

CAPÍTULO 8 |

EL RIEGO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Autores

L. Roberto Figueroa

Eduardo R. Romero

Guillermo S. Fadda

EL RIEGO DE LA CAÑA DE AZÚCAR



INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar tiene elevados requerimientos hídricos, aspecto relacionado con la prolongada duración de su ciclo y la importante proporción del mismo en que el cultivo expone una elevada cobertura (Período de Gran Crecimiento). Numerosos estudios han demostrado que la ocurrencia de fluctuaciones en la disponibilidad hídrica durante el ciclo del cultivo limita con frecuencia el logro de elevadas producciones, enfatizando la importancia del riego.

En el sistema productivo de la caña de azúcar en Tucumán, la administración eficiente de los recursos suelo-agua, asociada a prácticas y tecnologías efectivas (variedades, diseño de plantación, fertilización, control de malezas, etc.), constituye un aspecto clave para asegurar altos y sostenidos niveles productivos.

En este contexto, el manejo de la disponibilidad de agua mediante las distintas estrategias disponibles constituye un aspecto de gran importancia, ya que la caña de azúcar es una de las especies cultivadas de mayor eficiencia en el uso del agua, construyendo 2,0-2,7 gr de materia seca y de 0,6-1,0 gr de azúcar por kg de agua consumida.

CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA CAÑERA DE TUCUMÁN

El período efectivo de crecimiento que dispone la caña en Tucumán para construir su producción cultural, es de unos seis a ocho meses (mediados de agosto a mediados de abril), variable según la época de plantación o corte, del manejo suministrado y del comportamiento meteorológico de cada ciclo agrícola, que con un régimen pluviométrico de tipo monzónico, acumula entre diciembre y marzo más del 60% del total de lluvias. Los registros anuales medios fluctúan entre los 800 y 1500 mm, pero con importantes variaciones en el volumen y distribución durante y entre ciclos. Deficiencias

hídricas recurrentes se presentan durante el invierno y la primavera.

Los meses iniciales del ciclo del cultivo (agosto-noviembre) presentan generalmente condiciones térmicas e hídricas subóptimas influyendo en el desarrollo posterior del cultivo y en el aprovechamiento del Período de Gran Crecimiento. En cambio, las condiciones de fines de primavera y las del verano, coincidentes con el período de mayor consumo de agua suelen ser adecuadas para completar el Macollaje y especialmente para la ocurrencia de un activo crecimiento (máximas tasas de elongación), aunque pueden acontecer deficiencias hídricas.

En la fase de Maduración, las condiciones climáticas suelen ser favorables para su ocurrencia natural, aunque no óptimas (baja amplitud térmica, baja heliofanía y alta humedad atmosférica y edáfica), resultando claves las del mes de mayo y primera quincena de junio, período que muestra una elevada variabilidad entre ciclos.

REQUERIMIENTOS HÍDRICOS

El requerimiento de agua de un cultivo resulta del valor de la evapotranspiración máxima acumulada (ETM) a lo largo de su ciclo de crecimiento y desarrollo, en condiciones hídricas no limitantes y en dependencia de la demanda atmosférica (interacción de los factores ambientales). Por lo tanto, en la estimación de la ETM se destaca la importancia de los factores del clima, del suelo, de las características del cultivo y del manejo suministrado.

En el contexto agroecológico de nuestra área cañera, el período efectivo de crecimiento que dispone un cañaveral para construir su producción cultural, puede ser modificado por el comportamiento meteorológico de cada ciclo, pero también y de manera importante, de acuerdo a la época de cosecha de cada lote, como por el manejo suministrado. Por lo cual, el requeri-

miento hídrico del cultivo, el volumen de lluvias y las necesidades de riego varían entre años e incluso entre situaciones de manejo.

En este marco, las estimaciones realizadas en Tucumán respecto del requerimiento hídrico para la caña de azúcar, señalan valores de evapotranspiración máxima de 750 a 1250 mm/ciclo para lograr máximas producciones, considerando los distintos factores señalados.

Importantes variaciones en el requerimiento hídrico se registran en las distintas fases fenológicas. Durante la Emergencia, Macollaje y el establecimiento del canopeo hasta el Cierre, la caña requiere de una humedad adecuada, pero el consumo es bajo, relacionado con la limitada expansión del sistema radicular y foliar, agudizado en áreas subtropicales, por la influencia de temperaturas relativamente bajas. Se indica que el riego en estas fases iniciales puede aumentar el número de tallos, lo que no siempre se refleja en incrementos de importancia en la producción al final del ciclo.

En la Emergencia, la incidencia del contenido hídrico interno de la semilla resulta más importante que el riego que se efectúe durante dicha fase, mientras que el aporte de agua es requerido en estadios más avanzados para el crecimiento de las raíces adventicias, para la elongación de los tallos y para la expansión foliar.

Las primeras etapas de crecimiento (Brotación e inicio de Macollaje) son exigentes en cuanto a una buena disponibilidad hídrica, sin embargo el consumo de agua es relativamente bajo en relación a las fases siguientes, lo que está relacionado con la reducida expansión foliar y la menor demanda evapotranspiratoria atmosférica durante los meses primaverales. Durante este período, una proporción importante del consumo total está representado por las pérdidas evaporativas del suelo.

El período de mayor consumo de agua ocurre entre los meses de diciembre y marzo (pleno Macollaje y Período de Gran Crecimiento), asociados a la elevada superficie foliar y la elevada demanda evaporativa del ambiente en este período. Durante este período se produce alrededor del 55% del total de la biomasa aérea y se consume un 55-60% del total del agua necesaria para el cultivo.

En el otoño el consumo disminuye progresivamente, lo cual favorece la etapa de maduración.

Si bien, el período más crítico para la caña de azúcar en Tucumán se centra en los meses de diciembre a marzo (fase de crecimiento activo), la tasa de desarrollo que alcance el cultivo en las fases fenológicas iniciales, las que normalmente coinciden con las carencias hídricas típicas de la región, ejercerá un efecto notable en el grado de aprovechamiento de los recursos disponibles que efectúe el cañaveral durante el período de crecimiento activo, lo que incidirá en su capacidad productiva.

Esta situación resulta especialmente importante en caña planta, edad que requiere de un período más prolongado para alcanzar el cierre del cañaveral, aunque también es de significación en las cañas socas.

RESPUESTA DE LA CAÑA DE AZÚCAR AL RIEGO

Respecto al efecto del riego en la capacidad productiva de la caña de azúcar, la información para Tucumán señala incrementos promedios entre el 8-45%, los que varían en función de la cantidad y distribución de las lluvias acontecidas durante el ciclo de crecimiento y la edad del cañaveral.

La relación entre la producción de caña y la cantidad total de agua recibida (lluvias más riego), destaca un incremento medio de 12 t/ha de caña por cada 100 mm de aumento en el aporte de agua, resultado que esta estrechamente vinculado al área de producción y con las condiciones climáticas de los ciclos analizados.

También resulta interesante analizar la respuesta de la producción de caña a modificaciones del balance hídrico, expresado por el Coeficiente (Lluvia+Riego)/ETMc (ETMc: evapotranspiración máxima del cultivo), utilizando éste como un indicador del nivel de déficit hídrico. Se evidencia (Figura 1) una asociación altamente significativa, con una tasa de incremento de 21,6 t/ha de caña por cada aumento del 10% en la disponibilidad de agua.

La relación entre el incremento porcentual de la producción de caña respecto del secano, en función del aporte extra de agua destaca un incremento relativo general del 41% cada 100 mm adicionales de agua (Figura 2).

La influencia de la disponibilidad de agua en los componentes del rendimiento cultural, se observa en la Figura 3, expresados como incre-

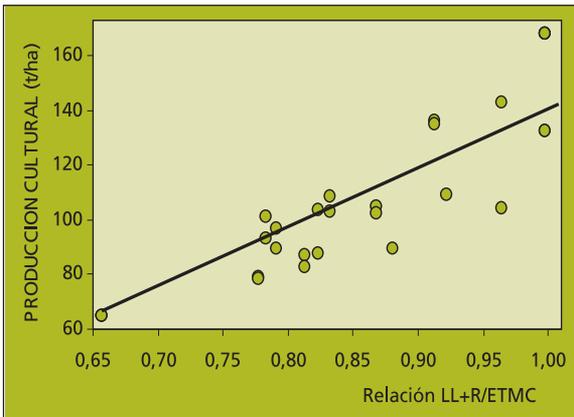


Figura 1: Relación entre rendimiento cultural y el Coeficiente (lluvia + riego)/ETMc.

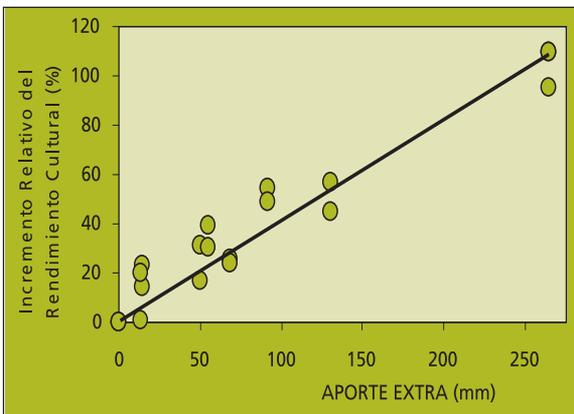


Figura 2: Relación entre el incremento relativo del rendimiento cultural de caña en tratamientos con riego (convencional y por goteo) respecto del secano, en función del aporte extra de agua.

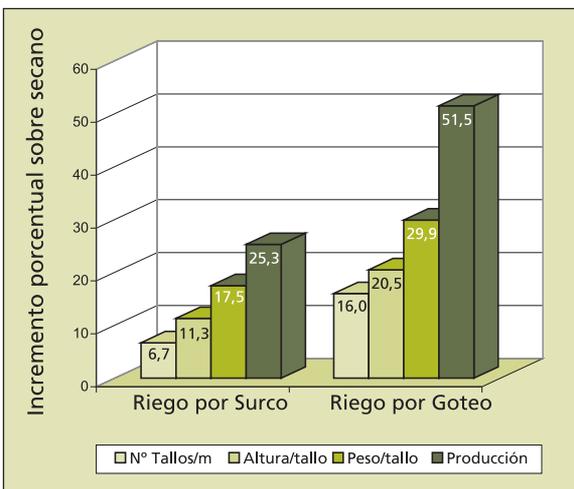


Figura 3: Incrementos relativos al secano, de la población de tallos, altura, peso/tallo a cosecha y en la producción cultural en dos alternativas de riego.

mentos relativos al secano, considerando los valores promedios de variedades y edades de las alternativas riego convencional y goteo en todos los surcos.

Mejoras en la disponibilidad hídrica provocan incrementos sustanciales en la población de tallos a cosecha, en la altura y especialmente en el peso por tallo, los que por su interacción explicaron el impacto del riego en la producción de caña, el que resultó en el riego por surco de un 25% y en el caso del riego por goteo en todos los surcos del 52%, respecto del secano.

Los resultados destacaron la elevada capacidad de respuesta del cultivo y de las variedades actualmente disponibles al aporte de agua, cualquiera sea la alternativa de aplicación.

SITUACIÓN ACTUAL DEL RIEGO EN TUCUMÁN

La caña de azúcar, a pesar de constituir el principal cultivo de la provincia, presenta una baja superficie regada. Solamente entre un 25-30% del área con caña es irrigada y el resto se maneja en secano.

Esta superficie, además, oscila de un año a otro según sus características pluviométricas y las disponibilidades del recurso, que normalmente es escaso. Así, el riego manifiesta su carácter eventual al no estar integrado al sistema productivo. La mayoría de los cañeros recurre al riego cuando la situación hídrica es crítica, lo que queda reflejado en la variabilidad de los rendimientos según como se presenten las lluvias cada año.

La recarga del sistema hidrológico de Tucumán depende de las precipitaciones anuales y de su distribución durante las distintas estaciones.

Durante el invierno y la primavera se le da prioridad a la actividad industrial dentro del área cañera y aún así, actualmente muchos ingenios no cuentan con caudales suficientes y complementan sus necesidades con agua de perforaciones, lo que suele limitar el uso agronómico racional que se puede hacer del recurso.

La red provincial provee aproximadamente el 80% del agua usada. Un 93% de la superficie se riega por surco y el resto por aspersión. El riego por surco tiene una eficiencia

de conducción y aplicación en los predios que oscila entre 35-40 % en promedio. Se realizan uno a tres riegos por ciclo, número que resulta insuficiente, situación agravada por la falta de disponibilidad de agua en los momentos críticos.

Para cubrir las necesidades adicionales de agua del cultivo, se requiere efectuar inversiones económicas de importancia en la captación, conservación, conducción, distribución y aplicación del recurso, como también intensificar el aprovechamiento de fuentes subterráneas de agua, sin las cuales la agroindustria de la caña de azúcar no podrá lograr altos y sostenidos niveles de productividad.

Debe planificarse la utilización conjunta y complementaria de las fuentes de agua superficiales y subterráneas, a fin de que las perforaciones permitan cubrir sectores no servidos por el sistema de riego provincial, o durante los déficit primaverales y del inicio del verano. En nuestra provincia se disponen estudios bastantes detallados acerca de la disponibilidad de esta importante fuente de agua, profundidades medias de las perforaciones, caudales potenciales, etc., de prácticamente toda el área cañera. El empleo del recurso subterráneo debería complementarse con baterías de reserva y/o reservorios estacionales, a fin de realizar una distribución más eficiente.

Por otro lado, la incorporación de sistemas de enfriamiento y reciclado del agua por parte de las fábricas azucareras y de otras industrias podrían contribuir a mejorar la disponibilidad y distribución del agua de riego.

También, el manejo de la cobertura vegetal, el mejoramiento de la técnica de riego por gravedad actualmente utilizada, como la incorporación de tecnologías de riego por aspersión y goteo, permitirían incrementar sensiblemente la eficiencia del uso del agua a nivel de finca, ampliar la superficie de riego, reducir los costos de aplicación, factores que en conjunto mejorarían significativamente la productividad de la caña de azúcar en la región.

En los últimos años, algunas empresas líderes incorporaron sistemas mecanizados de riego (pivote central) aunque su incidencia relativa es de poca significación y su costo

es elevado, especialmente por el carácter eventual de los aportes de agua.

Los sistemas presurizados, especialmente el riego por goteo, tienen justificación cuando la demanda hídrica del cultivo es elevada, en grandes superficies y/o cuando la fuente de agua es escasa. No obstante estos sistemas de alta eficiencia y de baja utilización de mano de obra, deberán producir fuertes incrementos de la capacidad productiva de la caña de azúcar, a fin de amortizar su alto costo y asegurar la rentabilidad del cultivo.

Por lo tanto, cada alternativa de riego deberá ser analizada dentro de un contexto que contemple las ventajas, desventajas y los costos de cada sistema y que lleve a una racionalización adecuada en el uso de los recursos naturales.

LAS NECESIDADES DE AGUA DE RIEGO

Las necesidades de agua de riego responden a un balance entre el aporte de las lluvias y las pérdidas por evaporación y transpiración. En caso de existir una capa freática próxima a la superficie del suelo, cosa que ocurre en una amplia superficie del área cañera de Tucumán (Llanura Deprimida), ésta también hace aportes al cultivo dependiendo de la profundidad a la que se encuentre y de algunas características de los suelos (Figura 4).

Las variables más importantes de este balance son:

Evapotranspiración Real

Es la pérdida de humedad por evaporación directa a partir del suelo, de charcos que quedan después de una lluvia, del agua retenida en el follaje y por transpiración de la parte aérea de la caña a partir del agua que toma su sistema radicular. La magnitud de la evapotranspiración depende de:

- El contenido de humedad del suelo.
- El grado de cobertura del suelo con residuos de cosecha. Esto es muy importante en la primavera, cuando la caña tiene poco desarrollo, pues la gran cantidad de residuos que deja la cosecha reduce las pérdidas por evaporación directa.
- La radiación (nubosidad, latitud, altitud, época del año y hora del día).
- La capacidad evaporante del aire (tempe-

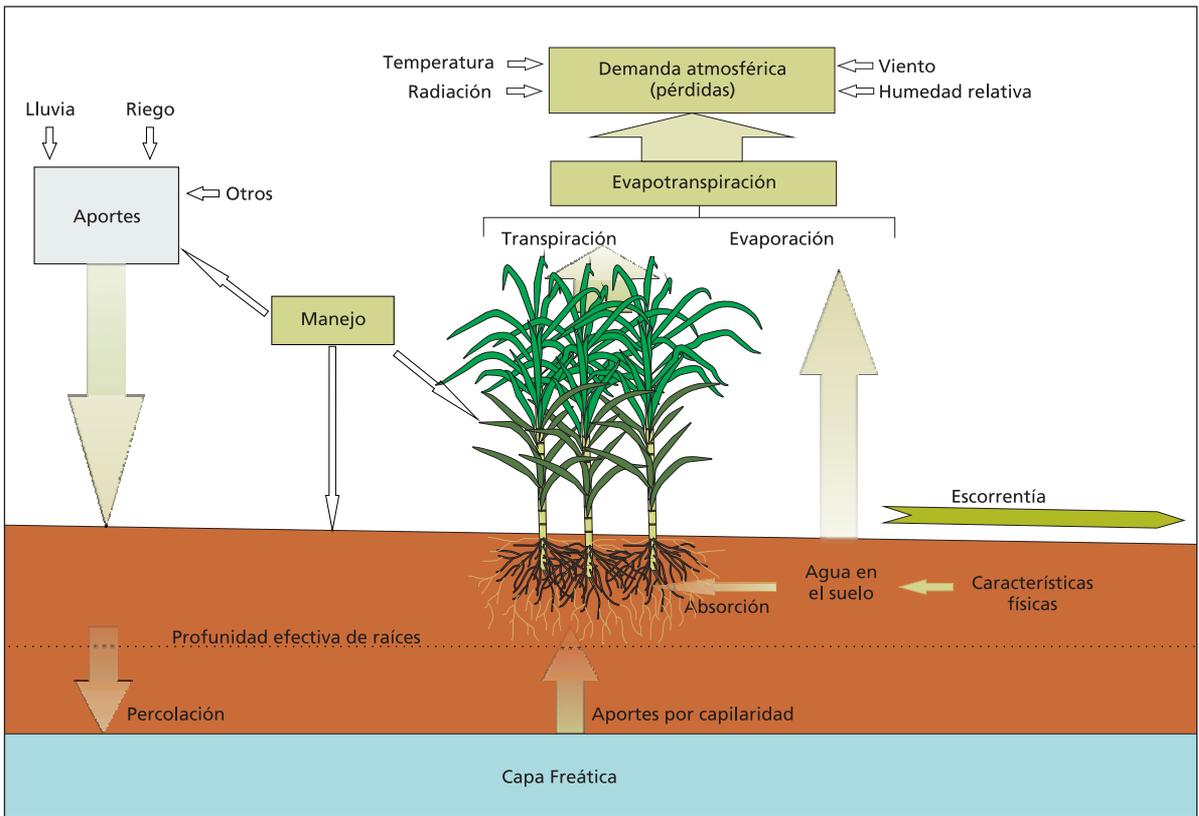


Figura 4: Esquema de los aportes y pérdidas de agua que tienen lugar en el cultivo de la caña de azúcar.

ratura, humedad relativa y viento).

- El desarrollo de la parte aérea de la caña de azúcar.

Lluvia

El aporte de agua de la lluvia sigue distintos caminos y solo una parte es almacenada en el suelo para luego ser tomada por las raíces del cultivo. A esta se denomina precipitación efectiva. Los principales destinos de la lluvia son los siguientes:

- **Pérdidas por Evaporación Directa:** Una fracción se pierde de esta forma, a partir de la parte aérea de las plantas, de los charcos y desde la superficie del suelo.
- **Infiltración:** El agua que se infiltra en el suelo y se almacena en la zona de crecimiento de las raíces, pasa a constituir una reserva para el cultivo. La que se mueve por debajo de la zona radicular tiene poca influencia en el balance hídrico de la caña de azúcar y puede considerarse como pérdida a los fines prácticos. Puede aportar a los acuíferos, entre ellos la capa freática.

- **Pérdidas por Escurrimiento superficial:** Cuando la intensidad de la lluvia supera la velocidad de infiltración y la capacidad de almacenaje de las depresiones, el agua se pierde por escurrimiento directo. Este fenómeno contribuye a crear una distribución no uniforme de la humedad almacenada en el suelo donde en algunos casos los bajos pueden recibir una cantidad adicional de agua en detrimento de los sectores altos. Por otro lado, una fracción, importante o no, dependiendo de la intensidad y duración de la lluvia, puede abandonar el área por la red de drenaje natural o artificial.

La Figura 5 muestra en forma esquemática como el aporte de la precipitación sigue distintos caminos.

Es muy difícil precisar la lamina que se transforma en precipitación efectiva por el numero elevado de variables que intervienen; pero resulta muy importante tener presente que sólo una parte de la lluvia registrada, estará disponible para el cultivo.

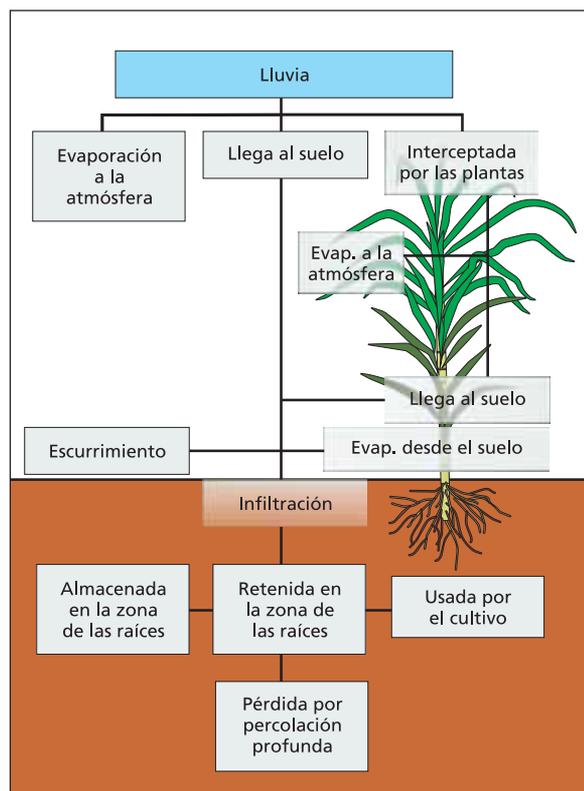


Figura 5: Vías de movimiento y destinos del agua de lluvia.

Contribución de la capa freática

Su aporte de agua al cultivo depende de dos variables principales:

- **La profundidad a la que se encuentra:** A menor profundidad mayor es su importancia en la provisión de agua al cultivo.
- **La textura y estructura del suelo:** Los suelos que transportan con mayor eficiencia agua desde la capa freática a las raíces o a la atmósfera son los franco arenoso finos y los franco limosos. Los suelos arenosos, por tener poros de gran tamaño, muestran un ascenso capilar limitado. Por otro lado, los suelos de textura muy fina, con dominio de la fracción arcilla, presentan baja velocidad de transporte de agua y su influencia en la provisión de agua al sistema radicular es mucho menor (Figura 6)

La necesidad de agua de riego durante el ciclo de la caña de azúcar está determinada por un lado, por un balance entre los aportes de la lluvia que se transforma en precipitación efectiva, más la contribución de la capa freática y más el agua almacenada en la zona radi-

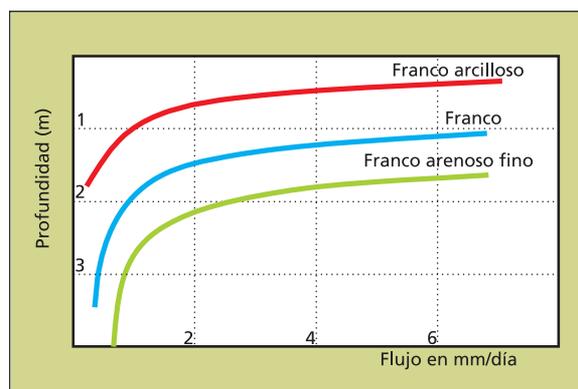


Figura 6: Profundidad de la capa freática en relación a la velocidad de flujo vertical para distintas texturas.

cular al comienzo del período de crecimiento y por el otro, por las pérdidas estimadas por la evapotranspiración potencial. Esta última es la demanda de agua del cultivo en caso en que la humedad de suelo sea suficientemente alta como para no ser una limitante.

El manejo de la disponibilidad de agua puede realizarse mediante el riego y/o mediante prácticas culturales (como la rotación, el mantenimiento de los residuos de cosecha, sistema verticales y mínimos de labranza, la fertilización y la variedad, entre otros), que favorezcan un mayor almacenamiento en el suelo y/o la reducción de las pérdidas evaporativas.

CAPACIDAD DE ALMACENAJE DE AGUA ÚTIL

En el lapso comprendido entre dos lluvias, los cultivos obtienen agua a partir de la humedad almacenada en la zona de crecimiento de las raíces. La capacidad de almacenar agua está determinada por la porosidad del suelo, la cual depende de la textura y estructura. Las máximas capacidades de almacenar agua útil para los cultivos en 1 metro de perfil en función de la textura, se presenta en la Tabla 1. Se entiende que el agua útil es aquella que va desde capacidad de campo a punto de marchitez.

De esta tabla se desprende que los suelos arenosos tienen poca capacidad de almacenaje por lo que las lluvias o riegos deben ser frecuentes. Los suelos con capacidad máxima son los francos limosos y francos arenoso finos mientras que la gama de los arcillosos vuelve a tener una menor capacidad. Esta caracterís-

Tabla 1: Capacidad de retención de Agua útil en suelos de distinta textura.

Clase Textural	Agua Disponible (% en volumen)
Franco Arenoso	13
Franco	19
Franco Limoso	21
Franco Arcilloso	19

tica es muy importante para el manejo del riego en lo que hace a cantidad de agua a aplicar (lámina) y frecuencia (turnado). Así, si se agrega una lámina grande a suelos arenosos, una significativa parte del aporte de agua se perderá en las capas profundas del suelo donde las raíces tienen baja densidad o no están presentes.

EL SISTEMA RADICULAR Y SU DESARROLLO A LO LARGO DEL CICLO PRODUCTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Un cultivo toma agua de la profundidad a donde se encuentran las raíces, lo cual también significa que no hay desarrollo ni exploración radicular en capas del suelo que no dispongan de un nivel hídrico adecuado. Cuando comienza la brotación de la caña planta, el sistema radicular tiene escasa densidad y explora solo

unos pocos centímetros de suelo. Algo parecido ocurre con la caña soca donde una parte muy importante del sistema radicular se renueva luego de cada corte y con el inicio de la brotación comienza a desarrollar el nuevo sistema radicular. En estos momentos las necesidades de agua del cultivo son bajas pues el área foliar es pequeña. A medida que este evoluciona, el sistema radicular se hace más denso y explora un espesor mayor del perfil del suelo.

Esto ha sido representado esquemáticamente en la Figura 7 y debe ser considerado a la hora de la aplicación del riego. De esta manera, en los primeros estadios de la brotación se requieren láminas pequeñas y riegos frecuentes. Con el avance del desarrollo del cultivo estas deben aportar una mayor cantidad de agua para humedecer toda la zona de exploración de raíces.

La caña de azúcar es un cultivo que explora entre 1,0 y 1,5 m de perfil, si no existen problemas de capas compactadas, falta de oxígeno u otras condiciones adversas. Sin embargo, se debe tener en cuenta la variación de la densidad de raíces en relación a la profundidad del perfil.

En términos generales, y de no mediar impedimentos físicos o químicos en el suelo, las raíces de la caña de azúcar se distribuyen según la Figura 8.

La mayor parte de la biomasa radicular de la caña de azúcar se encuentra cercana a la

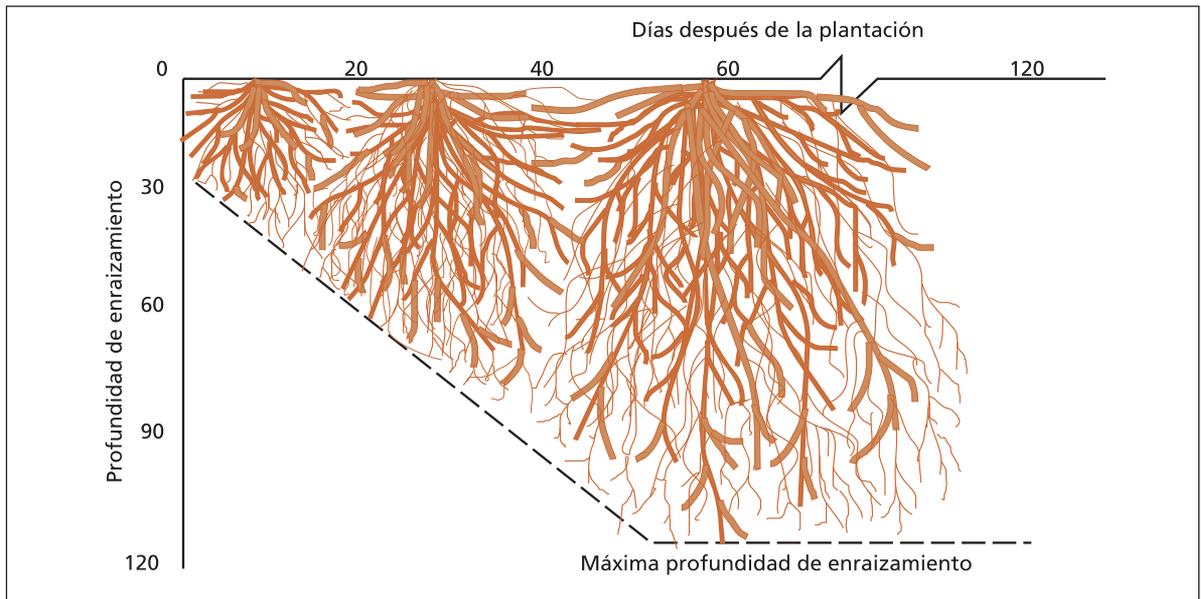


Figura 7: Esquema del desarrollo radicular.

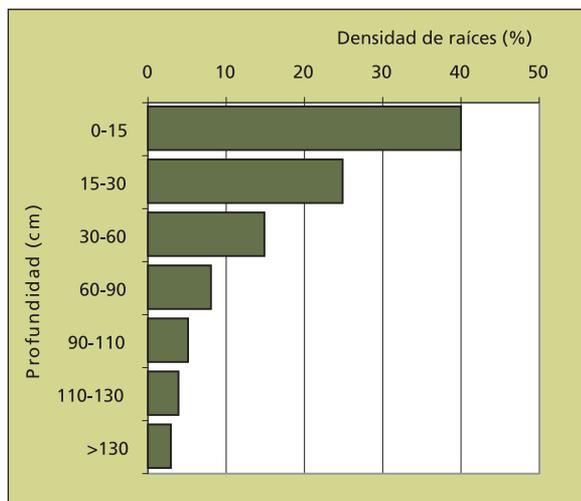


Figura 8: Generalización de la variación de la densidad y biomasa de raíces de caña de azúcar en función de la profundidad del suelo.

superficie y disminuye casi exponencialmente con la profundidad del suelo. Generalmente, entre el 40-50% de la biomasa radicular se ubica en los primeros 30 cm del suelo y alrededor del 80% está en los primeros 50-60 cm. El porcentaje restante de raíces y de manera decreciente, se distribuye en el horizonte hasta el 1,0 y 1,5 m de perfil

Pero, como dijimos anteriormente, el tamaño y la distribución del sistema radicular se ven fuertemente afectados por la distribución y disponibilidad de agua en el suelo. De este modo, el patrón de extracción de agua del suelo sigue en gran medida la distribución de la biomasa radicular.

Esto tiene una fuerte incidencia en el aprovechamiento del agua almacenada en el suelo. Cuando mayor es la densidad radicular, más alta es la capacidad de la caña de azúcar de tomar humedad del perfil ya que la superficie de absorción y el contacto raíces-suelo son mayores. Esto también debe ser tenido en cuenta en el manejo del riego. Aún cuando el contenido hídrico sea uniforme, hay más capacidad de absorber agua en los horizontes superiores por el mayor desarrollo del sistema radicular. Esto se expresa en forma aproximada en la siguiente regla.:

Regla práctica de extracción de agua por las raíces

Si se divide la profundidad de raíces en cua-

tro partes:

- El ¼ superior provee el 40% del agua.
- El segundo ¼ un 30% del agua.
- El tercer ¼ un 20% del agua.
- El último ¼ solo el 10%.

Esto se aplica cuando el suelo fue humedecido en toda su profundidad e indica la variación de la capacidad de aprovechar el agua con la profundidad.

LA NECESIDAD DE AGUA A LO LARGO DEL CICLO DEL CULTIVO

La evapotranspiración, como el mismo término lo expresa, es la suma de pérdidas por evaporación y transpiración. La evaporación directa se produce a partir del suelo y del agua retenida por la vegetación. Esta última se agota rápidamente luego de finalizada la lluvia y la primera es muy alta mientras el suelo está húmedo en superficie y disminuye marcadamente en la medida que los primeros 10 a 15 cm se secan.

La magnitud de la evaporación a partir del suelo está fuertemente determinada por la cobertura, sea esta viva o muerta. Ambas impiden la llegada de la radiación directa al suelo y el transporte turbulento de vapor de agua hacia la atmósfera. En los primeros estadios del cultivo de la caña, cuando la cobertura viva es baja, este tipo de pérdida puede ser muy alta en la medida que el suelo está húmedo y sin cobertura.

En este momento el residuo de la cosecha anterior puede cumplir un papel importante en la reducción de la pérdida de humedad y de la necesidad de agua de riego. Si bien esta cobertura atrasa la brotación pues constituye una barrera para que la radiación directa caliente el suelo, en las experiencias conducidas en Tucumán, en general no se encuentran diferencias en los rendimientos obtenidos a cosecha.

Frente a una misma condición meteorológica y de humedad en el suelo, la transpiración es una función directa de la superficie verde expuesta a la atmósfera. Al mismo tiempo, con el crecimiento del área foliar, decrece la evaporación directa pues el follaje impide que la radiación llegue al suelo y que el viento a nivel de superficie acelere la pérdida de agua.

Cuanto mayor es el desarrollo de la caña de azúcar, mayor es el área foliar expandida y mayor la evapotranspiración.

Las necesidades potenciales (evapotranspiración potencial) de agua de un cultivo pueden ser estimadas a partir de datos meteorológicos y del grado de desarrollo del área foliar. Con los datos meteorológicos se puede calcular la evapotranspiración de referencia (ET_r). Esta estima las pérdidas de agua a partir de un suelo con alta humedad y con un tipo dado de cobertura vegetal.

En cuanto al desarrollo alcanzado por el cultivo, este se expresa en forma de un Coeficiente de Cultivo, que crece con el aumento del área foliar y que multiplicado por la evapotranspiración de referencia, estima la pérdida potencial de un cultivo cualquiera para un período dado (día, semana, etc.) dado a lo largo de su ciclo. Estas estimaciones se hacen generalmente en forma diaria de tal manera que se puede confeccionar un balance hídrico que permite estimar, en base a aportes y pérdidas, el momento de reponer agua por medio del riego. La evolución del coeficiente del cultivo a lo largo del ciclo esta representada en la Tabla 2, allí se puede observar como éste crece hasta alcanzar valores superiores a 1 cuando el desarrollo del canopeo es máximo.

Las necesidades de riego merecen un tratamiento distinto cuando se trata de áreas con capa freática alta como ocurre en la Llanura Deprimida. El aporte de este acuífero puede ser muy importante y está determinado por la profundidad a la que esta se encuentra y por la textura del suelo. La Figura 6 muestra la magnitud del aporte potencial de agua a la zona

radicular en función de la profundidad y la textura. Perfiles arenosos hacen muy poca contribución aún con niveles altos de la capa freática. Por el contrario, suelos de textura franco limoso o franco arenoso fino son muy eficientes en el transporte por ascenso capilar. Esta condición debe ser tenida en cuenta al determinar las necesidades y el momento del riego.

PROGRAMACIÓN DEL RIEGO

La determinación del momento de riego se hace por varios métodos. Se usan balances hídricos llevados en forma diaria, sensores de humedad de suelo de distinto tipo, termómetros infrarrojos que miden temperatura del follaje y dispositivos que miden la turgencia de las hojas, que permiten determinar el grado de estrés hídrico del cultivo, etc. En general se utilizan combinaciones de métodos que se complementan entre sí para un mejor aprovechamiento del recurso hídrico. Dentro de estas combinaciones una de las más usadas consiste en llevar un balance hídrico diario en base a aportes por lluvia y riego y pérdidas por estimación de la evapotranspiración potencial en base al coeficiente del cultivo y la ET de referencia. A esto se lo combina con monitoreos de humedad de suelos en varios puntos dentro de un lote y a dos o tres profundidades dentro de la zona de exploración de raíces. Dichos controles tienden a hacerse más frecuentes a medida que la humedad edáfica estimada por medio del balance hídrico se acerca al umbral de riego establecido.

Tabla 2: Coeficientes para caña de azúcar en cuatro ambientes climáticos distintos.

Coeficientes de Cultivo Para Caña de Azúcar				
	Clima Húmedo		Clima Arido	
	Vientos Moderados	Vientos Fuertes	Vientos Moderados	Vientos Fuertes
Emergencia a canopeo 25%	0.55	0.60	0.40	0.45
Canopeo 25 al 50%	0.80	0.85	0.75	0.80
Canopeo 50 al 75%	0.90	0.95	0.95	1.00
Canopeo 75% a 100%	1.00	1.10	1.10	1.20
Máximo Desarrollo	1.05	1.15	1.25	1.30
Inicio de Maduración	0.85	0.85	0.95	1.05
Maduración	0.60	0.65	0.70	0.75

UMBRALES DE RIEGO

Los umbrales de riego, es decir los contenidos de humedad a los cuales se debe reponer agua por medio del riego para lograr altos rendimientos, dependen de factores tales como la capacidad de la especie o variedad para usar el agua almacenada en el suelo, la densidad de raíces, la sensibilidad del cultivo al estrés hídrico, el estado fenológico, las condiciones climáticas y el tipo de suelo. La caña de azúcar, a diferencia de otras especies, no tiene períodos definidos de máxima sensibilidad al déficit de humedad y la disminución en los rendimientos culturales va a estar en directa relación con la magnitud y duración del período donde la demanda de agua no fue satisfecha.

Cuando el suelo tiene alta humedad, el ritmo de pérdida de agua lo determinan las condiciones climáticas. A medida que el contenido hídrico disminuye, mayor es la dificultad del sistema suelo-planta para sostener la demanda de agua por parte de la atmósfera. Es por ello que el riego debe realizarse mucho antes que la humedad alcance el punto de marchitez. En los climas con baja humedad relativa y alta radiación y velocidad de viento, el umbral de riego se establece a un contenido hídrico mayor que en donde las condiciones son más benignas. En el caso del área cañera de Tucumán, donde la demanda potencial de agua no alcanza valores promedios altos, este umbral debe ser próximo al 40% del agua utilizable en la zona de máxima exploración de raíces (es decir que se debe reponer agua cuando se consumió el 60% del agua útil). Por otro lado, atendiendo a la máxima densidad de raíces, es aconsejable considerar solo los primeros 60 cm de perfil como profundidad de control a los fines de un balance hídrico y monitoreo de humedad del suelo.

RIEGO PERMANENTE Y RIEGO COMPLEMENTARIO

Las áreas con riego permanente son aquellas donde el aporte de las precipitaciones tiene poca importancia en relación a las necesidades de los cultivos. En ellas la programación del riego es mucho más sencilla pues la lluvia, por ser escasa y de ocurrencia aleatoria, no es tomada en cuenta a los fines de la previsión de las necesidades de riego y su programación. La situación es mucho más

compleja donde el aporte de las precipitaciones es importante y el riego es solo complementario.

En el caso del área cañera de Tucumán, en la primera parte de un ciclo que comienza a principios de septiembre y va hasta principios de noviembre según las zonas, el déficit hídrico del cañaveral se manifiesta con mucha frecuencia (frecuencia que crece en duración y magnitud hacia el este del área cañera, con la disminución de las precipitaciones). A los fines de la necesidad de riego, el aporte de las lluvias puede no ser tenido en cuenta en este período, más aún si se considera que el sistema radicular tiene un desarrollo limitado y superficial de tal manera que se necesitan frecuentes reposiciones de humedad (a comienzos de primavera es posible observar caña con evidentes signos de estrés hídrico en suelos donde la humedad es alta a partir de los 30 cm de profundidad).

Luego de esta etapa, la lluvia pasa gradualmente a constituir una parte importante (sino la totalidad del agua) requerida por la caña de azúcar y el riego se torna complementario. A partir de ese momento se pueden presentar en forma aleatoria períodos con déficit hídrico de distinta magnitud y duración. Dadas las características agroecológicas y la infraestructura (red de riego y su manejo) del área por un lado y la aleatoriedad con que se presentan dichos períodos por otro, es muy difícil suplir en tiempo y forma el déficit de humedad en grandes superficies. Para hacerlo se necesitan sistemas de aplicación que permitan poner bajo riego en forma rápida y simultánea grandes superficies (goteo, pivotes, equipos de aspersión) una vez que se alcanzó el umbral preestablecido. Esto puede resultar poco práctico y antieconómico. Por otro lado, el sistema de aplicación de mayor difusión en el área cañera de Tucumán es el riego por surcos, el cual tiene una capacidad operativa limitada. A ello se agrega que cuando ocurren estos períodos de estrés, el requerimiento de riego se generaliza en una vasta área y el agua disponible es siempre insuficiente. Esta situación es característica de zonas de producción de cultivos extensivos y donde el riego es complementario. En el caso particular de la Llanura Deprimida con capa freática alta el aporte de riego durante este período debe ser

muy cuidadoso pues si luego ocurren precipitaciones por encima de las medias, estas pueden producir ascensos extraordinarios del nivel freático y mermas en los rendimientos.

LA APLICACIÓN DEL AGUA DE RIEGO EFICIENCIA Y MÉTODOS

Se entiende por eficiencia global a la relación porcentual entre la cantidad de agua que se almacena en la zona de desarrollo del sistema radicular y la derivada desde la fuente. Esta última puede ser un dique, una toma de agua o una perforación para extraer agua subterránea. La eficiencia global está integrada por componentes tales como eficiencias de conducción externa (fuera del predio) e interna (dentro del predio) y toma en consideración las pérdidas por infiltración, roturas en canales o conductos y por evaporación a lo largo de la red. También forman parte de la eficiencia global la eficiencia de aplicación y de distribución dentro del predio. Respecto de éstas, la de aplicación considera a las pérdidas de agua fuera de la zona de crecimiento de raíces. Estas son:

- Por evaporación directa.
- Por percolación por debajo de la zona de exploración de raíces.
- Por escurrimiento fuera del área regada (colas de riego).

La eficiencia de distribución toma en consideración a la desuniformidad de la profundidad humedecida dentro del predio como producto del riego.

Otro aspecto inherente a los sistemas es la capacidad operativa que hace referencia a la velocidad de avance del riego.

Los sistemas de aplicación son muy diversos. Difieren entre sí en la eficiencia, la capacidad operativa y la inversión necesaria para implementarlos.

El riego por surcos es el sistema de mayor aplicación en el área cañera de Tucumán. Este requiere de la sistematización del predio para lograr mayor eficiencia y capacidad operativa. La sistematización esta basada en los siguientes estudios previos:

Mapa de aptitud de suelos para riego: Este trabajo brinda información en cuanto a la distribución geográfica de distintos tipos de suelo y sus propiedades (infiltración, capacidad de retención de agua, permeabilidad,

drenaje, salinidad, etc.).

Mapa altimétrico del área: Imprescindible para determinar el trazado de la red interna de conducción de agua, la disposición de callejones y la orientación de los surcos. Es también necesario para determinar necesidades de nivelación y cálculo de movimiento de suelos.

Balance hídrico del cultivo y necesidades de agua de riego: En base a la eficiencia global estimada del sistema y los caudales disponibles, permite determinar la magnitud del área a regar y las demandas parciales durante el ciclo del cultivo.

Calidad del agua y balance salino: Este estudio es básico para conocer las necesidades de lavado para mantener la salinidad dentro de los límites tolerados por el cultivo. Sólo cuando se cuenta con esta información se puede lograr una correcta sistematización y así alcanzar eficiencias altas y una mayor superficie regada por unidad de tiempo.

La Figura 9 representa distintos niveles de eficiencia de aplicación (E_a) y de distribución (E_d) en riego por superficie. La profundidad de exploración de las raíces esta representada por la línea de puntos.

En los casos "A" y "D" se alcanza un 100% de E_a puesto que toda el agua que entró a los surcos quedó en la zona de raíces pero la uniformidad es pobre y el estrés aparecerá anticipadamente en los puntos donde el perfil humedecido es menor. Los casos "B" y "E" muestran un humedecimiento más completo de la zona de raíces pero la falta de uniformidad es evidente y hay pérdidas por percolación profunda. En "C" y "F" la reposición de agua de la zona radicular es completa pero tanto la E_a como la E_d son bajas. Los casos "G", "H" e "I" corresponden a sistemas de riego por aspersión donde el agua comienza a infiltrarse simultáneamente en toda la superficie regada. En estos casos es más fácil alcanzar una mayor eficiencia de aplicación. La falta de uniformidad se debe a aportes diferentes dentro de esta superficie como producto del diseño de los aspersores y su distribución, acción del viento y otros.

En riego por superficie donde el agua

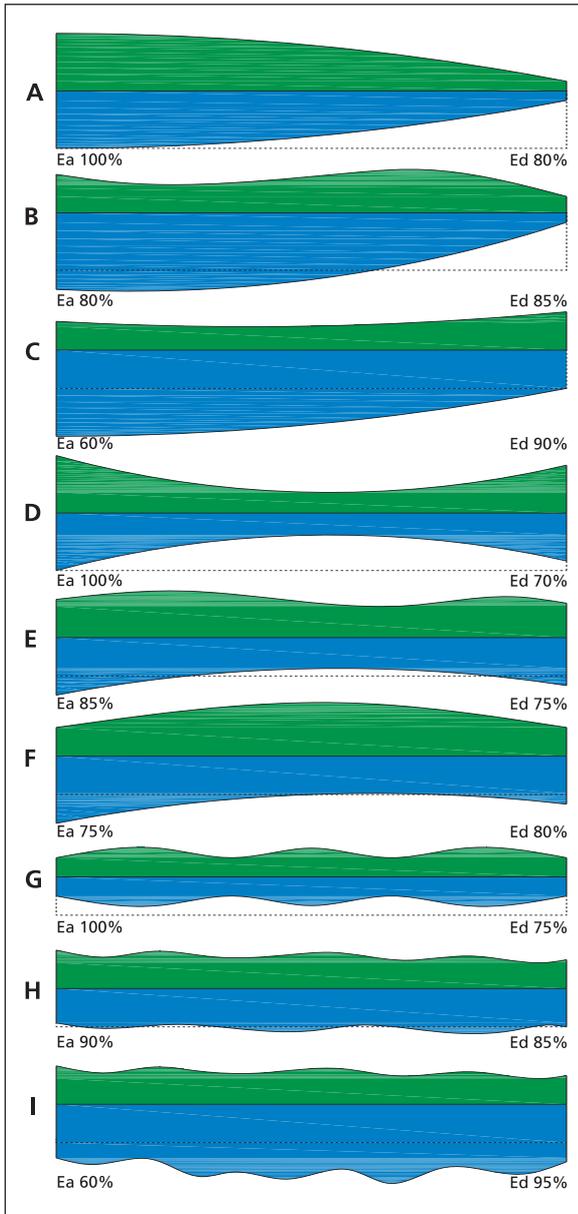


Figura 9: Eficiencia de aplicación (Ea) y Eficiencia de distribución (Ed)

comienza a infiltrar en la medida que el frente de agua avanza (caso de riego por surcos), las eficiencias de aplicación y distribución están relacionadas con numerosas variables que se interaccionan entre sí. Las más importantes son, longitud de los surcos, caudales, lámina a aplicar, velocidad de infiltración, capacidad de

retención de agua útil, rugosidad y cobertura de residuos del surco, y pendiente y uniformidad de ésta a lo largo de los surcos.

El riego por surcos tiene tres etapas. La primera es la *de mojado* que comienza cuando el agua entra al surco y termina cuando llega al final del mismo. La segunda es *de riego* que es la más importante en la reposición de la humedad. La tercera es *de recesión* que comienza cuando se corta el ingreso de agua y finaliza cuando termina la infiltración. La existencia de estas tres etapas demuestra que el agua entra en contacto y permanece sobre el suelo longitudes de tiempo distintas a lo largo del surco. Es por ello que con este sistema es muy difícil alcanzar altas eficiencias. En la práctica, con sistemas bien diseñados, la eficiencia de aplicación no es mayor de un 60% y en nuestras condiciones se estima que son menores al 40%. Una forma de aumentar la eficiencia del riego por surcos es con el riego por pulsos. Por este sistema la duración neta de la primera etapa se reduce al introducir el caudal en forma intermitente lo que hace que el tiempo neto de mojado sea menor. Así se reducen las pérdidas por infiltración profunda en las cabeceras. Esto está representado en la Figura 10.

Los suelos livianos o gruesos tienen alta velocidad de infiltración y baja capacidad de retención de agua. En ellos los surcos deben ser cortos para evitar grandes pérdidas por percolación profunda en las cabeceras. Al mismo tiempo la velocidad del agua, vinculada a la relación caudal-pendiente, no puede ser alta por la susceptibilidad a la erosión.

Los suelos medios y pesados, con contenidos de arcilla mayores a 25%, presentan, en general baja velocidad de infiltración, alta capacidad de retención de agua y una menor susceptibilidad a la erosión. En ellos se pueden diseñar surcos de mayor longitud y permiten una mayor velocidad del agua en el surco, ajustando el caudal a la pendiente de diseño. Entre estos dos grupos de suelos existe una gran variedad de situaciones que es necesario estudiar a fin de lograr mejorar tanto la eficiencia como la capacidad operativa y el control de la erosión.

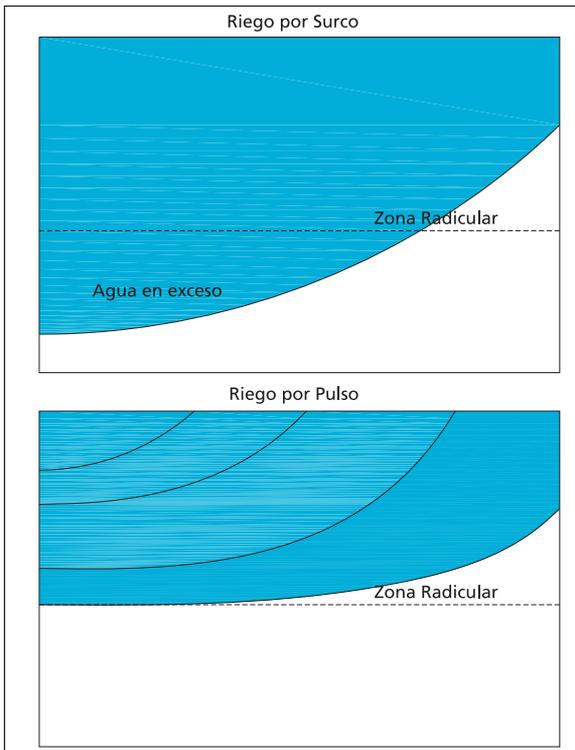


Figura 10: Diferencias entre los perfiles humedecidos por el riego por surcos común y el riego por pulsos.

EL RIEGO COMO PRÁCTICA AGRONÓMICA EN EL ÁREA CAÑERA DE TUCUMÁN

En un área cañera como la de Tucumán, donde el riego es considerado complementa-

rio, existe la tendencia a priorizar otras tareas agronómicas. La cosecha y cultivo pasan a tener una importancia relevante en el diseño del cañaveral, en la orientación y longitud de los surcos y esto va en detrimento de la capacidad operativa y la eficiencia del riego. Un buen diseño debe conciliar los requerimientos de todas las labores y esto es perfectamente posible en gran parte del área cañera. Los surcos no necesariamente tienen que ser rectos y para disminuir su longitud a los fines del riego, se pueden trazar callejones angostos que tienen como única finalidad conducir agua. Las situaciones más difíciles se dan en la Llanura Deprimida donde en algunos sectores se combinan un mesorelieve ondulado y suelos con textura contrastante en los que en pocas decenas de metros se pasa de suelos arenosos a otro francos arcillosos. A este problema se agrega el nivel freático ya elevado o su ascenso por efectos del riego, hasta la zona de crecimiento de las raíces, creando condiciones de asfixia radicular.

Por otro lado, el piedemonte presenta por sectores, pendientes pronunciadas y complejas. En estas situaciones es posible lograr eficiencias aceptables en riego por surco, pero esto se hace a costa de grandes pérdidas de terreno (surcos cortos y más callejones), mayor demanda de mano de obra y a dificultades operativas en otras tareas (falta de continuidad entre tablones).