de la Conformidad*. ILAC G8:09/2019.
- Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM). 2008. *Evaluación de Datos de Medición – Guía para la Expresión de la Incertidumbre Medida (GUM)*. JCGM 100:2008.
- Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM). 2008. *Evaluación de Datos de Medición – Suplemento 1 – Propagación de Incertidumbres Aplicando el Método de Monte Carlo*. JCGM 101:2008.
- International Organization of Legal Metrology (OIML). 2006. *Requerimientos Técnicos y Metrológicos para Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento No Automático. Parte 1*. OIML R 76-1:2006.
- Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM). 2012. *Vocabulario Internacional de Metrología*. JCGM 200:2012.

CLASIFICACIÓN DE BIOMASAS LIGNOCELULÓSICAS DE TUCUMÁN PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA

Zamora Rueda G. del H.; Gutiérrez C.E.; Armella, Gabriela; Morales, W.D.; Golato M.A.; Feijóo, E.A. y R.M. Ruiz

Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, Sección Ingeniería y Proyectos Agroindustriales,
Laboratorio de Ensayos y Mediciones Industriales, Av. William Cross 3150-Las Talitas- Tucumán-
Argentina

gzamora@eeaoc.org.ar; mgolato@eeaoc.org.ar

Palabras clave: biomasa, potencial, conversión termoquímica, biocombustible

INTRODUCCIÓN

La biomasa puede definirse como: “sustancias orgánicas que tienen su origen en los compuestos de carbono formados en la fotosíntesis”. La biomasa sólida o la fracción que es considerada biocombustible es aquella que se le puede extraer energía directamente mediante procesos termoquímicos. Los biocombustibles pueden provenir de residuos forestales, residuos agrícolas, residuos de industrias agroalimentarias y forestales. (Nogués *et al.*, 2010)

La clasificación es un medio importante para evaluar las propiedades de un combustible. Así cuando se considera una nueva biomasa para una conversión termoquímica, podemos verificar su clasificación y luego, a partir de las propiedades conocidas, podemos inferir en el potencial de conversión. Dos formas principales de clasificación de las biomásas son: las relaciones molares y el diagrama ternario.

El diagrama de Van Krevelen es útil para definir la calidad de un material orgánico como posible combustible, y su clasificación se encuentra en relación a su capacidad de reacción y el impacto que provoca en el medioambiente. El índice de oxígeno e hidrógeno elemental se construye ubicando en un par de ejes coordinados la relación molar O/C (oxígeno/carbono), también denominado índice de oxígeno, y la relación molar H/C (hidrógeno/carbono), también denominado índice de hidrógeno (Jenkins *et al.*, 1998 y Van Krevelen, 1950). La relación O/C define el grado de reactividad que tendrá la biomasa durante su combustión, mientras que la relación H/C ayuda a elegir correctamente un combustible desde el punto de vista energético y ambiental. Es importante considerar la relación O/C, ya que un mayor contenido de O en la biomasa permitirá una combustión más eficiente con menor consumo de aire para la combustión. Por su parte, relación H/C resulta de relevancia para la generación de energía y reducción de las emisiones de CO₂. Una menor cantidad de H dará lugar un mayor PCI y una menor cantidad C dará lugar a menores emisiones de CO₂ (Rojas González y Barraza Burgos, 2012).

En el diagrama ternario puede representarse el proceso de conversión más conveniente en función de los contenidos de C-H-O obtenidos de un análisis elemental del combustible. Por ejemplo, la carbonización o pirólisis lenta mueve el producto hacia el carbono mediante la formación de residuo carbono sólido. La pirólisis rápida mueve los productos hacia el hidrógeno y los aleja del oxígeno, lo que implica un producto más rico en hidrocarburos. La gasificación con oxígeno mueve el producto gaseoso hacia la esquina del oxígeno, mientras que la gasificación con vapor aleja el proceso de la esquina del carbono. Un proceso de hidrogenación mueve los productos hacia el hidrógeno, provocando la formación de un gas combustible (Basu, 2018).

El objetivo del presente estudio es complementar la clasificación de las biomásas con mayor potencial energético de Tucumán, mediante los diagramas de Van Krevelen y el diagrama ternario en comparación con otros tipos de biocombustibles sólidos para elegir la metodología adecuada del proceso termoquímico de conversión (Zamora *et al.*, 2022).

MATERIALES Y MÉTODOS

Las biomasas en estudio fueron bagazo de caña de azúcar proveniente de diferentes ingenios tucumanos; residuos agrícolas de cosecha de la caña (RAC) de la variedad LCP85-384; RAC integral de siete variedades diferentes y sus fibras lavadas; sorgo fibroso, chip de madera autóctonos y chip de limonero. Cabe destacar que, las fibras lavadas se obtienen a partir de la caña de azúcar desfibrada y prensada con lavado posterior de agua. Se analizaron 15 muestras por cada una de la biomasa en estudio, 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. Inicialmente las muestras se secaron en estufa a 105°C hasta peso constante y picaron en un molino marca FRISTCHER, modelo Pulverisette 19, con malla de tamizado de 1mm. Se realizaron los análisis de composición elemental en el analizador elemental CHON628, según ASTM D 3176, y los análisis energéticos en bomba calorimétrica Parr6200, según ASTM D2015-96 y para el poder calorífico inferior se realizó mediante cálculo utilizando la ecuación propuesta por Feijóo *et al.* (2015). Todos estos análisis se realizaron 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 los autores. El diagrama ternario es una herramienta complementaria al diagrama de Van Krevelen, donde las tres esquinas del triángulo representan al carbono, al oxígeno y al hidrógeno puros, es decir, 100% de concentración. Los puntos dentro del triángulo representan una mezcla ternaria de estos tres elementos. El lado opuesto a un vértice del triángulo representa una concentración 0% de ese componente. De este modo, la composición elemental de un combustible queda definida por un punto sobre el área del triángulo. Una biomasa combustible está más cerca de los rincones del hidrógeno y del oxígeno, lo que significa que la biomasa contiene más hidrógeno y más oxígeno que el carbón mineral (Basu, 2018). Para la construcción del diagrama ternario se utilizó los valores obtenidos de composición elemental, expresadas en porcentaje (%). Todas las determinaciones se realizaron por duplicado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 informa los resultados promedio del análisis elemental, las relaciones molares y el análisis energético para las muestras de bagazo, RAC, sorgo fibroso, caña de azúcar, fibra de caña de azúcar, chip de madera y chip de limón. Además se agregó para poder construir la totalidad de los diagramas antes mencionados, valores de otros combustibles según informado por Cortés (2006).

Tabla 1: Resultados del análisis elemental, relación molar y análisis energético para las biomasas en estudio y otros combustibles de referencias.

Análisis elemental	Relación Molar	Poder calorífico [kJ/kg] b.s.
--------------------	----------------	----------------------------------

Muestra	C [%] b.s.	H [%] b.s.	N[%] b.s.	O [%] b.s.	H/C	O/C	Superior	Inferior
Bagazo	42,91	6,53	0,20	50,39	1,83	0,88	17.401	7.237
RAC	42,49	5,76	0,66	51,09	1,63	0,90	15.730	12.780
RAC integral	41,49	6,72	0,91	50,88	1,94	0,92	17.178	3.287
Fibra de caña	44,38	7,36	0,16	48,10	1,99	0,81	18.260	3.901
Sorgo fibroso	43,95	6,47	0,24	49,34	1,77	0,84	17.154	5.277
Chip de madera	46,99	6,65	0,07	46,29	1,70	0,74	19.447	15.082
Chip de limonero	45,68	6,67	0,23	47,42	1,75	0,78	18.337	14.772
Cortez (2006)								
Madera	50,00	6,10	-	43,90	1,46	0,66	19.888	18.632
Turbas	59,30	5,70	-	35,00	1,15	0,44	23.866	22.610
Lignitos	70,00	5,50	-	24,50	0,94	0,26	28.262	27.006
Hullas	88,20	5,30	-	6,50	0,72	0,06	36.008	35.171
Antracitas	95,50	2,50	-	2,00	0,31	0,02	35.171	34.752

Los resultados del análisis de la composición elemental de las biomásas en estudio, arrojaron que de RAC integral, RAC y bagazo presentaron menores valores del contenido de carbono, que desde el punto de vista ambiental se traduce en menores emisiones de CO₂ a la atmósfera. En cuanto a los resultados de las relaciones molares para las biomásas estudiadas, se puede observar que la fibra de caña de azúcar mostró valores mayores de H/C de 1,99 y O/C de 0,81; siendo el RAC, quien arrojó los menores valores de H/C y O/C de 1,63 y 0,90, respectivamente. Además el bagazo presentó valores de H/C 1,83 y O/C 0,88. 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 India. 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. En cuanto al chip de madera los resultados resultan semejantes a los informados por López Chalarca *et al.* (2019).

La Figura 1 se muestra el diagrama de Van Krevelen para las biomásas del presente estudio en comparación con otros combustibles sólidos. A la izquierda se observan los carbones minerales: antracita, seguido de la hulla, lignito y tuba; y a la derecha las biomásas estudiadas, que son del tipo lignocelulósicas y se ubican en la parte superior del diagrama, por encima de la madera, presentando mayores relaciones O/C y H/C que la madera. Estos diagrama coincide con los resultados informados por Jenkins *et al.* (1998). Desde el punto de vista de la combustión, una menor cantidad de C da lugar a menores emisiones de CO₂, por lo para procesos de combustión se destaca el bagazo y el RAC como una alternativa positiva tendría menor impacto al medioambiente en comparación con el chip de madera. Asimismo, la presencia de hidrógeno en la combustión, implicaría 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, que presenta un menor valor de H (5,76%) en relación al bagazo (6,53%), y los valores de PCI resultaron de 12.780 kJ/kg y 7.237 kJ/kg, respectivamente.

Con respecto al índice de oxígeno O/C, se encontró una mayor relación para la caña de azúcar (0,92), seguida del RAC (0,90). 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 biomazas ensayadas son aptas para ser utilizadas en procesos de conversión termoquímica. Estos resultados coinciden con los observados por Guachi Cabrera (2019) y Kumar *et al.* (2019), para biomazas del tipo lignocelulósicas.

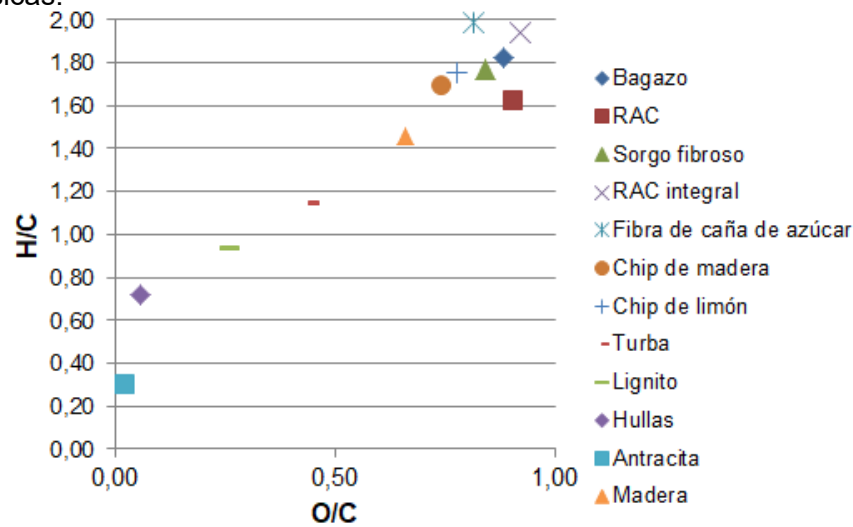


Figura 1: Clasificación de las biomazas en estudio por medio del diagrama de Van Krevelen con respecto a otros combustibles.

La Figura 2 muestra el diagrama ternario C, H, O para las biomazas en estudio. Además se ha incluido los valores informados por Cortez (2006), para otras biomazas. Las mismas se encuentran dentro del rango propuesto por Basu (2018) y Saldarriaga Elorza (2015) y Vassielv *et al.* (2010). El diagrama presenta valores más elevados de C comenzando con las muestras de antracita, huella y lignitos. Las biomazas de estudio representadas en el diagrama ternario se reflejan casi superpuestas debido a que los valores entre ellas son semejantes, ver tabla 1. La combustión suele ser más adecuada para combustibles que contienen principalmente carbono e hidrógeno y a la vez tienen un bajo contenido de oxígeno. Las biomazas de estudio se encuentran relativamente más cercanas al vértice correspondiente al carbono, por lo que un proceso de pirólisis lenta sería un camino conveniente para la producción de biocarbono.

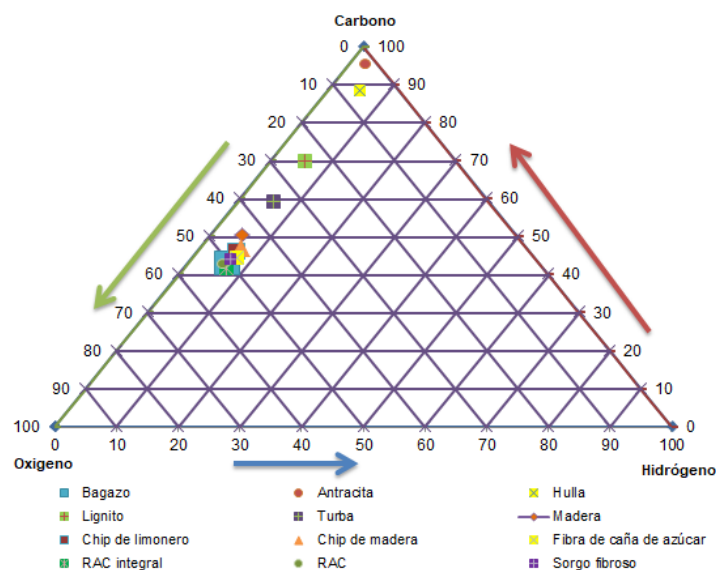


Figura 2: Diagrama ternario C-H-O de biomasa en estudio con respecto a otros combustibles de referencia.

CONCLUSIONES

La clasificación obtenida por medio del diagrama de Van Krevelen coincide con lo observado por otros autores para biomásas lignocelulósicas. Se encontraron relaciones promedio para las biomásas de estudio entre 0,74 y 0,92 para O/C y para H/C fueron entre 1,63 y 1,99. Estos resultados indicarían que la caña de azúcar y sus fibras seguidas del bagazo, al tener mayores relaciones H/C respecto al RAC (1,63), ofrecería un mejor comportamiento energético y una mayor contribución a las emisiones de CO₂.

De las biomásas en estudio en función de las composiciones elementales que sugieren diferentes enfoques para ser aprovechados como combustibles. Al tener valores semejantes en el diagrama ternario se podría optar por la pirólisis lenta podría ser más conveniente debido a su mayor cercanía al vértice del carbono. Dado que tienen un contenido relativamente alto de oxígeno y carbono. La gasificación parece ser una opción adecuada para estos biocombustibles sólidos, ya que pueden convertirse en una mezcla de gases sintéticos útiles. La pirólisis también es viable, porque podría producir bio-aceites, biochar y otros productos útiles debido a la proporción significativa de carbono en ambos combustibles.

CITAS BIBLIOGRAFICAS

- American Society for Testing and Materials (ASTM). 1996. Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke by Adiabatic Bomb Calorimeter D2015-96, United States.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). 2015. Standard Practice for Ultimate Analysis of Coal and Coke D3176-15, United States.
- Basu, P. 2018. Biomass, Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory. Academic Press of Elsevier. Oxford, UK, 64-68.
- Cortés, V. 2006. Carbón. Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ETSI) Universidad de Sevilla. España- Sevilla, 13-27.
- 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. Y Agríc. de Tucumán 92 (2): 23-32.
- 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.
- López Chalarca, L. T., L.Y. Vega Rodríguez, C. D. Rendón Colorado y S. Tobón Rojas. 2019. Aprovechamiento de residuos madereros: cuantificación, caracterización y valorización. 1.ª edición. Corporación Universitaria Remington, Medellín, Colombia.
- Nogués, F. S.; D. García Galindo y A. Rezeau. 2010. Energías Renovables. Energía de la biomasa (Vol. 1). Prensa Universitaria de Zaragoza. 1 ed., Zaragoza. España, pp.21-41; 140-150.
- Rojas-González, A. F. y J.M. Barraza-Burgos. 2012. Efecto de la relación atómica oxígeno/ carbono del carbón sobre la reactividad en la combustión de carbonizados. Ingeniería y Universidad 17 (1): 41-57.
- Saldarriaga Elorza, J. F. 2015. Avances en el modelado de la combustión de biomasa en spouted bed cónico. Tesis doctoral para la obtención del título de doctor en ingeniería química. Universidad del País Vasco. Facultad de Ciencia y Tecnología- Departamento de Ingeniería Química. Leioa, España.
- Van Krevelen, D. W. 1950. Graphical-statistical method for the study of structure and reaction processes of coal. Fuel (29), 269-84.
- Vassilev, Stanislav V; D. Baxter; L. K. Andersen; C. G. Vassileva. 2010. An overview of the chemical composition of biomass. Fuel 89: 913–933.
- Zamora Rueda G. del H.; M. A Golato; W. D. Machado y D. Paz. 2022. Valoración y clasificación de biomasa lignocelulósica de Tucumán, Argentina, según índices de oxígeno e hidrógeno. XXII Reunión Técnica Nacional de la Caña de Azúcar. Tucumán- Argentina.

CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DE LOS PRODUCTOS DE LA PIRÓLISIS DE VINAZA DE CAÑA DE AZÚCAR DE TUCUMÁN, ARGENTINA

Zamora Rueda, G. del H.; Gutiérrez, C.E.; Reynoso, A.; Morales, W.D.; Golato, M.A.; Feijóo,
E.A. y R. M. Ruiz

Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, Sección Ingeniería y Proyectos Agroindustriales,
Laboratorio de Ensayos y Mediciones Industriales, Av. William Cross 3150-Las Talitas- Tucumán-
Argentina.

gzamora@eeaoc.org.ar; mgolato@eeaoc.org.ar

Palabras clave: vinaza, energía, bio-oil, biochar, pirólisis

INTRODUCCIÓN

La vinaza es un subproducto líquido derivado de la destilación del vino resultante de la fermentación de jugos o mieles de caña de azúcar. Posee un pH ácido y un alto contenido de materia orgánica, que si no se dispone adecuadamente puede representar un contaminante ambiental. Este subproducto podría ser aprovechado energéticamente si se concentra la misma o se la seca completamente.

La pirólisis se puede definir como: “la descomposición térmica de un material en atmósfera inerte”. Los productos de la pirólisis son tres: un gas, un residuo carbonoso sólido o *char* y un producto líquido condensable o *bio-oil*. El producto gaseoso está compuesto principalmente por gases no condensables como H_2 , CO , CO_2 , CH_4 , C_2H_2 , C_2H_4 o C_2H_6 , estos gases pueden ser utilizados como combustibles para autoabastecer un proceso. El producto sólido o *char*, puede ser utilizado para la producción de carbón activado. El bio-oil, es un líquido oscuro con partículas sólidas, de penetrante olor. Este está formado por agua y compuestos orgánicos de muy diversa naturaleza, suele ser utilizado directamente como combustible en calderas, motores y turbinas (Nogués *et al.*, 2010). La pirólisis convencional es un proceso en el cual se mantiene una velocidad de calentamiento un poco menos lenta que la carbonización, con un tiempo de residencia de sólidos y gases relativamente alto (5 a 60 minutos), con temperaturas típicas de 600 °C. Durante la primera etapa de la descomposición de la biomasa (120 a 200) °C, ocurren reacomodamientos de la estructura molecular, eliminación de agua y formación de grupos carbonilos, entre otros. Durante la segunda etapa ocurre la principal descomposición de la biomasa, la cual procede rápidamente, liberándose la materia volátil formando un residuo rico en carbono. En la tercera etapa, el carbón se descompone a baja velocidad por medio de un proceso de oxidación, generándose un residuo inorgánico (cenizas) (Nogués *et al.*, 2010).

El conocimiento de parámetros físico-químicos y energéticos de la materia prima, vinaza, como de los productos de la pirólisis de la misma, permitirá evaluar el potencial aprovechamiento de cada uno de ellos como posibles biocombustibles y/o bioproductos. El objetivo de este trabajo fue mostrar los resultados preliminares de la caracterización fisicoquímica y energética de los productos de la pirólisis de vinaza proveniente de destilerías de alcohol de caña de azúcar.

MATERIALES Y MÉTODOS:

Caracterización de la vinaza: Se utilizó como materia prima vinaza líquida (4,47 brix) proveniente de un ingenio de Tucumán. Una parte de esta muestra se concentró hasta 30°brix y otra parte hasta 100° brix (vinaza seca). La concentración a 30 brix se realizó en un concentrador cilíndrico de 85 litros de capacidad. El secado completo de la vinaza se realizó en estufa a 105°C. La caracterización de la vinaza como así también de los productos de la pirólisis (*char* y *bio-oil*), se llevó a cabo en el Laboratorio de Ensayos y Mediciones Industriales (LEMI). A la vinaza líquida y concentrada, como así también al bio-oil se les realizaron determinaciones de pH, conductividad, densidad

según IRAM- IAPG A 6616, viscosidad según ASTM D 445-04, con viscosímetro rotacional Brookfield y poder calorífico superior (PCS), según ASTM D2015-96, con bomba calorimétrica Parr 6200. Para la vinaza seca y char se ejecutaron: análisis inmediato cenizas (CZ), sólidos volátiles (SV) y carbono fijo (CF) según ASTM D 5142-02, con equipo termogravimétrico; análisis de cloro total (Cl) y azufre total (S) según ASTM E 776-87 y ASTM D 3177-02, respectivamente y PCS.

Ensayo de pirólisis de vinaza: Para el ensayo de pirólisis se utilizó vinaza concentrada a 30°brix y vinaza seca a 100°brix. Para ello, se utilizó un reactor de pirólisis de tipo cilíndrico de 4 litros de volumen, fabricado en acero inoxidable AISI 316 con diámetro interior 134 [mm] y longitud 210 [mm] con espesor de 33 [mm], con una aislación exterior de yeso y fibra de vidrio. La pirólisis se realizó en un rango de temperaturas entre 300°C y 600°C, con máxima producción a esta última temperatura. Para lograr el calentamiento del reactor se utilizó un quemador de gas natural para tal fin. Debido al elevado contenido de humedad, no se realizó la pirólisis de la vinaza líquida. En Tabla 1 se muestran las condiciones utilizadas durante el ensayo de pirólisis de vinaza. Las masas de vinaza indicadas en tabla, corresponden a las cantidades logradas en los ensayos de concentración.

Tabla 1: Condiciones del ensayo de pirólisis de vinaza.

Ensayo pirólisis	Masa inicial [g]	Temperatura reactor [°C]	Presión [KPa]	Velocidad de calentamiento [°C/min]	Tiempo del ensayo [min]
Vinaza concentrada (30°brix)	458,40	300- 600	101,32	16	60
Vinaza seca (100°brix)	578,60	300- 600	101,32	16	70

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En Tabla 2 se muestran los resultados preliminares de los rendimientos de los productos obtenidos de la pirólisis. Se observó que para el gas producto el rendimiento fue mayor para la vinaza de 30°brix (6,76%) en relación a la de seca (1,95%); el rendimiento del bio-oil fue mayor en la vinaza seca (96,37%) comparado con la vinaza de 30°brix. Con respecto al rendimiento del char, los resultados fueron de igual orden de magnitud, cercano al 2%.

Tabla 2: Resultados promedios de los rendimientos de los productos de la pirólisis de la vinaza concentrada y seca.

Ensayo pirólisis	Bio-Oil		Char		Gas Producto	
	Masa [g]	Rendimiento [%]	Masa [g]	Rendimiento [%]	Masa [g]	Rendimiento [%]
Vinaza concentrada (30°brix)	419,80	91,58	7,60	1,66	31,00	6,76
Vinaza seca (100°brix)	557,60	96,37	9,70	1,68	11,30	1,95

En Tabla 3 se informan los resultados promedio de temperatura de medición de los ensayos para viscosidad y densidad, conductividad, pH y PCS de la vinaza líquida, vinaza concentrada, como así también del bio-oil de vinaza concentrada y bio-oil de vinaza seca. Los valores de viscosidad y densidad de vinaza fueron semejantes a los informados en zafras anteriores (Zamora *et al.*, 2019). Se observó que el bio-oil tuvo un aspecto un líquido de color negro, con fuerte olor a humo, esto depende del contenido de partículas sub-micrométricas de carbón presentes. Los resultados informados por Nogués *et al.* (2010) de bio-oil de pirólisis de madera fueron para densidad de 1,2 [g/cm³] a 20° C y PCS entre 16.000 a 19.000 [kJ/kg]. En cuanto a valores presentados de bio-oil de pirólisis de bagazo de caña de azúcar, se obtuvo un PCS de 25.522 [kJ/kg]

(Fernández y Mopty, 2018). Debido al elevado contenido de agua en la vinaza líquida y concentrada para este estudio, no fue posible determinar los valores de PCS. La determinación de PCS en bio-oil se realizó separando el agua de los compuestos orgánicos, mediante una ampolla de decantación. No fue posible determinar el PCS de la muestra de bio- oil de vinaza a 30°brix, debido poca cantidad de muestra obtenida. Sin embargo, el PCS del bio-oil de la pirólisis de vinaza seca, fue de PCS de 25.590 [kJ/kg] base seca (b.s.). No se encontraron referencias bibliográficas para los productos líquidos obtenidos por la pirólisis de vinaza.

En la tabla se puede observar que la viscosidad encontrada en bio-oil de vinaza seca (6,20cP) fue mayor que para las vinazas líquida (1,14cP) y concentrada (1,94cP). No obstante, la viscosidad del bio-oil de vinaza concentrada fue menor que la muestra de vinaza concentrada (1,52cP vs. 1,94cP). Con respecto a la densidad, se observó que los bio-oils obtenidos de la pirólisis fueron de igual orden de magnitud (1087,91 y 1035,80 kg/m³) a los encontrados en vinaza líquida (1021,95 kg/m³).

Tabla 3: Resultados promedios de la vinaza líquida y concentrada y el producto líquido de la pirólisis de vinaza de destilerías de alcohol de caña de azúcar.

	Temperatura [°C]	Viscosidad[cP]	Densidad[kg/m ³]	Conductividad[mS]	pH	PCS[kJ/kg] b.s.
Vinaza líquida (4,7°brix)	13,10	1,14	1.021,95	14,44	4,62	-
Vinaza concentrada (30°brix)	30,00	1,94	1.310,00	15,10	7,20	-
Bio-oil de vinaza concentrada (30°brix)	21,40	1,52	1.087,91	0,05	4,93	-
Bio-oil de vinaza seca (100°brix)	21,40	6,20	1.035,80	0,02	7,84	25.590,00

En la Tabla 4 se muestran los resultados promedio de CZ [%], SV [%], CF [%], Cl [%], S [%] y PCS [kJ/kg] en base seca la vinaza seca y el producto sólido de la pirólisis de vinaza. Los valores obtenidos de la caracterización físico- química y energética de vinaza seca para este estudio fueron similares a los informados para las zafras anteriores (Zamora Rueda *et al.*, 2019). Para el caso del residuo carbonoso (char) se observan valores de azufre semejantes, 0,30% para char de vinaza concentrada y 0,33% para char de vinaza seca. Mientras que para los resultados de cloro se obtuvo mayor valor para la muestra de char de vinaza seca (0,99%) en comparación con el char de vinaza concentrada (0,52%). Los resultados de PCS informados para las muestras de char, fueron de 7.906[kJ/kg] b.s. y 9.851[kJ/kg] b.s., para char de vinaza concentrada y char de vinaza seca, respectivamente. Cabe destacar, que no se encontraron referencias de char para pirólisis de vinaza.

Tabla 4: Resultados promedios de CZ [%], SV [%], CF [%], Cl [%], S [%] y PCS [kJ/kg] en base seca de la vinaza seca y el producto sólido de la pirólisis de la vinaza.

	CZ[%] b.s.	SV[%] b.s.	CF[%] b.s.	Cl[%] b.s.	S[%] b.s.	PCS[kJ/kg] b.s.
Materia prima						
Vinaza seca (100°brix)	34,07	62,61	3,32	0,53	2,83	14.281
Producto sólido de la pirólisis						
Char de vinaza concentrada (30°brix)	66,30	28,45	5,25	0,52	0,30	7.906
Char de vinaza seca (100°brix)	69,76	23,99	6,25	0,99	0,33	9.851

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos de la caracterización de las vinazas, líquida (4,7°brix) y concentrada (30°brix), son semejantes a los encontrados en análisis previos. Se encontró que el bio-oil producto de la pirólisis de vinaza seca posee un valor energético de 25.590 [kJ/kg] b.s., mayor que para los obtenidos en vinaza seca (14.281 [kJ/kg] b.s.), char de vinaza concentrada (7.906 [kJ/kg] b.s.) y char de vinaza seca (9.851 [kJ/kg] b.s.), lo cual a nivel energético resultaría conveniente su utilización como combustible. Se encontraron valores bajos de SV en char de vinaza concentrada (28,45%) y char de vinaza seca (23,99%), en comparación con la vinaza seca (62,61%), por lo que se tendrían mayores dificultades de ignición. No obstante, el char podría ser utilizado para la producción de bioabono para compost y carbón activado. Para el char se observaron contenidos de azufre menores (alrededor de 0,30%) en relación a la vinaza seca (2,83%). Los contenidos de cloro en char de vinaza seca fueron mayores (0,99%) en comparación al char de vinaza concentrada (0,52%). Estos resultados son preliminares y sirven como base de referencia para estudios posteriores.

CITAS BIBLIOGRAFICAS

- Nogués, F. S.; García Galindo, D. y Rezeau, A., 2010, Energías Renovables. Energía de la biomasa (Vol. 1). Prensa Universitaria de Zaragoza. 1 ed., Zaragoza. España, pp.366-397.
- Fernández, A. M. y Mopty, J. P, 2018, Diseño experimental de un reactor para ensayos de pirólisis de biomasa. Trabajo para obtener el título de Ingeniero Mecánico. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. Universidad Nacional de Tucumán. Tucumán, Argentina.
- Zamora Rueda, G.; Mistretta, G.; Gutiérrez, C.; Golato, M.; Paz, D. y Cárdenas, G.J, 2019, Energy Characterization of Sugarcane Bagasse in Tucumán, Argentina. Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologist (ISSCT) (30): 1000–1004.