



cenicana

ISSN 0120-5846
Serie Técnica
No. 3

CENTRO DE INVESTIGACION DE LA CAÑA DE AZUCAR DE COLOMBIA

*El Balance Hídrico y la Programación
de los Riegos de la Caña de Azúcar
en el Valle del Cauca*

*Jorge S. Torres A.
Sung Jen Yang*

CIMPA
00466

*Call, Colombia
Septiembre 1984*

EL BALANCE HIDRICO Y LA PROGRAMACION DE LOS RIEGOS DE LA CAÑA DE AZUCAR EN EL VALLE DEL CAUCA

Jorge S. Torres *
Sung Jen Yang

INTRODUCCION

En el Valle del Cauca, la caña de azúcar es sembrada y cosechada durante todo el año y los requerimientos de riegos dependen conjuntamente de la etapa de crecimiento del cultivo y de las condiciones climáticas. Durante el año se presentan dos periodos de lluvias, uno que va de Marzo a Mayo y otro que cubre los meses de Septiembre, Octubre y parte de Noviembre. En los meses restantes de verano, la evaporación supera ampliamente a la precipitación siendo necesario recurrir a la aplicación de riegos suplementarios.

Existen en el Valle del Cauca algunas zonas en donde predominan los niveles freáticos altos y los riegos suplementarios son requeridos en menor escala. El área sembrada con caña de azúcar en el Valle del Cauca corresponde a 135.000 Has, de las cuales a 124.502 Has se les aplica riego por gravedad o aspersión (Asocaña 1984); el número promedio de riegos aplicados por ciclo de cultivo oscilan entre 4 y 10 dependiendo de la distribución de las lluvias. El volumen de agua aplicado por hectárea se aproxima a los 2.300 m³/Ha en riego por gravedad y a 770 m³/Ha en riego por aspersión; con una eficiencia de riego entre el 20 y 30% en el caso de riego por gravedad, que pueden ser consideradas como bajas. Los costos crecientes de la energía y la disponibilidad decreciente del agua para uso agrícola forzarán a la industria azucarera hacia la adopción de nuevas técnicas para el control y programación de los riegos.

Tradicionalmente, la programación de los riegos en el cultivo de la caña de azúcar se hace en forma empírica y casi siempre sin tener en cuenta las relaciones suelo-agua-planta, implicando el riesgo de aplicar un número excesivo de riegos o de someter el cultivo a periodos de déficit de humedad que pueden afectar la producción.

La programación de los riegos de la caña de azúcar con base en un programa de balance hídrico, permitirá hacer un uso racional del agua sin afectar la producción y mejorando el rendimiento económico del cultivo de la caña.

Cenicaña a través de los proyectos de investigación en el área de suelos y aguas ha estudiado algunos parámetros relacionados con el suelo y la planta que permiten la programación de los riegos con balance hídrico.

DISPONIBILIDAD DE HUMEDAD PARA LA CAÑA DE AZUCAR

En nuestro medio el riego de la caña de azúcar es realizado generalmente con el propósito de cubrir los riesgos de una baja producción debido a déficits de humedad en el suelo en los periodos secos. Para adelantar un uso racional de la humedad es necesario considerar el suelo como un reservorio de agua para las plantas en donde al superar la capacidad de almacenamiento el agua se pierde por percolación y al consumir toda el agua aprovechable del suelo, la planta es sometida a déficit de humedad y puede hasta morir.

La disponibilidad de humedad para las plantas es asociada comúnmente como el agua apro-

* Programa de Agronomía, Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña), A.A. 9138. Cali.

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCION	5
Disponibilidad de humedad para la caña de azúcar	5
Curvas características de retención de humedad	6
Agua Aprovechable de las series de suelos más importantes del Valle del Cauca	12
Evapotranspiración de la caña de azúcar en el Valle del Cauca	12
Requerimientos de agua de la caña de azúcar en el Valle del Cauca	12
Programación de los riegos en caña de azúcar	15
Balance Hídrico	15
Información requerida para el Balance Hídrico	16
Profundidad radical	17
Suelos	17
Lámina de Agua Aprovechable	17
Lámina de Agua rápidamente aprovechable	19
Ejemplo de Cálculo del balance hídrico	19
Estimación de los requerimientos de riego con base en el ciclo hidrológico	21
Cañas sembradas en Enero	21
Cañas sembradas en Marzo	21
Cañas sembradas en Julio	21
Comentarios	23
Apéndice	24

vechable (AA), la cual es definida como la cantidad de agua retenida por el suelo en el rango de capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP). El contenido de humedad del suelo no es un criterio satisfactorio para describir la disponibilidad de humedad para las plantas; por consiguiente las constantes de humedad de capacidad de campo y punto de marchitamiento permanente han sido expresadas en términos de la energía con que el suelo retiene el agua y corresponde al trabajo que deben realizar las plantas para extraerle la humedad al suelo. El agua en el suelo retenida a tensiones inferiores a 0.1 bar (CC) puede ser considerada como aprovechable para las plantas, pero ésta agua se pierde rápidamente y finalmente no es útil a la planta (agua gravitacional). El límite inferior del agua aprovechable o punto de marchitez permanente (PMP) ha sido tomado como equivalente al contenido de humedad del suelo cuando el agua es retenida con una tensión de 15 bares; en este punto la mayoría de las plantas presentan marchitamiento permanente y mueren. Yang,* en Taiwán encontró valores de PMP entre 30 y 40 bar para la variedad de caña F 160. Existe una gran controversia y confusión acerca del grado de disponibilidad de humedad para la planta en el rango del agua aprovechable; cuando el contenido de humedad del suelo está cercano a capacidad de campo, el agua es tomada fácilmente y la planta puede evapotranspirar a su máxima capacidad (Evapotranspiración potencial); a medida que el contenido de humedad disminuye el agua es retenida con más fuerza y la planta debe realizar un mayor esfuerzo para tomar la humedad; lo cual implica que la evapotranspiración disminuya (Evapotranspiración actual). Dentro de este rango de disponibilidad de humedad existe un punto crítico, a partir del cual el ritmo de crecimiento de las plantas se puede ver afectado y que comúnmente es reconocido como Nivel de Humedad (NH).

Estudios recientes han indicado que la disponibilidad de humedad en el suelo depende del balance entre la capacidad de suministro de humedad del suelo y la demanda evaporativa de la atmósfera. En general la disponibilidad de humedad del agua en el suelo para la caña de azúcar depende de los siguientes factores:

- 1- Profundidad efectiva del suelo
- 2- Características de retención de humedad
- 3- Conductividad capilar del suelo
- 4- Conductividad hidráulica del suelo
- 5- Características de enraizamiento del cultivo
- 6- Patrón de absorción de humedad
- 7- Demanda evaporativa de la atmósfera

La producción potencial de la caña de azúcar, por consiguiente depende de las condiciones de clima, suelo y variedad cultivada. Para aumentar la disponibilidad de humedad y la eficiencia de uso del agua, se debe propender por sistemas de cultivo que permitan el desarrollo de un sistema radical profundo que combinado con un adecuado suministro de agua aseguren las demandas hídricas del cultivo.

CURVAS CARACTERISTICAS DE RETENCION DE HUMEDAD

Las curvas características de retención de humedad representan la relación existente entre el contenido de humedad y la energía del agua en el suelo; cuando el suelo tiene un alto contenido de humedad, el agua es retenida con poca fuerza y por consiguiente puede ser tomada fácilmente por la planta. A medida que el contenido de humedad va decreciendo, la tenacidad con que el suelo retiene la humedad va aumentando y llega a un punto en el cual la humedad del suelo no es disponible para la planta y puede morir por sequía.

* Yang, S.J. *The role of soil moisture on the Growth and Yield of sugarcane under the subtropical climate. Taiwan Sugar.* v. 26 No. 3, pág. 84-93. May-June 1979.

El agua en el suelo está sometida a fuerzas derivadas de la matriz del suelo, fuerzas osmóticas y fuerzas inherentes al suelo y al agua; la suma de todas estas fuerzas es conocida como la energía potencial del agua en el suelo y comúnmente es expresada, por unidad de peso, masa o volumen, en unidades equivalentes de altura de una columna de agua, trabajo por unidad de masa y unidades de presión (bar, atmósferas), respectivamente.

El agua en el suelo es retenida por fuerzas derivadas del sistema suelo-agua (fuerzas matriciales) y corresponden a mecanismos resultantes de la carga electrostática de las partículas del suelo y su interacción con los iones absorbidos; el mecanismo más importante por el cual el suelo retiene la mayor parte del agua se deriva de las superficies de contacto aire-agua, en forma similar a lo ocurrido con el papel secante y las esponjas. La tensión superficial actúa sobre la interfase aire-agua dando lugar a la retención de humedad en el suelo. El agua en el suelo está sometida a presiones negativas (succión) por consiguiente la energía del agua es negativa, hecho que se pone de manifiesto por el trabajo que deben realizar las plantas para tomar la humedad del suelo. La succión matricial puede ser medida, hasta cierto valor en el campo con el uso de tensiómetros, 0.85 bares (Figura 1). Los tensiómetros consisten en una cápsula porosa (cerámica) conectada a un dispositivo que permite registrar presiones negativas; inicialmente cuando la cápsula porosa del tensiómetro está saturada la presión registrada es igual a 0 (cero). Al colocar el tensiómetro en contacto con un suelo seco, la cápsula porosa pierde agua hasta entrar en equilibrio con el suelo circundante y el valor de la presión negativa registrada es equivalente a la succión matricial que expresada con signo positivo es definida como la Tensión de Humedad del Suelo (THS).

La textura del suelo afecta las características de retención de humedad, de esta forma los suelos arcillosos retienen más agua que un suelo arenoso al mismo valor de tensión de humedad. La estructura del suelo juega un efecto primordial sobre el número y tamaño de los capilares del suelo, valores altos de densidad aparente resultan en contenidos bajos de humedad a altas tensiones y contenidos altos de humedad a bajas tensiones. En general la compactación

$\gamma_a =$ Peso específico del agua (1.0 gr/cm^3)

$\gamma_m =$ Peso específico del mercurio (13.6 gr/cm^3)

$$P_c = P_{atm} - \gamma_m h_g + \gamma_a h_a$$

$$P_c = 0 - 13.6 h_g + h_a$$

$$P_c = 13.6 h_g + h_a$$

$$THS = - (P_c)$$

$$THS = 13.6 h_g - h_a$$

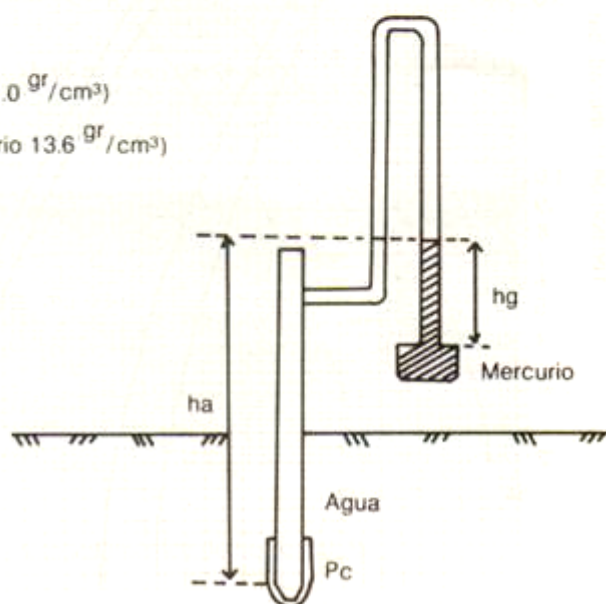


Figura 1. Arreglo de un tensiómetro para medir la tensión de humedad del suelo en el campo.

de los suelos afecta las características de retención de humedad; al aumentar la densidad aparente del suelo se aumenta la Tensión de humedad correspondiente a un mismo valor de contenido de humedad.

Las curvas de retención de humedad permiten asignar la cantidad de agua retenida por el suelo que está disponible para las plantas (agua aprovechable); además permiten conocer las cantidades de agua que el suelo puede tomar o ceder cuando se sube o se baja el nivel freático, parámetros que son importantes para el diseño de los sistemas de drenaje.

Las figuras 2 al 5, representan las curvas características de retención de humedad de las series de suelos más importantes en el Valle del Cauca.

Alfisol (Vertic. Haplustalf)
I. Providencia.
Argelia Argelia 366

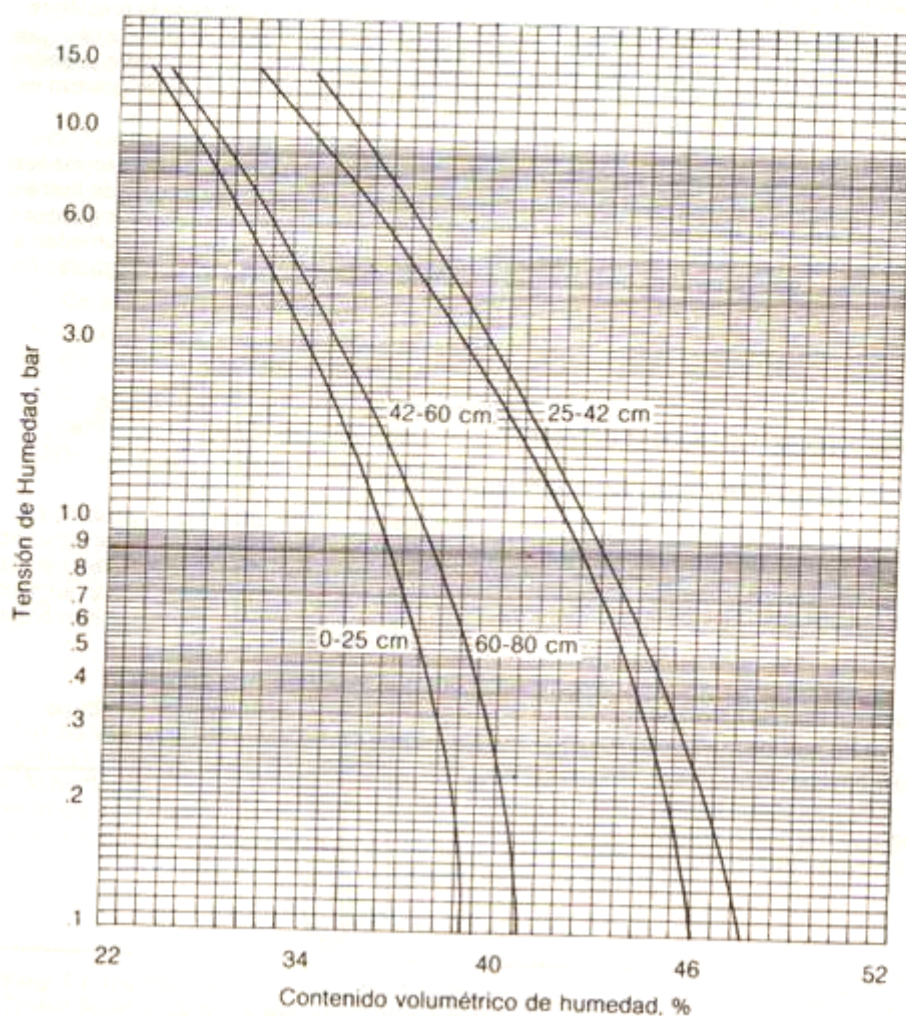


Figura 2. Curvas características de retención de humedad de un Alfisol.

Vertisol

Herradura
(Udic pellustert)

I. Riopaila-La Luisa
Suerte 0682

Las Figuras 2 a 4 muestran las características de retención de humedad de algunos tipos de suelos.

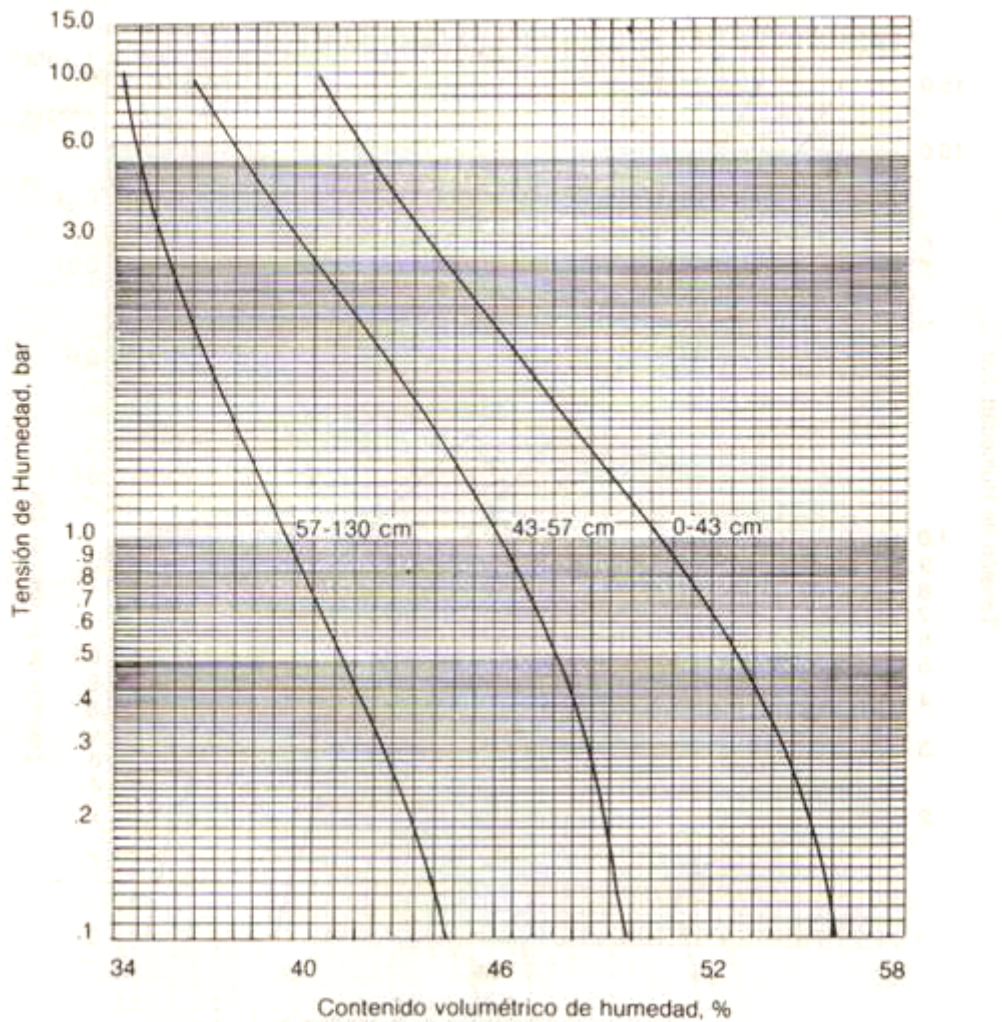


Figura 4. Curvas características de retención de humedad de un Vertisol.

Inceptisol

Palmeras
(Vertic Eutropept)
S. Antonio # 19

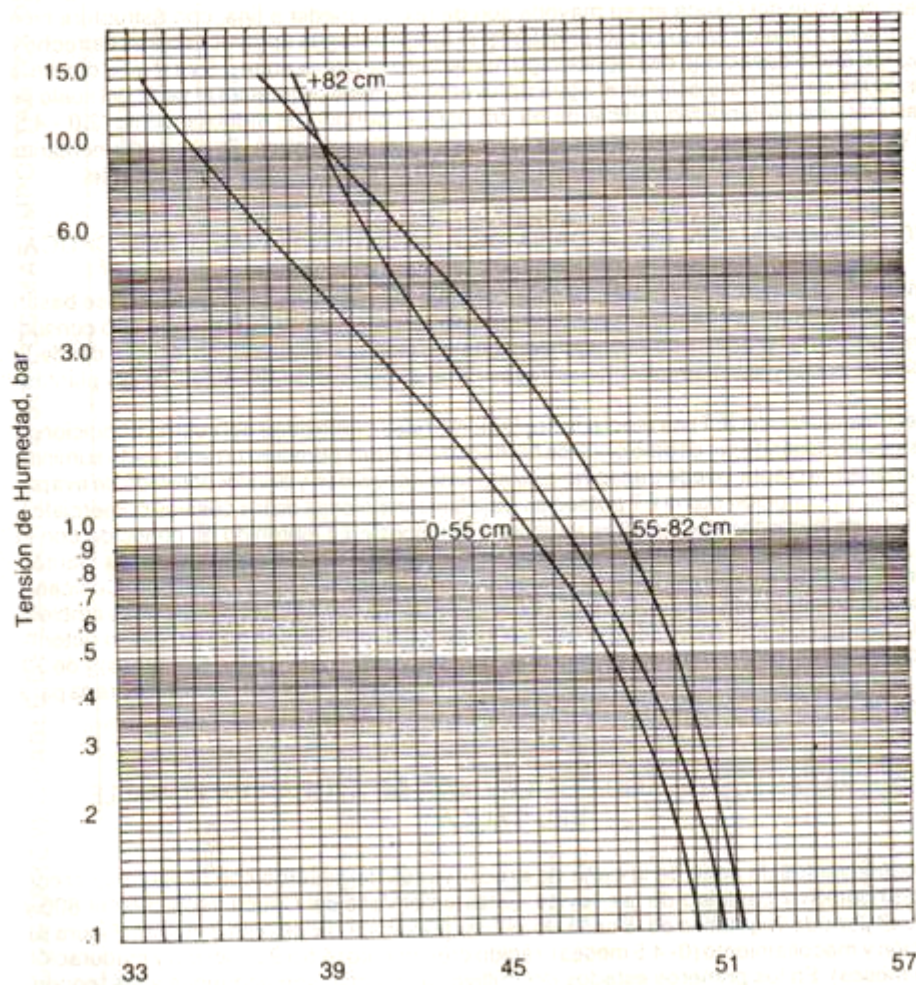


Figura 5. Curvas características de retención de humedad de un Inceptisol.

AGUA APROVECHABLE DE LAS SERIES DE SUELOS MAS IMPORTANTES DEL VALLE DEL CAUCA

Vertebrada

La cantidad de agua retenida por los suelos y que puede ser tomada por la caña de azúcar es importante para la planeación y manejo de los recursos de agua. Los mecanismos de retención de humedad de los suelos están ligados al tamaño, distribución y agregación de las partículas del suelo que dan origen al espacio poroso; por consiguiente, la capacidad de almacenamiento de humedad depende de la textura y estructura del suelo. En 1980, Cenicaña inició el reconocimiento de las propiedades hídricas de los suelos cañeros del Valle del Cauca, el propósito de dicho estudio fue el de recopilar la información requerida para el diseño y manejo adecuado de los sistemas de riego en caña de azúcar. En el Cuadro 1, se presenta la información recopilada en 40 perfiles de suelo, representativos de 9 series de suelo; los resultados iniciales indican que los suelos del Valle del Cauca en su mayoría son de textura media a fina, con estructura bien desarrollada en forma de bloques sub-angulares, el rango del agua aprovechable es estrecho y corresponde a una capacidad de retención de humedad que oscila entre 0.9 y 1.7 mm/cm. en la mayoría de los casos. Para asignar el agua aprovechable almacenada en el perfil del suelo se podría asumir una profundidad radical de 60 cm para el período de macollamiento (2.0 - 4.5. meses) y de 80 cm. para el período de rápido crecimiento; en general los riegos suplementarios podrían ser aplicados cuando se consuma entre el 50 y 60% del agua aprovechable.

EVAPOTRANSPIRACION DE LA CAÑA DE AZUCAR EN EL VALLE DEL CAUCA

Los métodos más sencillos y prácticos para controlar los riegos en caña de azúcar se basan en el conocimiento de la evapotranspiración del cultivo. La evapotranspiración o uso consuntivo, corresponde al proceso combinado del agua perdida por evaporación directa desde la superficie del suelo y por transpiración a través de la superficie de las hojas de las plantas.

La evapotranspiración (ET) es afectada por factores tales como edad del cultivo, condiciones de clima y suelo. Cuando las condiciones de humedad del suelo permiten un adecuado suministro de humedad, la planta, puede transpirar a su máxima capacidad y el valor obtenido de evapotranspiración es conocido como ET potencial. Bajo las condiciones de los cultivos comerciales, el contenido de humedad del suelo es variable y el valor de ET obtenido es conocido con el nombre de ET actual y es utilizado para asignar los requerimientos de agua de las plantas, permitiendo a su vez establecer programas de riego con base en el balance hídrico. Cenicaña, ha venido adelantando estudios sobre la ET de la caña de azúcar bajo las condiciones ambientales del Valle del Cauca; resultados preliminares de los experimentos han permitido obtener valores de ET actual de 2.1 mm/día para el período de macollamiento (2.0 a 4.5 meses) y de 3.1 mm/día para el período de rápido crecimiento (4.5 a 10 meses). La ET potencial registrada para el período de rápido crecimiento fue de 3.7 mm/día.

REQUERIMIENTOS DE AGUA DE LA CAÑA DE AZUCAR EN EL VALLE DEL CAUCA

Los requerimientos de agua de la caña de azúcar varían de acuerdo con la etapa de crecimiento, distribución y cantidad de las lluvias. Estas en el Valle del Cauca oscilan entre 800 y 1600 mm. El período vegetativo de la caña de azúcar puede ser dividido en 3 etapas (Figura 6); germinación y macollamiento (0- 4.5 meses), rápido crecimiento (4.5 a 9.5 meses) y maduración (9.5 a 13 meses). En los primeros estados del cultivo, las plantas son pequeñas y los requerimientos de riego no son muy altos; cuando el cultivo entra en la etapa de rápido crecimiento la población se estabiliza y como referencia se puede mencionar que los tallos de CP 57-603 y POJ 2878 crecen a un promedio de 45 a 65 cm/mes; durante este período los requerimientos de agua y nutrientes son altos y el cultivo no debe ser sometido a déficit de humedad o de lo contrario la producción puede ser afectada; en el período de maduración, el crecimiento de la caña se disminuye y la planta concentra azúcares en los tallos; en este período es conveniente restringir los riegos con el propósito de no re-estimular el crecimiento, lo cual afectaría la calidad de la

CUADRO 1. AGUA APROVECHABLE DE LAS SERIES DE SUELOS MAS IMPORTANTES DEL VALLE DEL CAUCA.

Orden	Serie	Textura	Densidad	Agua	Agua rápidamente	
			Aparente	Aprovechable	aprovechable, mm	
			g/cm ³	mm/cm	60 cm	80 cm
Alfisol	Argelia (Vertic Haplustalf)	FAr-Ar	1.3 - 1.4	1.0 - 1.2	36 - 43	48 - 60
Mollisol	Florida (Entic Haplustoll)	FAr-A	1.3 - 1.5	1.1 - 1.4	40 - 50	53 - 67
Mollisol	Manuelita (Pachic Haplustoll)	FArA-FA	1.2 - 1.6	1.0 - 2.0	36 - 72	48 - 96
Mollisol	Palmira (Pachic Haplustoll)	F- Ar	1.2 - 1.6	1.0 - 1.6	36 - 58	48 - 77
Mollisol	Rio Cauca (Fluventic Haplustoll)	FL -Ar	1.2 - 1.5	1.1 - 1.9	40 - 68	53 - 91
Vertisol	Herradura (Udic Pellusterf)	Ar-FArL	1.3 - 1.5	1.1 - 1.4	40 - 50	53 - 67
Inceptisol	Palmeras (Vertic Eutropept)	F - Ar	1.1 - 1.5	1.1 - 1.7	40 - 61	53 - 82
Inceptisol	Bengala (Vertic Eutropept)	FAr-Ar	1.2 - 1.5	1.0 - 2.1	36 - 76	49 - 100
Inceptisol	Puerto Tejada (Vertic Trophaept)	F-FAr	1.3 - 1.7	1.0 - 1.6	36 - 58	48 - 77

131

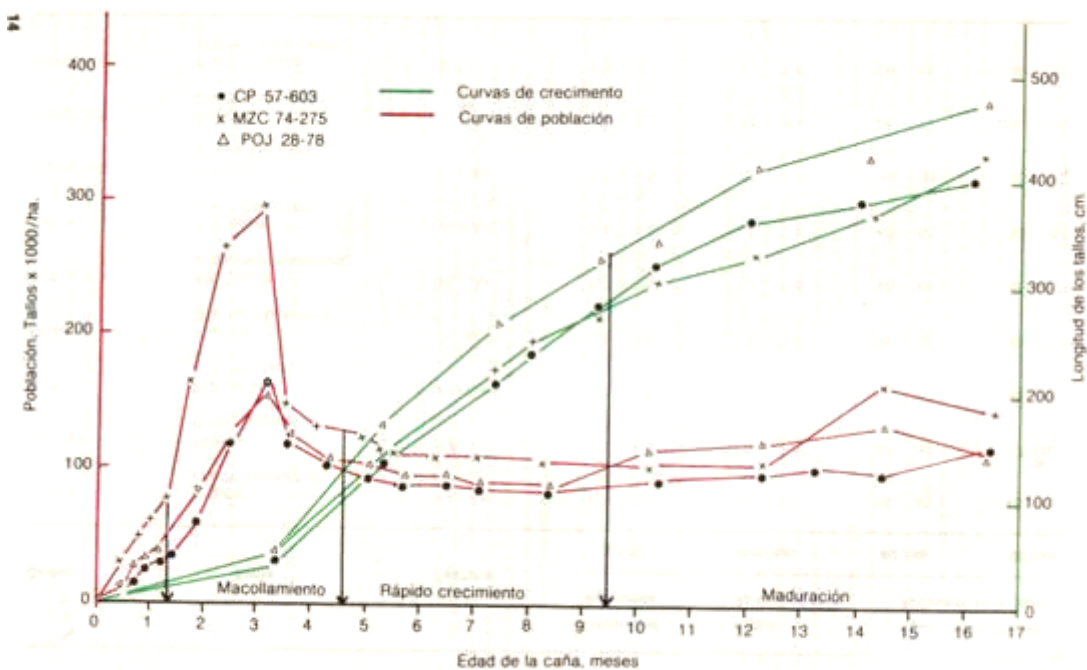


Figura 6. Curvas de población y crecimiento de las variedades CP 57-603, MZC 74275 y POJ 2878

CUADRO 1. AGUA APROVECHABLE DE LAS SERIES DE SUELOS MAS IMPORTANTES DEL VALLE DEL CAUCA.

Orden	Serie	Textura	Densidad	Agua	Agua rápidamente	
			Aparente	Aprovechable	aprovechable, mm	
			g/cm ³	mm/cm	60 cm	80 cm
Allisol	Argelia (Vertic Haplustalf)	FAr-Ar	1.3 - 1.4	1.0 - 1.2	36 - 43	48 - 60
Mollisol	Florida (Entic Haplustoll)	FAr-A	1.3 - 1.5	1.1 - 1.4	40 - 50	53 - 67
Mollisol	Manuelita (Pachic Haplustoll)	FArA-FA	1.2 - 1.6	1.0 - 2.0	36 - 72	48 - 96
Mollisol	Palmira (Pachic Haplustoll)	F- Ar	1.2 - 1.6	1.0 - 1.6	36 - 58	48 - 77
Mollisol	Rio Cauca (Fluventic Haplustoll)	FL -Ar	1.2 - 1.5	1.1 - 1.9	40 - 68	53 - 91
Vertisol	Herradura (Udic Pellustert)	Ar-FARL	1.3 - 1.5	1.1 - 1.4	40 - 50	53 - 67
Inceptisol	Palmeras (Vertic Eutropepl)	F - Ar	1.1 - 1.5	1.1 - 1.7	40 - 61	53 - 82
Inceptisol	Bengala (Vertic Eutropept)	FAr-Ar	1.2 - 1.5	1.0 - 2.1	36 - 76	49 - 100
Inceptisol	Puerto Tejada (Vertic Trophaepl)	F-FAr	1.3 - 1.7	1.0 - 1.6	36 - 58	48 - 77

161

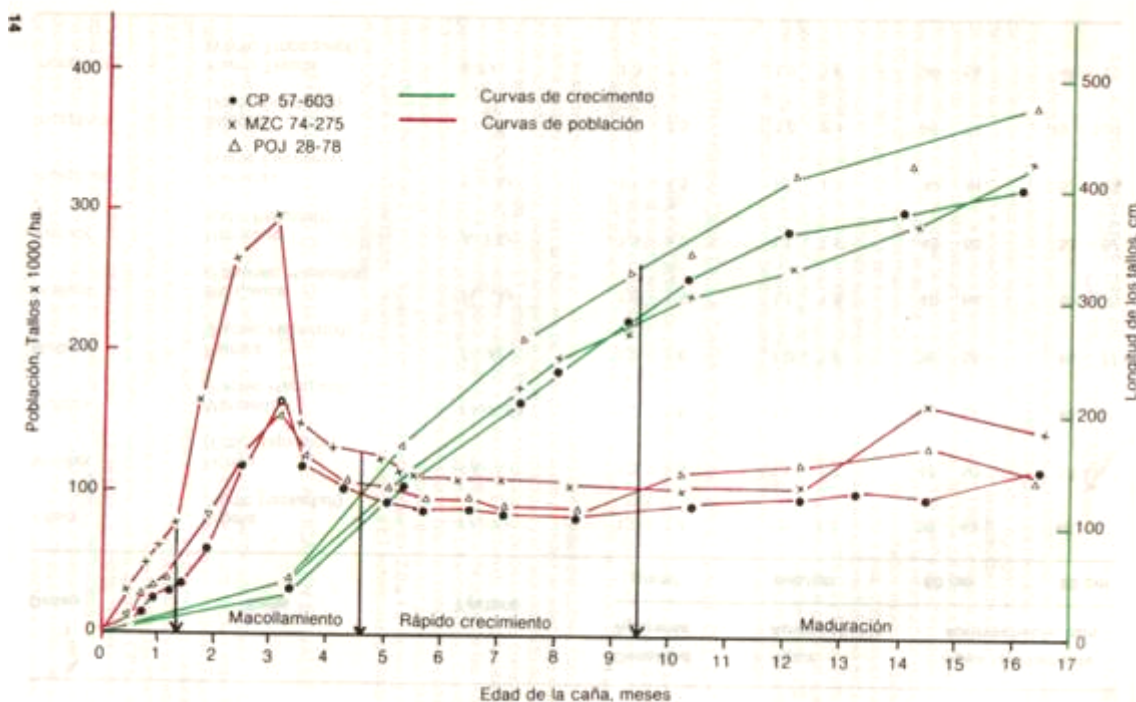


Figura 6. Curvas de población y crecimiento de las variedades CP 57-603, MZC 74275 y POJ 2878

CUADRO 1. AGUA APROVECHABLE DE LAS SERIES DE SUELOS MAS IMPORTANTES DEL VALLE DEL CAUCA.

Orden	Serie	Textura	Densidad	Agua	Agua rápidamente aprovechable, mm	
			Aparente	Aprovechable	60 cm	80 cm
			g/cm ³	mm/cm		
Allisol	Argelia (Vertic Haplustalf)	FAr-Ar	1.3 - 1.4	1.0 - 1.2	36 - 43	48 - 60
Mollisol	Florida (Entic Haplustoll)	FAr-A	1.3 - 1.5	1.1 - 1.4	40 - 50	53 - 67
Mollisol	Manuelita (Pachic Haplustoll)	FArA-FA	1.2 - 1.6	1.0 - 2.0	36 - 72	48 - 96
Mollisol	Palmira (Pachic Haplustoll)	F - Ar	1.2 - 1.6	1.0 - 1.6	36 - 58	48 - 77
Mollisol	Rio Cauca (Fluventic Haplustoll)	FL -Ar	1.2 - 1.5	1.1 - 1.9	40 - 68	53 - 91
Vertisol	Herradura (Udic Pellustert)	Ar-FArL	1.3 - 1.5	1.1 - 1.4	40 - 50	53 - 67
Inceptisol	Palmeras (Vertic Eutropept)	F - Ar	1.1 - 1.5	1.1 - 1.7	40 - 61	53 - 82
Inceptisol	Bengala (Vertic Eutropept)	FAr-Ar	1.2 - 1.5	1.0 - 2.1	36 - 76	49 - 100
Inceptisol	Puerto Tejada (Vertic Tropequept)	F-FAr	1.3 - 1.7	1.0 - 1.6	36 - 58	48 - 77

13

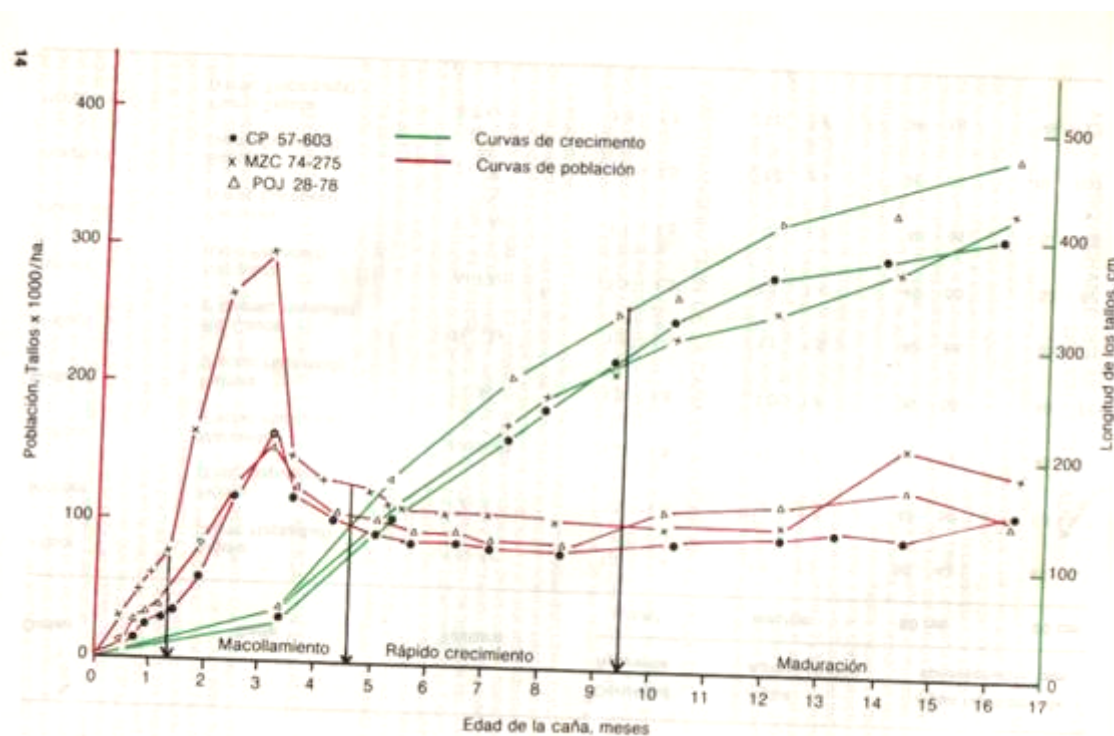


Figura 6. Curvas de población y crecimiento de las variedades CP 57-603, MZC 74275 y POJ 2878

caña. Para obtener una máxima producción de azúcar por unidad de área, es necesario aplicar suficiente agua en el período de rápido crecimiento, restringir los riegos y no aplicar fertilizantes nitrogenados en el período de maduración. El riego suplementario en el Valle del Cauca, representa entre el 50 a 60% los costos de producción del cultivo (Grillo y Daza)*, lo cual implica el costo alto de un recurso que no se está manejando adecuadamente y que con el tiempo su disponibilidad está disminuyendo. Cenicaña, a través de sus investigaciones en el área de suelos y aguas, ha venido estudiando los requerimientos hídricos de la caña de azúcar en las variedades CP 57-603 y POJ 2878. Los resultados de la cosecha de la plantilla, 2° y 3° corte de los ensayos de riegos distribuidos a lo largo del valle geográfico del río Cauca, cubriendo diferentes condiciones de clima y suelos, han mostrado que los requerimientos de agua (neta) de la caña en nuestro medio oscilan entre 1050 y 1300 mm por ciclo de cultivo de 13 meses. Dependiendo de la precipitación recibida, las plantaciones de caña pueden requerir entre 100 y 400 mm de agua de riego, aplicando un número variable de riegos entre 2 y 7; las zonas de alta precipitación o alto nivel freático como lo son el norte y sur del Valle requieren de un menor número de riegos. En la zona de piedemonte de la Cordillera Central, los suelos son superficiales y el número de riegos requeridos puede aumentar.

Programación de los riegos en caña de azúcar

El manejo adecuado del agua exige la determinación de la cantidad y frecuencia de aplicación de los riegos. La programación de los riegos en caña de azúcar fue realizada inicialmente con base en determinaciones gravimétricas de la humedad del suelo; los tensiómetros y bloques de yeso han sido utilizados con algunas restricciones. El tanque evaporímetro Clase A, (US Weather Bureau), ha sido utilizado en Hawaii, Sur Africa y Taiwan, para estimar los requerimientos de riego de la caña de azúcar con buenos resultados. Los factores climáticos que afectan la evaporación del agua desde una superficie libre, son los mismos factores que afectan la transpiración desde la superficie de las hojas, por consiguiente, el valor de la evaporación del tanque Clase A es un buen estimativo de la evapotranspiración (ET), a través de la siguiente expresión $E_T = K \times E_v$.

El valor de K permite corregir la evaporación del tanque y su valor depende de la edad del cultivo y condiciones de suelo, E_v corresponde a la evaporación medida desde una superficie de agua libre. El uso del tanque evaporímetro para la programación de los riegos involucra el seguimiento de un balance hídrico en donde se cuantifican las diferencias entre las pérdidas y las ganancias de humedad en el suelo.

El nivel freático alto, es una condición que predomina en gran parte de los suelos sembrados con caña de azúcar en el Valle del Cauca; resultados experimentales en áreas con o sin nivel freático superficial han demostrado que los requerimientos de riego de la caña de azúcar pueden ser estimados en forma segura usando un valor de $K = 0.35$, en la primera etapa del cultivo (0- 4.5 meses), $K = 0.7$, durante el período de rápido crecimiento (4.5 - 10 meses); durante el período de maduración los riegos pueden ser suspendidos para facilitar el agostamiento de la caña.

BALANCE HIDRICO

El seguimiento de los cambios de la humedad del suelo puede ser adelantado a través de muestreos gravimétricos, lecturas de tensiómetros, bloques de yeso y sonda de neutrones. Desde el punto de vista práctico, los métodos anteriores carecen de funcionalidad debido a que

* Grillo, M.; Daza, O.H. *Uso del balance hídrico para la programación de riegos. Palmira, Ingenio Providencia, 1980 20 p. (mimeo).*

requieren de tiempo especial para la toma de lecturas e interpretación. La estimación de la evaporación a partir de métodos micro-meteorológicos ha sido estudiada con gran intensidad en los últimos años y ésto ha permitido la implementación de la programación de los riegos de la caña de azúcar con base en el balance hídrico, siendo un método sencillo, económico y de precisión aceptable.

El balance de humedad en el suelo se puede describir con la siguiente ecuación:

$$\Delta W = \text{Ganancias de humedad} - \text{pérdidas de humedad (mm)}$$

$$\Delta W = P + R - \int ET dt - Es \pm U \quad (1)$$

donde:

ΔW = Cambio en el contenido de humedad (mm)

P = Precipitación (mm)

R = Lámina de riego (mm)

ET = Evapotranspiración (mm/día)

ES = Escorrentía

U = Agua de percolación (-) o ascenso capilar (+); (mm)

La ecuación anterior puede simplificarse al asumir que el agua de escorrentía y la percolación son despreciables, quedando reducida a la siguiente forma:

$$\Delta W = P + R - \int E_T dt \quad (2)$$

El cambio en el contenido de humedad (ΔW), para un período determinado puede ser estimado por medio de la siguiente expresión:

$$\Delta W = \text{LAS} (n) - \text{LAS} (1) \quad (3)$$

$$\text{LAS} (n) = \text{LAS} (1) + P + R - \int E_T dt \quad (4)$$

LAS (1) = Lámina de agua en el suelo el día 1 (mm)

LAS (n) = Lámina de agua en el suelo el día n (mm)

El balance hídrico es similar a una contabilidad en donde se compara el valor de la lámina existente en el suelo, con los valores de precipitación y evapotranspiración. Los cálculos se pueden realizar con bases diarias, semanales y mensuales, siendo preferido el cálculo diario y semanal.

Para el cálculo diario del balance se puede seguir la ecuación (4), en donde diariamente se resta la evapotranspiración y se suma la cantidad de precipitación o riego ocurridos durante el día, el resultado de esta operación corresponde al agua disponible en el suelo al día siguiente; de esta manera los cálculos se repiten hasta cuando el agua rápidamente aprovechable se aproxime a cero.

Un programa de balance hídrico a nivel comercial permite conocer en forma aproximada el agua aprovechable existente en el suelo de cada una de las suertes; permite establecer prioridades de riego y programar los riegos con una semana de anticipación; en el caso de lluvias los riegos pueden ser reprogramados. Es recomendable que en forma periódica se realicen ajustes del balance hídrico con base en muestreos gravimétricos de la humedad del suelo o a partir de lecturas indirectas de la humedad con los bloques de yeso.

INFORMACION REQUERIDA PARA EL BALANCE HIDRICO

La información que se presenta a continuación fue utilizada para la programación de los

riegos en la Hacienda Gertrudis 18A del Ingenio Manuelita con la variedad CP 57-603, serie Palmira (Pachic Haplustoll).

Profundidad radical

Inicialmente, con fines prácticos se podría asumir una profundidad efectiva de raíces de 60 cm para la primera etapa del cultivo (macollamiento) y 80 cm para el periodo de rápido crecimiento y maduración.

Suelos

Los suelos del Valle del Cauca son de naturaleza aluvial y dentro de una suerte comercial de caña es posible encontrar varias series de suelos, lo cual implica una diferenciación de las características de retención de humedad de los suelos, de acuerdo con el área ocupada por cada uno de ellos.

En la Figura 7, se presentan alternativas de manejo teniendo en cuenta el área ocupada por cada serie de suelo. Las sugerencias de manejo presentadas, obedecen más a la adaptabilidad práctica del manejo del riego y no al enfoque académico del problema. En el Valle del Cauca los riegos son de carácter suplementario y algún sacrificio resultante en la baja eficiencia de aplicación de los riegos puede ser compensado por la cantidad y distribución de las lluvias.

De acuerdo con el Cuadro No. 1, la serie de suelos Palmira presenta una densidad aparente entre 1.0 y 1.6 gr/cm³, Agua Aprovechable de 1.0 a 1.6 mm/cm y Agua Rápidamente Aprovechable entre 48 y 77 mm para una profundidad radical de 80 cm.

Determinaciones directas de las características hídricas del suelo se presentan a continuación en el Cuadro 2.

CUADRO 2. CARACTERÍSTICAS HÍDRICAS DEL SUELO EN LA HACIENDA GERTRUDIS, INGENIO MANUELITA

Profundidad cm.	Textura	Densidad aparente gr/cm ³	CC cm/cm	PMP cm/cm	L A A mm
0 - 35	FAr	1.35	0.385	0.214	60
35 - 65	Ar	1.51	0.356	0.264	28
65 - 80	LAr	1.57	0.354	0.263	14

Lámina de Agua Aprovechable (LAA)

Para el cálculo de la lámina de agua aprovechable se tomaron los valores registrados en el Cuadro 2.

$$L A A = (C C - P M P) \times \text{profundidad} \times 10$$

$$L A A \text{ 0-35} = (0.385 - 0.214) \times 35 \text{ cm} \times 10 = 60 \text{ mm}$$

$$L A A \text{ 35-65} = (0.356 - 0.264) \times 30 \text{ cm} \times 10 = 28 \text{ mm}$$

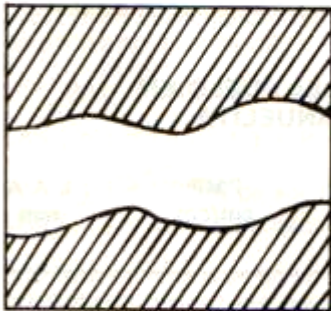
$$L A A \text{ 65-80} = (0.354 - 0.263) \times 15 \text{ cm} \times 10 = 14 \text{ mm}$$

$$L A A \text{ 0-60} = 60 \text{ mm} + 23 \text{ mm} = 83 \text{ mm}$$

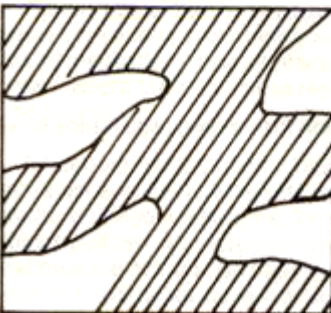
$$L A A \text{ 0-80} = 60 \text{ mm} + 28 \text{ mm} + 14 \text{ mm} = 102 \text{ mm}$$



A. Los dos suelos ocupan aproximadamente la misma área, el riego inicial puede hacerse teniendo en cuenta que al suelo 1 se le debe aplicar dos veces la lámina correspondiente al suelo 2. Posteriormente los riegos pueden ser programados tomando la menor lámina rápidamente aprovechable para toda la suerte (37 mm).



B. El suelo 2 ocupa aproximadamente 1/3 del área total, los riegos pueden ser controlados tomando en consideración la lámina del suelo 2.



C. El suelo 1 está distribuido en forma de parches, los riegos pueden ser programados usando la lámina rápidamente aprovechable del suelo 2.

Figura 7. Subdivisión de las áreas de riego de acuerdo con la capacidad de retención de humedad del suelo (Tomado y adaptado de: Sección 15. SCS. NEH. Sprinkler Irrigation).

Lámina de Agua Rápidamente Aprovechable

Dentro del rango del agua aprovechable en el suelo existe un punto crítico (Nivel de humedad) a partir del cual la planta no puede tomar suficiente humedad y el crecimiento puede ser afectado; generalmente este punto está entre el 40 y 50% del agua aprovechable, es decir, se permite que la planta consuma entre el 50 y 60% del agua aprovechable antes de aplicar el riego.

$$L A R A = 0.6 \times L A A$$

$$L A R A \text{ 0-60} = 0.6 \times 83 \text{ mm} = 50 \text{ mm}$$

$$L A R A \text{ 0-80} = 0.6 \times 102 \text{ mm} = 61 \text{ mm}$$

Ejemplo de cálculo del Balance Hídrico

En el cuadro 3, se presenta un ejemplo de cálculo del balance hídrico para la Hacienda Gertrudis 18A del Ingenio Manuelita, variedad CP 57-603, correspondiente a los meses de Mayo y Junio de 1983, cuando la caña tenía 6 y 7 meses de edad, respectivamente ($K = 0.7$).

Después de un riego fuerte o lluvia abundante, se puede asumir que el suelo se encuentra en capacidad de campo y LAS sería igual a LARA; en nuestro ejemplo será 61 mm para el 1 de Mayo. La profundidad radical asumida será de 80 cm y el valor de K para convertir la evaporación del tanque Clase A en ET será igual a 0.7.

Mayo 1

Para iniciar el balance, el día Mayo 1o. se tienen los siguientes valores:

$$L A S_1 = 61.0 \text{ mm}, \quad E V = 4.6 \text{ mm}, \quad E T = 0.7 \times 4.6 \text{ mm} = 3.2 \text{ mm}, \quad P = 0 \text{ mm}, \\ R = 0 \text{ mm}$$

Mayo 2

$$L A S_2 = L A S_1 + P + R - E_T$$

$$L A S_2 = 61.0 + 0 + 0 - 3.2 = 57.8 \text{ mm}$$

Mayo 3

$$L A S_3 = 57.8 \text{ mm} + 0 + 0 - 2.3 = 55.5 \text{ mm}$$

De esta manera se prosigue con los cálculos hasta llegar al día 17 de Mayo cuando se presentó una precipitación de 44 mm.

Mayo 17

$$L A S_{17} = 31.5 \text{ mm}, \quad E V = 4.4 \text{ mm}, \quad E T = 0.7 \times 4.4 \text{ mm} = 3.1 \text{ mm}, \quad P = 44 \text{ mm}, \\ R = 0 \text{ mm}$$

Mayo 18

$$L A S_{18} = 31.5 \text{ mm} + 44 \text{ mm} + 0 \text{ mm} - 3.1 \text{ mm} = 72.4 \text{ mm}.$$

Para este día es necesario recordar que la máxima capacidad de retención de humedad del suelo es $L A R A = 61.0 \text{ mm}$, por consiguiente tenemos 11.4 mm de exceso, y la lámina de agua en el suelo para el día 19 de Mayo será de 61.0 mm.

CUADRO 3. EJEMPLO DE CALCULO DEL BALANCE HIDRICO DIARIO

BALANCE HIDRICO
MES: _____ AÑO: _____

Día	LAS	EV.	ET.	P	R	Ex.	D
1	61.0	4.0	3.2	0			
2	57.8	3.3	2.3	0			
3	65.5	5.3	3.7	0			
4	51.8	3.8	2.4	0			
5	49.4	4.2	2.9	0			
6	46.5	4.8	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	3.8	8			
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	3.8	0			
15	33.2	3.1	2.2	0			
16	31.0	2.7	1.9	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	2.8	3			
21	57.6	3.9	2.7	11		4.9	
22	61.0	5.8	3.9	10		6.1	
23	61.0	3.9	2.7	41		38.3	
24	61.0	4.0	2.8	0			
25	56.2	4.0	2.8	0			
26	55.4	3.7	2.6	2			
27	54.8	3.8	2.7	3			
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: _____

Día	LAS	EV.	ET.	P	R	Ex.	D
1	50.0	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	4.8	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	5.8	3.9	0			
11	29.3	3.7	2.6	0			
12	28.7	4.4	3.1	2			
13	25.6	5.5	3.8	8			
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	8			
18	21.8	5.7	4.0	0			
19	17.6	5.7	4.0	0			
20	13.8	5.3	3.7	11			
21	29.9	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	3.9	2.7	0			
29	58.3	3.4	2.4	0			
30	55.9	3.9	2.7	0			
31							

Municipio: Manzanilla CP 57803
 EDAD: 6 meses
 K: 07
 LADA: 81.0 mm
 HAZENOA: Getzold
 SUERTE: 18A
 AREA: 20 has.
 S. SUELO: Panosa

Cuando el valor de LAS se aproxima a cero, se debe tomar la decisión de regar (Junio 27). El riego puede haberse programado con 6 días de anticipación así:

Junio 21

L A S = 20.9 mm, asumiendo la evaporación promedio de los 8 días anteriores.
21

$$EV = 4.4 \text{ mm/día}$$

ET = 0.7 x 4.4 mm/día = 3.1 mm; el número de días para el siguiente riego serán 20.9 mm/3.1 mm = 7 días, siendo la fecha de riego la de Junio 27.

ESTIMACION DE LOS REQUERIMIENTOS DE RIEGO CON BASE EN EL CICLO HIDROLOGICO

Los requerimientos de riego de la caña de azúcar dependen de las fechas de siembra o cosecha, ya que son labores realizadas en forma casi continua durante todo el año en el Valle del Cauca. Para ilustrar la observación anterior se presenta un análisis hídrico con base en los registros de Precipitación y Evaporación del tanque Clase A (10 años), obtenidos en el Ingenio Providencia. Para el cálculo de la evapotranspiración se asumirá un factor K = 0.35 durante los primeros 4.5 meses, y K = 0.7 entre 4.5 y 10 meses. Los riegos son suspendidos a los 10 meses.

Para ilustrar la estimación de los requerimientos de riego se analizará las siembras o cosechas realizadas en los meses de Enero, Marzo y Julio.

Cañas sembradas en Enero

En la Figura 8 se presenta el balance hidrológico bajo el cual estarían sometidas las cañas sembradas o cosechadas en el mes de Enero. Inicialmente, después de la siembra es posible que se presenten algunas lluvias que garanticen la humedad requerida durante la germinación (80 - 100 mm). Sin embargo, se ha considerado la aplicación de un riego de 25 mm inmediatamente después de la siembra. En los meses siguientes de Febrero, Marzo, Abril y Mayo, la precipitación supera ampliamente a la ET estimada. Durante el período seco de Junio, Julio y Agosto, las lluvias no son suficientes para compensar la ET y este período coincide con el inicio de la etapa de rápido crecimiento en donde los requerimientos de agua de la caña son mayores. El déficit estimado de humedad es de 135 mm que podrían ser aplicados en 3 riegos de 45 mm, para un total de lámina de riego neta requerida de 160 mm y la frecuencia de riego sería aproximadamente de 30 días.

Cañas sembradas en Marzo

Las siembras de caña en el mes de Marzo son poco frecuentes, sin embargo, ocurren cortos períodos sin lluvias que permitan adelantar esta labor. En la Figura 9, se presenta el ciclo hidrológico para las cañas sembradas en este período; a pesar de que las lluvias son muy probables, durante el período de germinación se ha contabilizado un riego de 25 mm. El período de sequía coincide con la parte final del macollamiento y el inicio del período de rápido crecimiento; los requerimientos de riego son un poco menores y el déficit posible sería de 113 mm. Este déficit podría ser compensado con la aplicación de 2 riegos de 60 mm, la lámina de riego neta requerida sería de 113 mm.

Cañas sembradas en Julio

Estas siembras coinciden con el período seco y los riegos de germinación deben ser suficientes para satisfacer los requerimientos de agua durante la germinación que varían entre 80 y 100

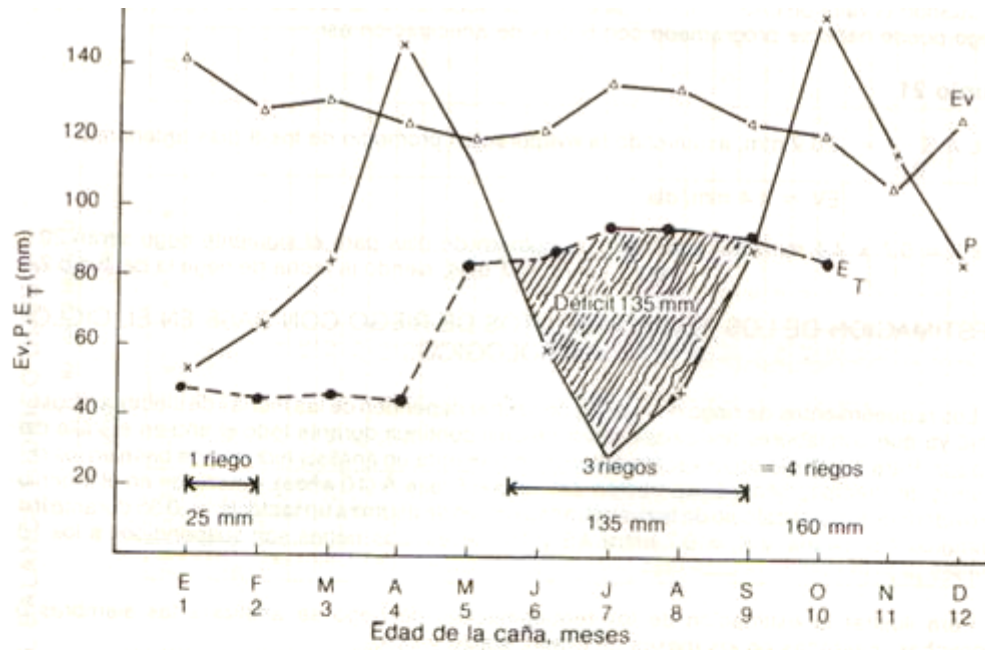


Figura 8. Balance Hidrológico para cañas sembradas o cosechadas en Enero.

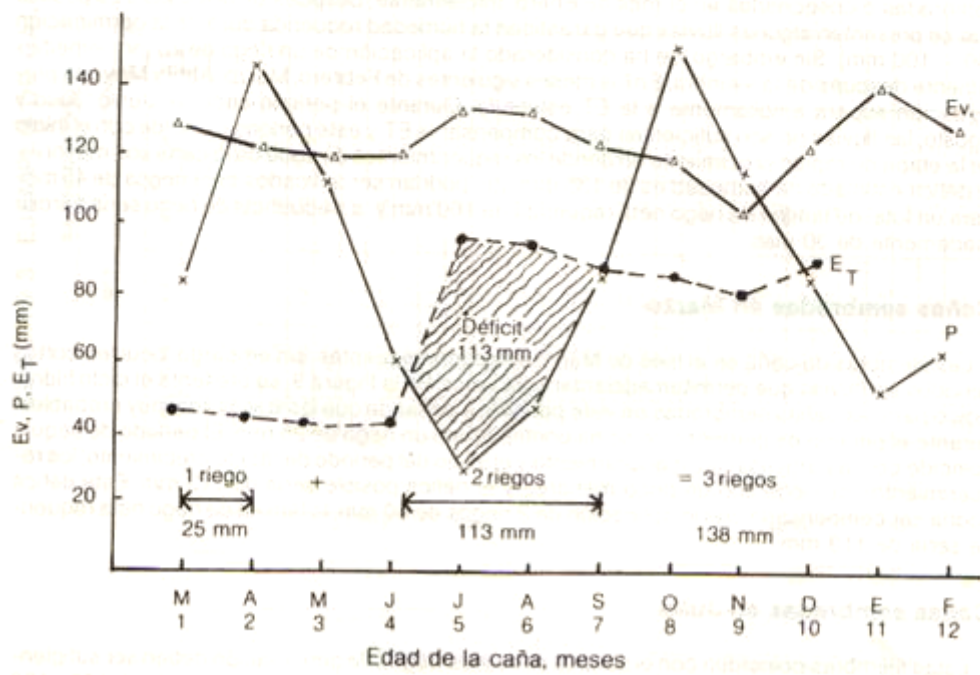


Figura 9. Balance Hidrológico para cañas sembradas o cosechadas en Marzo.

mm, que pueden ser aplicados con frecuencias de 12 a 15 días en láminas de 30 mm (Figura 10). El inicio del periodo de rápido crecimiento coincide con la estación seca de Diciembre y Enero; el déficit de humedad estimado es menor (78 mm), pudiendo ser compensado con la aplicación de unos 2 riegos de 40 mm cada uno. El número total de riegos sería de 3, aplicando una lámina neta de 103 mm.

Comentarios

La metodología presentada para la estimación de los requerimientos de riego puede servir como guía para el cálculo y diseño de los sistemas y equipos de riego; se debe tener en cuenta que existen años que se apartan de los años normales y por consiguiente los requerimientos pueden ser superiores.

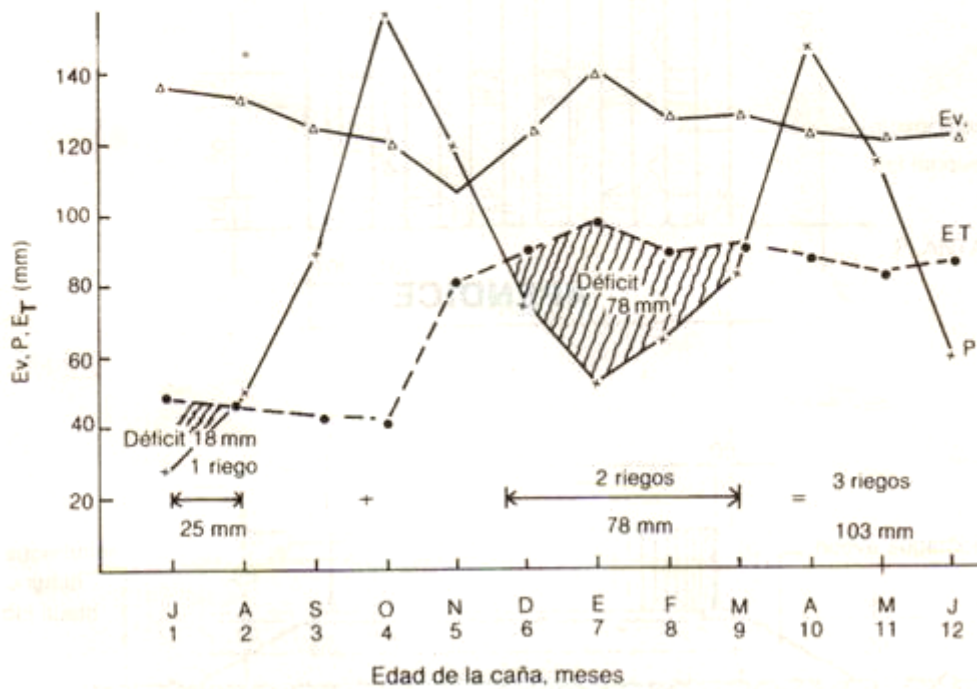


Figura 10. Balance Hidrológico para cañas sembradas o cosechadas en Julio.

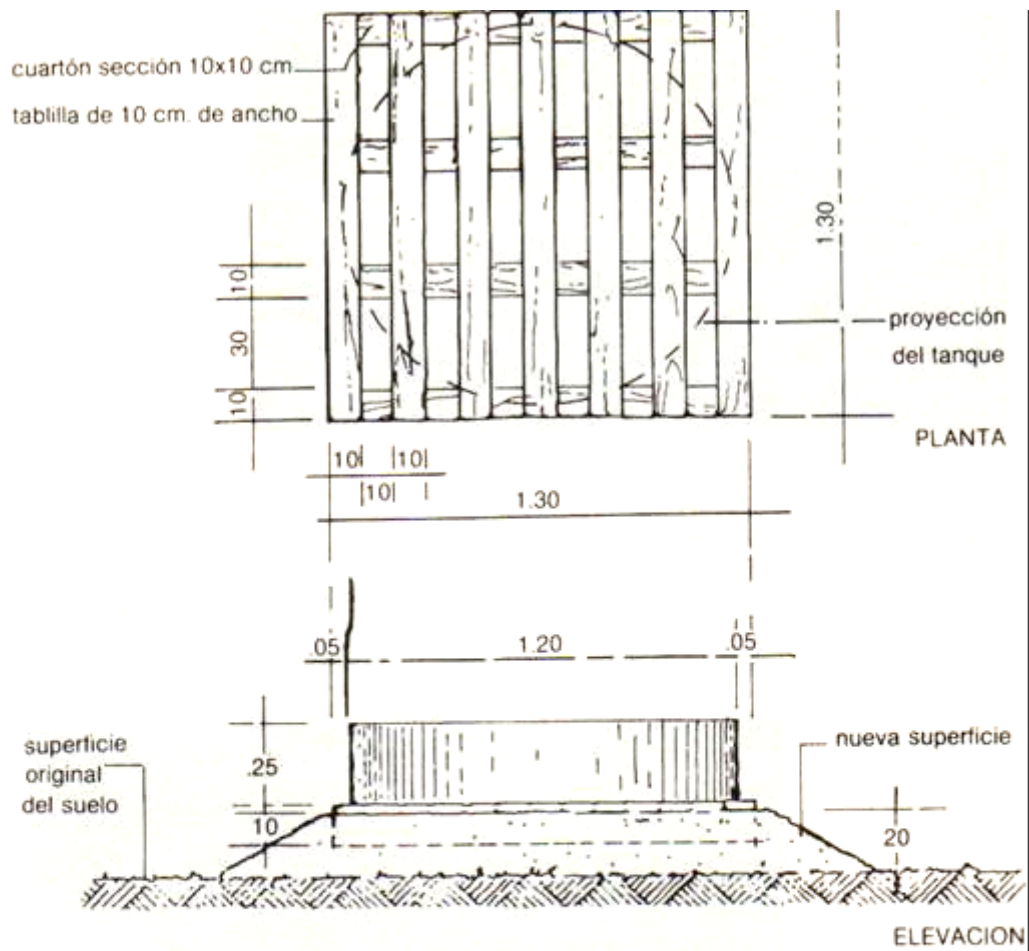


Figura 1. Tanque Evaporímetro Clase A (USWB)



APPENDICE



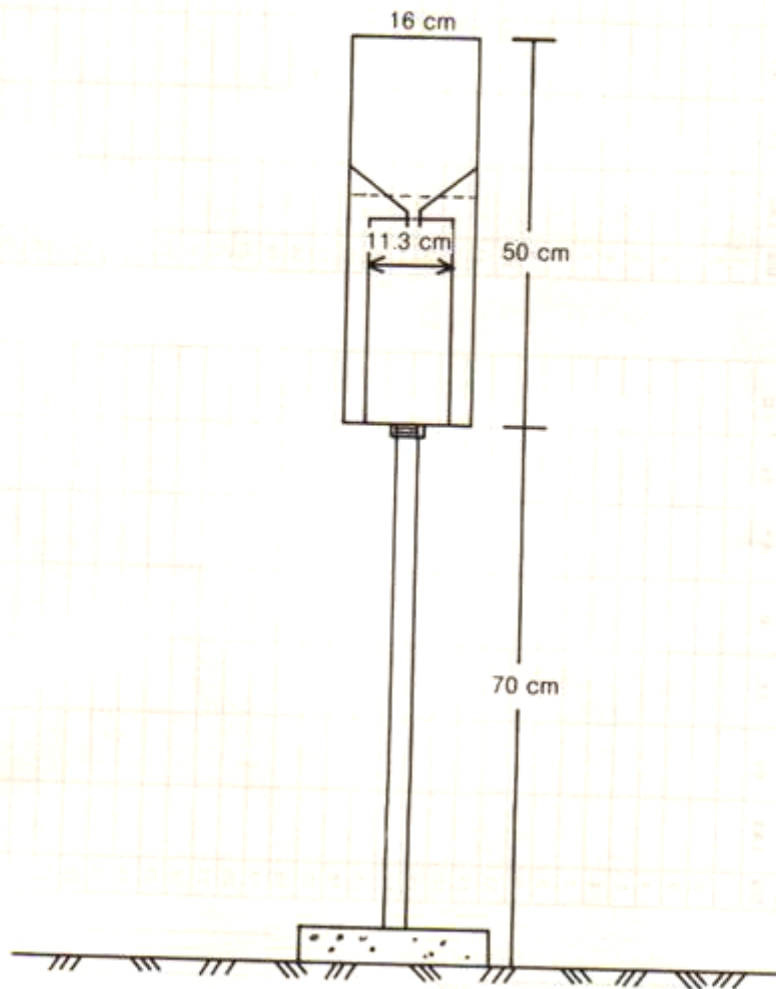


Figura 2. Vista general de un pluviómetro.

CUADRO 1. FORMATO PARA EL CALCULO DEL BALANCE HIDRICO DIARIO

BALANCE HIDRICO
 MES: _____ AÑO: _____

BALANCE HIDRICO
 MES: _____ AÑO: _____

VAREIDAD _____
 EDAD _____
 N _____
 LARA _____
 INGENIO _____
 HACIENDA _____
 SUERTE _____
 AREA _____
 S. SUELO _____

Día	LAS	EV.	ET.	P	R	Ex.	D
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							

Día	LAS	EV.	ET.	P	R	Ex.	D
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							