

# Riegos

Jorge Torres Aguas\*

## Introducción

El riego de la caña de azúcar es una práctica rutinaria en el valle geográfico del río Cauca y cerca del 95% del área cultivada recibe riego suplementario. En la región, la precipitación anual varía entre 800 y 2600 mm y su promedio es de 1000 mm. Durante el año se presentan dos períodos de lluvias que comprenden desde marzo hasta mayo y desde octubre hasta noviembre. La topografía es plana, con pendientes inferiores a 1.5%. Durante los últimos años, el área cultivada con caña se ha incrementado en más de 20,000 ha y en la actualidad se estima que existen 185,000 ha de este cultivo. Este aumento en el área cultivada ha hecho que el cultivo se desplace hacia zonas de piedemonte de la Cordillera Central y a regiones con pendientes limitantes para la aplicación de riego por gravedad o aspersión.

La disponibilidad de agua para riego ha disminuido en forma notable durante los últimos años, debido a cambios en la cantidad y en la frecuencia de las lluvias, ocasionados por la tala incontrolada de los bosques en las cuencas hidrográficas y por la explotación excesiva de los acuíferos superficiales. En años con precipitación normal, es común encontrar niveles freáticos superficiales con agua de buena calidad que pueden suministrar entre 40% y 50% de los requerimientos del cultivo. Por consiguiente, es importante manejar estos niveles como una fuente de agua para subirrigación.

La información aquí presentada es resultado de las investigaciones cooperativas adelantadas por CENICAÑA y los ingenios azucareros, las cuales han generado una serie de alternativas prácticas que permiten mejorar el manejo del agua y sirven como base para la programación de los riegos por medio del balance hídrico.

## El Agua en el Suelo

El suelo está integrado por una serie de partículas que varían en tamaño y proporción, dando origen a texturas entre arenosas y arcillosas pasando por los suelos francos. Las partículas del suelo —arenas, limos y arcillas— se agrupan formando agregados, dentro de los cuales existen espacios vacíos que almacenan el agua y los gases. Así, el suelo se puede considerar como un reservorio de donde las plantas toman el agua necesaria para los procesos de transpiración y para el transporte de los nutrimentos del suelo a los tejidos.

---

\* Ph.D., Director del Programa de Agronomía de CENICAÑA.

La capacidad de almacenamiento de agua en el suelo varía con la textura y la estructura. Los suelos arenosos poseen poros grandes, pero el volumen total de éstos es pequeño, dando como resultado una baja capacidad del almacenamiento. En estos suelos es necesario aplicar riegos frecuentes en los períodos secos para evitar que los cultivos sufran por déficit de agua. Por otra parte, los suelos arcillosos, que son comunes en el valle geográfico del río Cauca, poseen hasta 60% de arcillas expandibles de tipo 2:1. Las arcillas son partículas laminares pequeñas de poco peso y de una gran área superficial. Los suelos arcillosos tienen poros pequeños y su volumen total es alto, lo cual les permite una alta capacidad de almacenamiento de humedad; por lo tanto, en estos suelos, la necesidad de riegos es menos frecuente. Los suelos francos poseen características intermedias entre los arenosos y los arcillosos, que les dan ventajas desde el punto de vista de almacenamiento y disponibilidad de agua para los cultivos.

El agua disponible para las plantas depende, principalmente, de la fuerza con la cual el suelo retiene la humedad. Cuando el suelo tiene un bajo contenido de humedad, el agua se encuentra formando películas delgadas alrededor de las partículas, las cuales la retienen con tanta fuerza que las plantas no pueden extraerla; en consecuencia, éstas mueren por marchitamiento. En este momento, se dice que el contenido de humedad en el suelo corresponde al punto de marchitamiento permanente (PMP). Asimismo, cuando todos los poros se llenan con agua, se dice que el suelo está saturado y esto ocurre durante un período relativamente corto después de una lluvia fuerte o riego. Existe una fracción de los poros en el suelo que se denomina macroporos, en la cual el agua no es retenida y se pierde por gravedad. En este momento aparece el valor definido como capacidad de campo (CC), que corresponde al agua retenida en los microporos del suelo por las fuerzas de cohesión entre las moléculas de agua y por adhesión de éstas con las partículas del suelo. Este mecanismo da origen a superficies curvas o “meniscos de agua”, cuyo radio de curvatura está en proporción inversa con la magnitud de la fuerza de retención de la humedad.

La textura del suelo afecta las características de retención de la humedad; así, por ejemplo, a una misma magnitud de las fuerzas de retención de humedad, los suelos arcillosos retienen más agua que los arenosos. La cantidad de agua retenida por el suelo entre los valores de capacidad de campo y punto de marchitamiento se conoce como “Agua Aprovechable” para las plantas. Sin embargo, los cultivos tienen diferente capacidad para extraer la humedad del suelo y algunos de ellos toleran valores de humedad próximos al punto de marchitamiento permanente, reduciendo su producción o la calidad de la cosecha. En consecuencia, es necesario definir el nivel de agotamiento de la humedad en el suelo para cada región y tipo de cultivo. En general, para el manejo de cultivos comerciales anuales y perennes se toma como nivel de agotamiento el 50% del agua aprovechable.

Las características hídricas de los suelos más importantes del valle geográfico del río Cauca se presentan en el Cuadro 1. Estos valores se han obtenido en más de 50 perfiles de suelos en donde CENICAÑA ha realizado investigaciones sobre el manejo del agua. Los suelos de la región son, en general, superficiales,

Cuadro 1. Lámina de agua rápidamente aprovechable en las series de suelos más importantes del valle geográfico del río Cauca, Colombia.

Orden de suelo	Serie de suelo	Textura	D.A. (g/cm <sup>3</sup> )	Lámina de agua (mm/cm)	Marcas del Cenitrómetro	
					EVc1 = 3.7xLARA <sub>1</sub> (cm)	EVc2 = 1.6xLARA <sub>2</sub> (cm)
Alfisol	Argelia (Vertic Haplustoll)	Far - Ar	1.3 - 1.4	0.5 - 0.6	13	7
Mollisol	Florida (Entic Haplustoll)	Far - A	1.3 - 1.5	0.5 - 0.7	13	8
Mollisol	Manuelita (Pachic Haplustoll)	FArA - Fa	1.2 - 1.6	0.5 - 1.0	17	10
Mollisol	Río Cauca (Fluventic Haplustoll)	FL - Ar	1.2 - 1.5	0.6 - 1.0	18	10
Mollisol	Palmira (Pachic Haplustoll)	F - Ar	1.2 - 1.6	0.5 - 0.8	15	8
Inceptisol	Palmeras (Vertic Eutropept)	F - Ar	1.1 - 1.5	0.6 - 0.8	16	9
Inceptisol	Bengala (Vertic Eutropept)	F - Ar	1.2 - 1.5	0.5 - 1.0	17	10
Inceptisol	Puerto Tejada (Vertic Tropaquept)	F - FAr	1.3 - 1.7	0.5 - 0.8	14	8
Vertisol	Herradura (Udic Pellustert)	Ar - FArL	1.3 - 1.5	0.5 - 0.7	13	8

de origen aluvial, de alta fertilidad y con buenas propiedades físicas. En su mayoría son de textura media a fina, con estructura bien desarrollada en forma de bloques subangulares. El rango del agua aprovechable en estos suelos es estrecho y su capacidad de retención de humedad varía entre 1 y 2 mm de agua por cada centímetro de profundidad.

En las evaluaciones de campo se ha encontrado que en los primeros 40 cm del suelo superficial se concentra entre 85% y 92% del sistema radical de la caña; por lo tanto, para calcular el agua aprovechable que se almacena en el perfil del suelo se puede asumir una profundidad radical de 60 cm durante 2 a 4 meses del período inicial de desarrollo, y de 80 cm para el período de desarrollo restante. La aplicación de los riegos suplementarios depende de la precipitación y se pueden programar cuando se haya consumido entre 50% y 60% del agua aprovechable.

## **Requerimientos de Riego**

El consumo total de agua de la caña de azúcar en los diferentes países varía en forma amplia, debido a las diferencias en los ciclos de cultivo. Por lo general, este consumo oscila entre 1200 y 1500 mm por año de cultivo, siendo mayor en las zonas subtropicales que se caracterizan por épocas secas más prolongadas y por una evaporación mayor que en las zonas tropicales.

La evapotranspiración o consumo diario de agua por la planta, equivale al agua que se pierde por evaporación directa desde la superficie del suelo más el agua que se pierde por transpiración a través del tejido foliar. La evapotranspiración es afectada por factores del suelo, la planta y el clima. Cuando el contenido de humedad en el suelo es alto, las plantas pueden transpirar a su máxima capacidad y en este momento la evapotranspiración es potencial (ETP). A nivel mundial se han registrado valores de ETP que varían desde 3.7 mm/día en Colombia hasta 15.7 mm/día en Ayr (Australia). En el valle geográfico del río Cauca, ubicado en la zona tropical a 3° de latitud norte y a 1000 m.s.n.m., las fluctuaciones mensuales de temperatura, brillo solar y evaporación son pequeñas, mientras que en las zonas subtropicales de Argentina, Suráfrica y Australia, la caña se cultiva en áreas próximas al nivel del mar en donde la temperatura en el verano es alta y, por consiguiente, la evaporación es mayor (entre 7 y 15.7 mm/día).

En condiciones normales de campo, la humedad en el suelo es variable y puede disminuir hasta niveles intermedios entre la capacidad de campo y el punto de marchitamiento. En este caso, las plantas transpiran a una tasa inferior a la potencial, conocida como Evapotranspiración actual (ETA).

En suelos de textura fina y bajo condiciones húmedas, la evaporación desde la superficie del suelo puede ser alta antes del cierre del cultivo. Posteriormente, cuando la cobertura foliar es de 100%, la evapotranspiración se mantiene muy próxima a la evaporación de una superficie de agua libre; en este momento, la evaporación desde el suelo es mínima y el cultivo pierde agua por transpiración. En las condiciones del valle geográfico del río Cauca, se han encontrado valores

## Riegos

de ETa de 2.1 mm/día en el período de macollamiento de la caña (2 a 4 meses) y de 3.1 mm/día en el período de rápido crecimiento (4 a 10 meses). En el Cuadro 2 se resumen la información hídrica y de las cosechas de la plantilla y dos socas de la variedad CP 57-603, obtenidas por CENICAÑA en un experimento de evapotranspiración realizado en lisímetros de percolación. Los requerimientos de agua de la caña de azúcar en el valle geográfico del río Cauca por ciclo de cultivo de 13 meses, oscilan entre 1000 y 1250 mm.

En la región se ha encontrado una relación directa entre la ETa y la Ev (Evaporación) (Figura 1), lo cual permite calcular la primera a partir de la evaporación medida en un tanque de evaporación clase A. Una vez estimado el valor de la ETa se puede, fácilmente, implementar la programación de los riegos por el método del balance hídrico. Los ensayos sobre requerimientos de agua han permitido estimar los siguientes factores de corrección para la evaporación del tanque:  $K = 0.3$  para el período de macollamiento (2 a 4 meses), y  $K = 0.7$  para el período de rápido crecimiento (4 a 10 meses).

Cuando la siembra de la caña se realiza en épocas secas, los riegos durante el período de germinación se hacen por aspersión y, en algunos casos, por gravedad. Después de la germinación y hasta 10 meses de edad se aplican entre dos y seis riegos. A partir de esta edad se recomienda suspender los riegos para las variedades que se cosechan entre 12 y 13 meses. En los suelos del valle

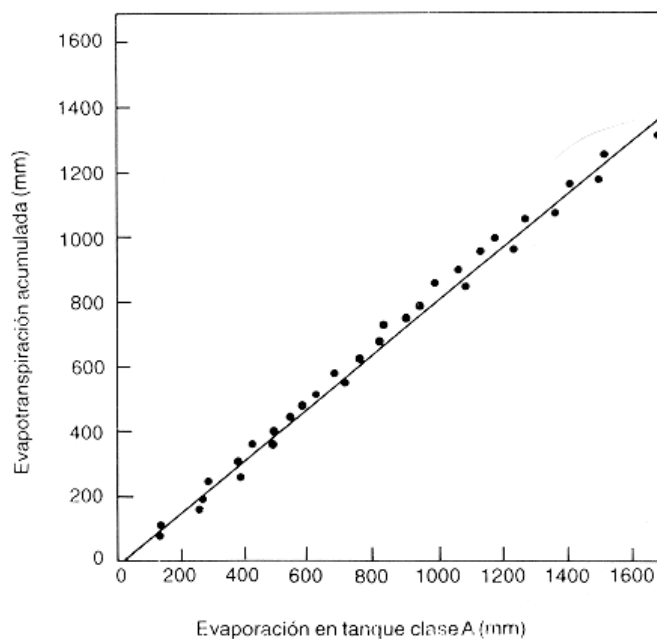


Figura 1. Relación entre la evapotranspiración de la caña y la evaporación en tanque clase A. CENICAÑA.

Cuadro 2. Información hídrica y de cosecha de caña de azúcar variedad CP 57-603 en estudios de evapotranspiración. Valle geográfico del río Cauca, Colombia.

Parámetro	0.3			0.6			0.9			1.2		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<b>Hídricos:</b>												
No. de riegos	5	1	2	8	4	4	9	9	9	16	15	14
Agua aplicada (mm)	285	70	100	456	280	240	513	630	590	913	1050	940
Precipitación (mm)	928	1077	1320	928	1077	1320	928	1077	1320	928	1077	1320
Percolación (mm)	81	134	647	183	147	552	406	361	906	597	706	945
Agua recibida (mm)	1132	1013	773	1201	1210	1008	1035	1346	1004	1244	1421	1315
Evaporación (mm)	1444	1580	1683	1444	1580	1683	1444	1580	1683	1444	1580	1683
Factor estimado para el tanque	0.78	0.64	0.46	0.83	0.76	0.60	0.72	0.85	0.60	0.86	0.84	0.78
<b>De cosecha:</b>												
Tallos (x10,000/ha)	73	77	70	62	82	63	91	91	83	90	79	93
Long. tallos (cm)	298	233	273	302	202	280	304	302	276	314	324	283
Producción (t/ha)	211	141	146	164	175	123	221	223	175	237	201	161
ARE (%)	11.71	12.64	10.85	11.42	12.64	12.70	11.60	12.64	11.32	11.04	12.64	10.90
Azúcar (t/ha)	24.71	17.82	15.84	18.73	22.16	15.56	25.66	28.17	19.81	26.16	25.41	17.54

geográfico del río Cauca es común encontrar niveles freáticos superficiales que pueden suministrar hasta 60% de los requerimientos de agua. En el campo es posible controlar la posición del nivel freático entre 1.0 y 1.2 m, sin reducir la producción de caña. Estudios en zonas con nivel freático alto, indican que es posible reducir el valor de K de 0.7 a 0.5 en el período de rápido crecimiento del cultivo, debido al aporte de agua de subirrigación a partir del nivel freático.

## Fuentes de Agua

El agua para riego de la caña de azúcar proviene principalmente de fuentes superficiales y subterráneas. Las primeras están formadas por ríos y quebradas cuyo caudal base disminuye considerablemente durante los períodos secos, siendo necesario recurrir a fuentes más confiables como el agua subterránea. Ultimamente, algunos ingenios azucareros de la parte norte del valle geográfico del río Cauca —donde los acuíferos son menos abundantes y profundos que en la parte central y sur— usan para el riego de las plantaciones el agua del río Cauca que mantiene un caudal base entre 80 y 120 m<sup>3</sup>/seg, registrado entre los sitios Juanchito y Riopaila. Esta agua, desde el punto de vista químico, es de buena calidad, pero desde el punto de vista físico puede presentar problemas por la alta carga de sedimentos y materia orgánica.

### Unidades litológicas

De acuerdo con Tenjo<sup>1</sup>, en los suelos de la región se pueden diferenciar tres unidades litológicas (Figura 2), cuyas características principales se describen a continuación.

**Unidad A.** El promedio del espesor es de 110 m en el sur y de 50 m en el norte del valle geográfico del río Cauca. En la superficie de esta unidad predominan las capas de arcilla y limo. En la parte inferior se encuentran capas permeables de arena y grava, intercaladas con limo y arcilla. Los acuíferos presentes pueden ser libres, semiconfinados y confinados. Esta unidad se explota actualmente en forma intensa y su rendimiento en los últimos años cada vez es menor.

**Unidad B.** El promedio de su espesor es de 80 m y funciona como un estrato que confina los acuíferos presentes en la Unidad C que está a mayor profundidad. Se caracteriza por sedimentos de arcilla y limo con presencia de arena y grava. Esta formación se encuentra, principalmente en el sur, desde Puerto Tejada hasta Buga, aunque también aparece en la zona de Zarzal con sedimentos de mayor permeabilidad.

**Unidad C.** Se encuentra en la parte sur. Situada a profundidades mayores de 190 m, está formada por sedimentos permeables de arena y grava intercalados en una proporción casi igual con arcilla y limo. Aparentemente es el acuífero más rico y su explotación se inició recientemente.

---

1. Tenjo, S. 1991. Curso sobre explotación, aprovechamiento y manejo del agua subterránea. Corporación Autónoma del Valle del Cauca (CVC).

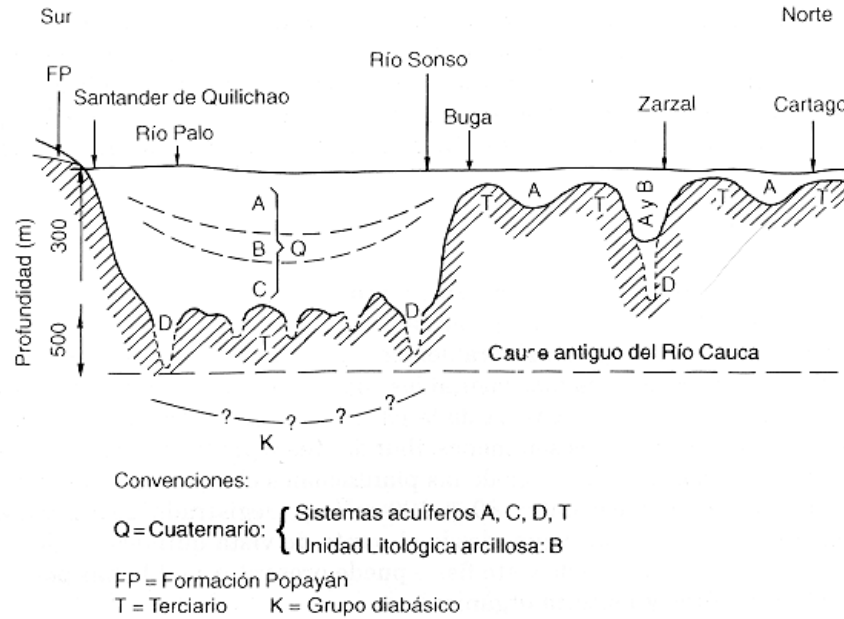


Figura 2. Esquema longitudinal de la hidrología del Valle geográfico del río Cauca, Colombia.  
FUENTE: Tenjo, S. 1991. Curso sobre explotación, aprovechamiento y manejo del agua subterránea. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC).

Entre 1973 y 1990, en la región se perforaron 1918 pozos; de éstos, 1700 están en operación con una capacidad de producción de 114 m<sup>3</sup>/seg. Tienen caudales entre 120 y 200 lt/seg en la zona sur y de 20 a 100 lt/seg en el norte. Los pozos perforados entre Santander de Quilichao y el río Sonso, con profundidades superiores a los 40 m, proporcionan agua de buena calidad química y bacteriológica, debido a que las aguas subterráneas en esta zona son ricas en calcio y magnesio, elementos que provienen de las rocas diabásicas de la Cordillera Central. Las zonas localizadas en la planicie de inundación del río Cauca presentan altos contenidos de sulfatos, y a lo largo de los ríos Párraga y Amaime el sodio se encuentra en altas cantidades.

Durante 1990 se regaron 90,000 ha de cultivos, de las cuales 84,000 correspondieron a caña de azúcar; para el efecto se emplearon, aproximadamente, 1089 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Entre 1976 y 1990, la demanda de agua superficial aumentó en forma constante de 102 a 150 m<sup>3</sup>/seg y durante el mismo período el consumo de agua subterránea aumentó de 53 a 114 m<sup>3</sup>/seg. Los pozos de agua para riego operan, en promedio, durante 3400 horas/año, lo cual resulta en una extracción

## *Riegos*

de agua por pozo y por año de  $1.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ , con caudales de 114 lt/seg. No obstante, el suministro de agua está garantizado sin llegar a la explotación excesiva de los acuíferos, ya que la recarga anual de éstos en la región es del orden de  $3400 \times 10^6 \text{ m}^3$ , siendo superior al volumen extraído ( $1000 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ ). Una excepción la constituye el área entre los ríos Desbaratado y Párraga, donde existen 697 pozos que extraen cerca del 40% del agua subterránea. En esta área, el bombeo excesivo y la gran concentración de pozos han ocasionado una sobreexplotación del agua subterránea.

## **Manejo del Agua**

En las regiones semiáridas, el riego es indispensable para asegurar un buen desarrollo y producción de la planta, mientras que en las zonas húmedas se utiliza en los períodos secos para evitar el estrés que pueda presentar el cultivo. El riego es costoso y su aplicación requiere de personal calificado; por lo tanto, en la selección del sistema se debe tener en cuenta el tipo de suelo, la velocidad de infiltración, la profundidad radical, la topografía y la disponibilidad de agua y de mano de obra.

La eficiencia de aplicación del riego por aspersión puede llegar a 85%, pero tiene un alto costo inicial debido a los sistemas de distribución y aplicación, al costo de la mano de obra y al mantenimiento de los equipos. De otra parte, el riego superficial demanda menos costo de instalación, pero su eficiencia en el valle geográfico del río Cauca varía entre 30% y 50%.

Las fuentes de agua para riego son arroyos, lagos, ríos y en un alto porcentaje el agua subterránea. Una práctica común es construir reservorios para almacenar el agua superficial y la extraída de los pozos durante la noche. Este sistema permite disponer del caudal almacenado más el agua obtenida de la fuente superficial y por el bombeo directo realizado durante el día; de esta manera, se logra regar una mayor área de cultivo. El agua se deriva de las fuentes superficiales en forma directa por gravedad o por bombeo, y se conduce a los campos mediante canales superficiales con capacidad de 300 a 1200 lt/seg. En la parte más alta de los campos se construyen acequias regadoras donde se instalan motobombas para los equipos de riego por aspersión.

El agua para el riego por gravedad se entrega a los surcos por medio de cortes o boquetes abiertos en las paredes del canal. Para la entrega de un caudal regulado a cada uno de los surcos se recomienda el uso de sifones o tubos cortos. Las acequias de riego son secciones triangulares construidas en el suelo con una capacidad de conducción entre 100 y 120 lt/seg. Una diferencia de nivel de 5 a 10 cm entre el agua de la acequia y la cabecera del surco permite derivar entre 2 y 6 lt/seg, con el uso de sifones de 5 a 10 cm de diámetro. La longitud de los surcos depende de la pendiente del campo, la velocidad de infiltración, el caudal aplicado en cada surco y el tiempo de avance del agua.

Los suelos del valle geográfico del río Cauca presentan, en su mayoría, una alta velocidad de infiltración y los surcos de riego varían entre 120 y 150 m.

Cuando la velocidad de infiltración es alta (superior a 30 mm/hora) es necesario construir surcos más cortos con caudales de 4 a 6 lt/seg para reducir las pérdidas de agua por percolación. En campos con velocidades de infiltración de media a baja (10 a 30 mm/hora), el caudal aplicado por surco debe ser menor (4 a 6 lt/seg) y los surcos deben ser más largos para lograr un mayor tiempo de contacto del agua con el suelo. En suelos muy compactados o con mala estructura, la velocidad de infiltración puede ser inferior a 5 mm/hora, siendo necesario aplicar riegos con caudales pequeños (20 a 30 lt/hora por surco). En este último caso, los surcos deben ser cortos, ya que el agua avanza como un frente de humedecimiento debido a la diferencia de potenciales hídricos y el tiempo de riego dura más de 3 días, para lo cual se requiere la distribución del agua al campo por medio de tubería de baja presión (< 2 a 3 m) en la captación. De manera experimental se está probando con buenos resultados el uso de caudales pequeños (30 lt/hora por surco) en suelos con velocidades de infiltración menores de 5 mm/hora.

En el valle geográfico del río Cauca, el riego se aplica únicamente durante la fase de avance, cortando el agua antes de que el frente de avance llegue al final del surco. Esta forma de riego permite reducir las pérdidas por percolación profunda, aunque se sacrifica, en parte, la uniformidad en la aplicación del agua. En los campos comerciales, el efecto de la baja eficiencia en la aplicación de riego no se refleja en el desarrollo y producción de la caña, debido a que el riego requerido es suplementario y las lluvias pueden compensar la baja uniformidad en la aplicación a lo largo del surco.

En general, la eficiencia de aplicación de riego por surcos es menor de 50%. Una modificación al sistema de aplicación del agua a los surcos, probada en formas experimental y comercial, consiste en la aplicación alterna, lo cual no reduce la producción de caña y de azúcar, pero sí aumenta la eficiencia de aplicación y de la mano de obra de 1.2 a 2.5 ha en 12 horas de labor. En un Inceptisol del Valle del Cauca, se comparó la aplicación de volúmenes de agua en tres eventos de riego de plantilla y se encontró una mayor economía en el uso del agua al regar por surcos alternos. Durante el primer riego no se encontraron diferencias en el volumen de agua aplicado por riego continuo y por surco alterno, pero a partir del segundo y tercer riego se observaron economías al aplicar 10% y 46% menos de agua (Cuadro 3). Lo anterior se explica porque el suelo durante el período inicial de desarrollo de la plantilla se encuentra por lo general perturbado, como resultado de las prácticas intensivas de preparación para siembra. Después del primer riego ocurre un proceso de compactación natural que reduce la velocidad de infiltración y hace posible el uso del riego por surcos alternos.

**Cuadro 3. Economía de agua (%) con la aplicación del riego por surcos alternos en relación con la aplicación por surcos continuos.**

Riego no.	Plantilla	Primera soca	Segunda soca
1	- 1	+ 41	+ 31
2	+ 10	+ 37	+ 48
3	+ 46	+ 33	—

El manejo comercial del agua que se aplica en riegos por surcos alternos es similar al manejo cuando se aplica en surcos continuos. Sin embargo, se ha observado que el tiempo de avance puede aumentar hasta en 30% cuando se aplica el mismo caudal por surco. Si se tienen tiempos de avance muy largos, es posible incrementar entre 1 y 2 lt/seg el caudal por surco. La eficiencia que normalmente se alcanza con el riego por surcos alternos es de 60% a 70%, mientras que con el riego por surco continuo es de 30% a 40%.

El riego por goteo es un sistema popular en aquellas regiones donde la disponibilidad de agua y de mano de obra son bajas y consiste en la aplicación de agua en forma frecuente y de manera lenta en la zona radical de las plantas. En 1979, se inició en Hawaii el riego de la caña por goteo y actualmente cubre casi el 100% del área cultivada. El principal objetivo del sistema es proporcionar un nivel de humedad óptimo y constante que garantice un buen desarrollo del cultivo.

Entre las ventajas del riego por goteo se pueden mencionar: requiere baja presión, permite el ahorro de energía, requiere bajos caudales de agua, tiene alta eficiencia de aplicación (> 90%), permite el ahorro en mano de obra y agua, la fertilización conjunta con el riego ("fertigación") reduce la presencia de malezas, permite el cultivo en suelos marginales de baja fertilidad y baja capacidad de retención de agua. Entre las desventajas de este sistema se encuentran: los altos costos y requerimientos de mantenimiento, requiere fuentes de agua de alta calidad física y química para evitar la obstrucción de los goteros, la alta posibilidad de acumulación de sales en el suelo, y la imposibilidad de humedecer el tejido foliar. El riego por goteo se adapta bien a cultivos dispuestos en hileras pero, en muchos casos, la alta inversión que demanda su instalación no lo hace viable.

## **Programación de los Riegos**

La programación de los riegos en el cultivo de la caña de azúcar se hace, por lo general, de manera empírica y casi siempre sin tener en cuenta la relación suelo-agua-planta. Lo anterior conlleva el riesgo de aplicar un número excesivo de riegos o de someter el cultivo a períodos de déficit de agua, que pueden afectar la producción y la calidad de la caña.

La planta es un buen indicador fisiológico del momento oportuno para la aplicación del riego. Así, la apertura de los estomas, la temperatura de las hojas, el potencial del agua en el tejido foliar, el índice de humedad de Clements y la apariencia del cultivo, se toman como índices para programar los riegos. No obstante, los métodos más conocidos consisten en: la apreciación al tacto de la humedad en el suelo, las determinaciones gravimétricas, las mediciones del potencial mátrico usando tensiómetros, el uso de bloques de resistencia eléctrica (celdas de nylon) y sonda de neutrones, aunque actualmente se usan nuevos equipos como el TDR (Time Domain Reflectometer), el FDM (Frequency Domain Meter) y los tensiómetros de estado sólido. El empleo de los anteriores métodos requiere la lectura periódica de los parámetros de evaluación y, en algunos casos, es necesario utilizar equipos especializados y costosos, lo cual hace su empleo en el campo poco atractivo.

En un principio la programación de los riegos en el cultivo de la caña de azúcar a nivel mundial se hacía con base en determinaciones gravimétricas, lecturas de tensiómetros y bloques de yeso, pero últimamente los requerimientos de riego se estiman a partir de la evaporación del tanque Clase A. En este método, se considera que los factores climáticos que afectan la evaporación del agua de una superficie de agua libre, son los mismos que controlan la transpiración de agua desde la superficie de las hojas; por lo tanto, la evaporación del tanque Clase A es un buen estimativo de la evapotranspiración (ETa) de la caña, y ha sido utilizada con éxito en Hawaii, Suráfrica, Taiwan y Colombia.

La evaporación medida en el tanque Clase A se convierte en evapotranspiración al multiplicarla por un factor K de corrección, que depende de la edad del cultivo y de las condiciones del suelo. CENICANA ha encontrado que en el Valle del Cauca, durante el período de macollamiento de la planta (2 a 4 meses) se puede usar un valor  $K = 0.3$ , y durante en el período de rápido crecimiento (4 a 10 meses) este valor puede ser  $K = 0.7$ . En este último período, el valor de K se puede reducir a 0.5 cuando el nivel freático es alto (entre 1.0 y 1.2 m) para compensar, de esta forma, el aporte del agua capilar. Durante el período de maduración de la caña se recomienda suprimir los riegos.

El manejo adecuado del agua para riegos exige la determinación de la cantidad de agua necesaria y de la frecuencia de aplicación de éstos. En los últimos años ha sido común el uso de métodos micrometeorológicos para estimar la evaporación la cual, a su vez, es una ayuda valiosa para la programación de los riegos por medio del balance hídrico. Este método es sencillo, económico y tiene una precisión aceptable.

## **Balance Hídrico**

El balance hídrico es similar a una contabilidad del agua en el suelo que permite comparar las ganancias y las pérdidas de humedad. El suelo aumenta el contenido de humedad cuando ocurre un evento de precipitación (P) o cuando se le aplica riego (R). En el campo también ocurren ganancias de humedad por contribución del nivel freático (NF), escorrentía (Es) o por flujo subsuperficial desde áreas cercanas. Las pérdidas de humedad desde el suelo se deben, principalmente, al agua que transpira la planta (Tr), a las pérdidas por evaporación desde la superficie del suelo (Ev) y por percolación profunda (Pp). El balance entre las ganancias y las pérdidas de humedad determina los cambios en el contenido de ésta en el suelo (CHS) durante un período de tiempo determinado.

Este balance se puede expresar de la forma siguiente:

$$\text{CHS} = (P + R + \text{NF}) - (\text{Ev} + \text{Tr} + \text{Pp}) \quad (1)$$

$$\text{CHS} = P + R + \text{NF} - \text{Eta} - \text{Pp} \quad (2)$$

En zonas con nivel freático profundo y asumiendo que no existe percolación profunda, la ecuación (2) se puede simplificar a la forma siguiente:

$$CHS = P + R - ETa \quad (3)$$

El contenido de humedad en el suelo y los demás parámetros de la ecuación del balance hídrico se expresan, generalmente, en términos de lámina de agua. Esta se define como la profundidad que alcanzaría la capa de agua cuando un volumen dado de ésta se coloca en una superficie impermeable. Así, al colocar un litro de agua en  $1 \text{ m}^2$  se obtendrá una lámina de agua de 1 mm de profundidad, lo que es equivalente a  $10 \text{ m}^3$  de agua por hectárea.

El cambio que ocurre en el contenido de humedad en el suelo durante un período determinado, se puede estimar a partir de los contenidos de humedad inicial  $LAS(i)$  y final  $LAS(f)$ , expresados como láminas de agua en milímetros, así:

$$CHS = LAS(f) - LAS(i) \quad (4)$$

$$LAS(f) = LAS(i) + P + R - ETa \quad (5)$$

**Cálculo del balance hídrico diario/semanal.** El cálculo del balance hídrico se hace en forma diaria, semanal o mensual. El balance diario se puede determinar con la ecuación (5), en donde la lámina de agua disponible en el suelo para el día siguiente  $LAS(f)$  se calcula diariamente restando de  $LAS(i)$  la evapotranspiración y sumando la precipitación o el riego aplicado. De esta manera, el cálculo se repite hasta cuando la lámina de agua aprovechable se aproxime a cero, siendo entonces necesario aplicar riego. En el Cuadro 4 se presenta, a manera de ilustración, un ejemplo de cálculo del balance hídrico diario.

El programa de balance hídrico permite conocer en forma aproximada el agua aprovechable en el suelo para cada una de las suertes o lotes de caña, establecer prioridades de riego por tipo de cultivo según su edad y la clase de suelo, y programar los riegos con una semana de anticipación. Si ocurren lluvias durante este período, es necesario reprogramar los riegos. En un programa de balance hídrico manual o sistematizado, es necesario hacer ajustes periódicos con base en la determinación de la humedad en el suelo.

## Programación con Pozos de Observación

La ecuación general del balance hídrico incluye el aporte de agua capilar a partir de un nivel freático localizado entre 1.0 y 1.2 m de profundidad. Al eliminar las pérdidas por percolación profunda en la ecuación (1), se obtiene una relación que permite conocer el aporte de agua capilar a partir del nivel freático (NF):

$$NF = CHS - P - R + ETa \quad (6)$$

La posición del nivel freático depende de las condiciones locales que determinan el balance hídrico; por lo tanto, se sugiere construir pozos que permitan observar dicha posición durante el desarrollo del cultivo y, de esta forma, poder predecir el momento oportuno del riego.

Cuadro 4. Ejemplo de calculo del balance hidrico diario

Balance hidrico  
Mes: \_\_\_\_\_ Año: \_\_\_\_\_

Dia	LAS	EV	ET	P	R	Ex	D
1	61.0	4.6	3.2	0			
2	57.8	3.3	2.3	0			
3	55.5	5.3	3.7	0			
4	51.8	3.4	2.4	0			
5	49.4	4.2	2.9	0			
6	46.5	4.6	3.2	7			
7	50.3	3.7	2.6	6			
8	53.7	5.1	3.6	0			
9	50.1	5.9	4.1	0			
10	46.0	5.1	3.6	0			
11	42.4	4.3	3.0	3			
12	42.4	3.2	2.2	0			
13	40.2	4.8	3.4	0			
14	36.8	5.1	3.6	0			
15	33.2	3.1	2.2	0			
16	31.0	2.2	1.5	2			
17	31.5	4.4	3.1	44		11.4	
18	61.0	3.7	2.6	6		3.4	
19	61.0	4.0	2.8	2			
20	60.2	3.7	2.6	0			
21	57.6	3.9	2.7	11		4.9	
22	61.0	5.6	3.9	10		6.1	
23	61.0	3.9	2.7	41		38.3	
24	61.0	4.0	2.8	0			
25	58.2	4.0	2.8	0			
26	55.4	3.7	2.6	2			
27	54.8	3.8	2.7	5			
28	57.1	2.7	1.9	5			
29	60.2	4.2	2.9	0			
30	57.3	4.9	3.4	0			
31	53.9	4.9	3.4	0			

Balance hidrico  
Mes: \_\_\_\_\_ Año: \_\_\_\_\_

Dia	LAS	EV	ET	P	R	Ex	D
1	50.5	2.9	2.0	0			
2	48.5	4.3	3.0	0			
3	45.5	2.4	1.7	0			
4	43.8	3.4	2.4	0			
5	41.4	2.1	1.5	1			
6	40.9	4.6	3.2	0			
7	37.7	3.3	2.3	2			
8	37.4	2.1	1.5	0			
9	35.9	3.8	2.7	0			
10	33.2	5.6	3.9	0			
11	29.3	3.7	2.6	0			
12	26.7	4.4	3.1	2			
13	25.6	5.5	3.9	9			
14	30.7	4.4	3.1	0			
15	27.6	4.1	2.9	0			
16	24.7	3.0	2.1	2			
17	24.6	4.3	3.0	0			
18	21.6	5.7	4.0	0			
19	17.6	5.7	4.0	0			
20	13.6	5.3	3.7	11			
21	20.9	4.5	3.2	0			
22	17.7	5.3	3.7	0			
23	14.0	5.2	3.6	0			
24	10.4	4.6	3.2	0			
25	7.2	5.7	4.0	0			
26	3.2	4.6	3.2	0			
27	0.0	4.5	3.2	0	61.0		
28	61.0	3.8	2.7	0			
29	58.3	3.4	2.4	0			
30	55.9	3.9	2.7	0			
31							

Ingenio: Manuelita  
 Hacienda: Gertrudis  
 Suerte: 18A  
 Area: 20 has  
 S. suelo: Palmira

Variedad: CP 57603  
 Edad: 6 meses  
 K: 0.7  
 Lara: 61.0 mm

## Riegos

En el valle geográfico del río Cauca, la posición del nivel freático depende de la precipitación. En el ejemplo de la Figura 3 se aplicaron cuatro riegos con una frecuencia entre 25 y 30 días durante el período final de la etapa de rápido crecimiento (7 a 10 meses de edad). Durante este período, el nivel freático disminuyó en forma constante hasta una profundidad mayor de 1.2 m, considerada como crítica para el suministro de agua, ya que en este punto el aporte de agua capilar es mínimo. En consecuencia, cuando el nivel freático se mantiene a profundidades mayores de 1.2 m durante 25 días o más y en este período no ocurren lluvias apreciables, es necesario aplicar riego.

Los pozos de observación se pueden construir con secciones de manguera plástica de 1.5-2.0 m de longitud y de 2.5 a 3.0 cm de diámetro, perforadas con agujeros de 2 a 3 mm en el extremo (0.5 a 1.0 m) que se coloca dentro del suelo. Inicialmente, la red de pozos de observación se puede construir colocando tres pozos en un arreglo triangular. Posteriormente, una vez que se hacen las primeras lecturas, se decide si se colocan más pozos, lo cual se hace siguiendo siempre un arreglo triangular.

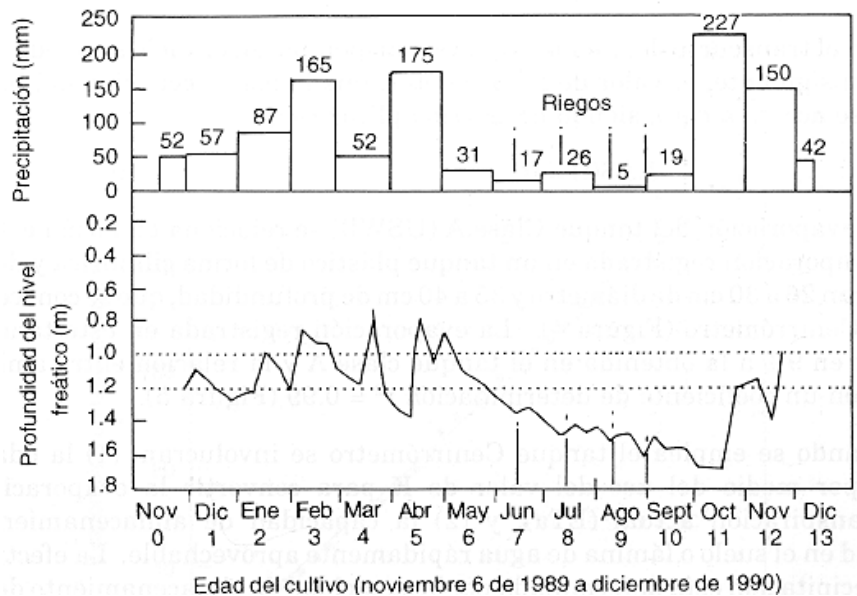


Figura 3. Comportamiento del nivel freático durante el desarrollo del cultivo de la caña de azúcar. Valle geográfico del río Cauca, Colombia.

## **Programación con el Tanque “Cenirrómetro”**

El balance de humedad es un proceso hídrico que opera en forma natural. Si se conocen los factores que determinan los cambios de humedad en el suelo, se pueden predecir los cambios en la lámina de agua disponible y, de esta forma, se puede anticipar la fecha de riego.

El tanque “Cenirrómetro” desarrollado por CENICAÑA considera el suelo como un reservorio de agua para las plantas y aprovecha el concepto del balance hídrico natural como una alternativa práctica que permite decidir, por inspección visual del nivel del agua en un recipiente de plástico, el momento oportuno del riego. Retomando la ecuación simplificada del balance hídrico, se tiene la relación siguiente:

$$LAS(f) = LAS(i) + P + R - ETa \quad (7)$$

Después de aplicar un riego se repone la lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA) y el suelo alcanza su capacidad de campo, dando como resultado que la lámina de agua en el suelo después del riego es igual a LARA. Este mismo fenómeno puede ocurrir después de una lluvia fuerte.

$$LAS(i) = LARA \quad (8)$$

$$LAS(f) = LARA + P + R - ETa \quad (9)$$

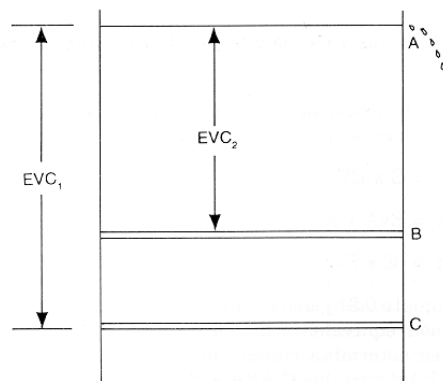
Con el transcurso del tiempo, la LARA disponible en el suelo se puede agotar y, por consiguiente, el valor de LAS(f) determinado por la ecuación del balance hídrico se acerca a cero, siendo necesario aplicar riego.

$$LAS(f) = 0 \quad (10)$$

La evaporación del tanque Clase A (USWB) se relaciona en forma estrecha con la evaporación registrada en un tanque plástico de forma cilíndrica y de color blanco, con 26 a 30 cm de diámetro y 35 a 40 cm de profundidad, que se conoce como tanque Cenirrómetro (Figura 4). La evaporación registrada en este tanque es superior en 9% a la obtenida en el tanque clase A y la relación entre ambas es lineal, con un coeficiente de determinación  $r^2 = 0.99$  (Figura 5).

Cuando se emplea el tanque Cenirrómetro se involucran: (1) la edad del cultivo por medio del uso del valor de K para convertir la evaporación en evapotranspiración actual (ETa), y (2) la capacidad de almacenamiento de humedad en el suelo o lámina de agua rápidamente aprovechable. La efectividad de la precipitación está determinada por la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo en el momento de la lluvia.

El tanque Cenirrómetro define la máxima capacidad de almacenamiento de agua rápidamente aprovechable (LARA) mediante un orificio que drena el exceso de agua. El riego se programa cuando el nivel de agua en el tanque se aproxima a una de las dos marcas de referencia, que se usan, la inferior para controlar los



- A = Vertedero
- B = Marca de referencia para la aplicación de riego, entre 4 y 10 meses de edad del cultivo
- C = Marca de referencia para la aplicación de riego, hasta 4 meses de edad del cultivo

Figura 4. Esquema del tanque Cenirrómetro desarrollado por CENICAÑA.

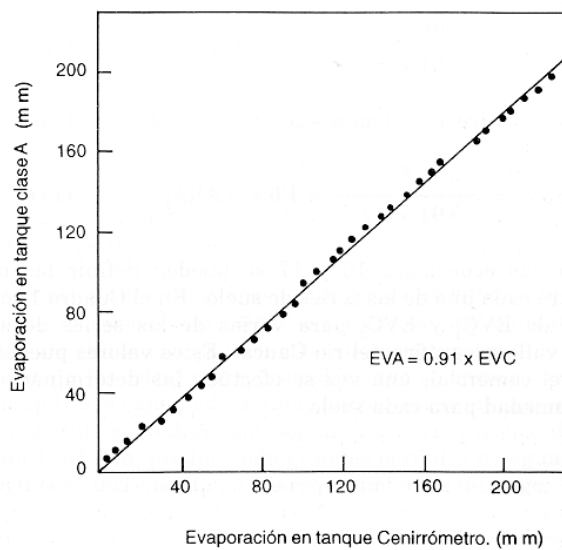


Figura 5. Relación entre la evaporación en tanque clase A y en el tanque Cenirrómetro.

riegos durante los primeros 4 meses y la superior durante el período de 4 a 10 meses de crecimiento.

Para el cálculo de la distancia entre el orificio que sirve como vertedero de los excesos de agua y las marcas de control se utilizan las relaciones siguientes:

$$ETa = C \times EVC \quad (11)$$

$$ETa = EvA \times K \quad (12)$$

$$ETa = (C \times Evc) \times K \quad (13)$$

En donde, C es igual a 0.91 y convierte la evaporación del tanque Cenirrómetro (EVC) en evaporación equivalente del tanque clase A (EVA). El momento oportuno de riego se determina cuando la evapotranspiración acumulada es equivalente a la LARA disponible (LARA = ETa), de la forma siguiente:

$$LARA = Evc \times C \times K \quad (14)$$

$$EVC = \frac{LARA}{C \times K} = \frac{LARA}{0.91 \times K} \quad (15)$$

Si se tienen en cuenta los cambios de K y de la profundidad radical al pasar del período de macollamiento al de rápido crecimiento, se tiene:

Para el período entre 2 y 4 meses de crecimiento del cultivo:

$$EVC_1 = \frac{LARA_1}{0.91 \times 0.3} = 3.7 \times LARA_1 \quad (16)$$

Para el período entre 4 y 10 meses de crecimiento del cultivo:

$$EVC_2 = \frac{LARA_2}{0.91 \times 0.7} = 1.6 \times LARA_2 \quad (17)$$

A partir de las ecuaciones 16 y 17 se pueden definir las marcas del Cenirrómetro para cada una de las series de suelo. En el Cuadro 1 se presentan algunos valores de EVC<sub>1</sub> y EVC<sub>2</sub> para varias de las series de suelos más importantes del valle geográfico del río Cauca. Estos valores pueden servir de referencia a nivel comercial, una vez se efectúen las determinaciones de las constantes de humedad para cada suelo.



### **Referencia bibliográfica**

TORRES AGUAS, J. Riegos. En: CENICAÑA. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, Cali, CENICAÑA, 1995. p.193-210.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA CAÑA  
DE AZÚCAR DE COLOMBIA - CENICAÑA

Estación Experimental: vía Cali-Florida, km 26

Tel: (57) (2) 6648025 - Fax: (57) (2) 6641936

Dirección postal: Calle 58 norte no. 3BN-110

Cali, Valle del Cauca-Colombia

[www.cenicana.org](http://www.cenicana.org)

[buzon@cenicana.org](mailto:buzon@cenicana.org)