

PROGRAMACION DEL RIEGO MEDIANTE EL BALANCE HIDRICO EN UNA PLANTACION DE CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum officinarum*) EN EL CANTON MARCELINO MARIDUEÑA PROVINCIA DEL GUAYAS

José Pardo V. y Jaime Proaño S.¹

RESUMEN

La programación del riego para el cultivo de caña de azúcar consistió en calcular la (Eto) mediante lecturas semanales del tanque evaporímetro clase “A” y utilizando el método de Penman-Monteith de la FAO, así mismo se calculó el consumo de agua en todas las etapas fenológicas y la eficiencia de aplicación del mismo.

El experimento de campo, se inicio el 14 de agosto del 2005 y se concluyo el 25 de Abril del 2007. La evaluación del balance hídrico de la caña de azúcar se realizó en el Ingenio San Carlos, a partir del 19 de Diciembre del 2005 y finalizo el 03 de septiembre del 2006, con los resultados de la cosecha de la caña de azúcar utilizando la variedad ragnar. La evaluación del sistema de programación del balance hídrico del Ingenio San Carlos, consistió en regar un lote demostrativo cuando la humedad del campo descendiera.

Para ello se utilizó el tanque evaporímetro clase “A”, midiendo los niveles de evaporación del mismo, para poder realizar los cálculos del (ETo), se tomo en cuenta mes a mes (K) **Evapotranspiración actual o acumulada**, (LARA) **Lamina de agua rápidamente aprovechable**, variedad – edad y el cambio de las diferente laminas al pasar las diferente etapas del periodo de crecimiento. El sitio del experimento se encontraba en el cantero 13 secciones 01 lote 011305 del Ingenio San Carlos.

Los resultados obtenidos indican que el mejor tratamiento utilizado fue de 1.95 l/s, con una eficiencia del 89%. Se realizo la evolución del programa de riego del INGENIO SAN CARLOS mediante una hoja de Excel, detallando cada condición para el balance hídrico llegando a obtener diversos problemas como el intervalo de riego para cada mes seco.

INTRODUCCION

El país cuenta con 71.300 hectáreas sembradas de caña de azúcar en las siguientes provincias: Guayas con el 72.4%; Cañar con el 19.60%; Imbabura y Carchi con el 4.20%; Los Ríos con el 2.4% y Loja con el 1.40%. El rendimiento promedio histórico es de 72 tm./hectárea/año.*

En el Ecuador existen 6 ingenios azucareros: La Troncal con 29.600 Has.; Valdez con 16.000 Has.; San Carlos con 20.000 Has.; IACEM con 3.500 Has; Monterrey con 1.200 Has y el ingenio Isabel María con 1.000 Has.

El crecimiento de la caña de azúcar varía principalmente en función de la evapotranspiración, del contenido de humedad o régimen de humedad del suelo, razón suficiente para definir parámetros de riego que nos permita al máximo aprovechar la potencialidad tanto del suelo como el de la caña de azúcar.

Es conocida la importancia del agua en la producción del material vegetativo de la caña de azúcar, razón por la que es imprescindible determinar la cantidad de agua exacta que necesita el cultivo como

¹ Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Agraria del Ecuador. Correo electrónico: info@uagraria.edu.ec
www.uagraria.edu.ec

las frecuencias de riego para poder establecerlo con fuerte desarrollo capaz de alcanzar los máximos rendimientos por unidad de superficie.

El ciclo vegetativo de la caña en el Ingenio San Carlos es de 12 meses con etapas marcadas como crecimiento (germinación y macollamiento de 0 a 5 meses), gran crecimiento que comprende de 5 a 9 meses y maduración de 9 a 12. Cada etapa difiere de la otra en cuanto a necesidades hídricas sea para la germinación, crecimiento y maduración situación esta que implica la variabilidad de láminas de riego dependiendo de la edad del cultivo.

El riego por superficie, depende en buena medida de las relaciones que vinculan el caudal con el agua a regar y la capacidad de infiltración del suelo (Etc) y la evapotranspiración del cultivo.

La programación de riego mediante un balance hídrico, permite conocer cuando regar y cuanto de agua aplicar para reponer al suelo el agua consumida por la planta.

OBJETIVOS

Los objetivos para el presente trabajo de investigación son:

General

Programar el riego mediante el balance hídrico en una plantación de caña de azúcar.

Específicos

1. Calcular la (Eto) mediante lecturas semanales del tanque evaporímetro clase "A" y el método de Penman Monteith.
2. Determinar la evapotranspiración del cultivo de caña de azúcar (Eto) y el coeficiente (Kc) del cultivo.
3. Estimar la precipitación efectiva basada en el valor de la precipitación total.
4. Programar el riego mediante el uso del balance hídrico, utilizando la tina de evaporación tipo clase "A".

METODOLOGIA

Localización del ensayo

El presente trabajo de investigación se realizó en los terrenos de propiedad del Ingenio San Carlos, Cantón Marcelino Maridueña perteneciente a la provincia del Guayas.

El mencionado predio está limitado al Norte con el predio Naranjito al Sur con el predio el triunfo, al Oeste con el predio Bucay y el Este con el predio Roberto Astudillo y con su correspondiente código (lote) No. 011305 de 12.37 Has.

Localización geográfica y Ecológica son las siguientes.

Latitud: 02° 16' 32" S
Longitud: 79° 25' 35" W
Altitud: 35 m

Datos climáticos

Clima:	Bosque Húmedo Tropical ¹
Temperatura media anual:	25.34 °C
Humedad relativa media anual:	82 %
Velocidad del viento media anual :	1.3 - 1.9 m/s
Heliofania:	733.7 horas/año
Precipitación acumulada media anual:	1557 mm
Evaporación media anual:	1105.38 mm
Nubosidad:	7/8 cielo cubierto

Según la clasificación ecológica de HOLDRIGE, corresponde a Bosque Húmedo Tropical ^{2/}

Adicional a la superficie de caña, el ingenio San Carlos administra 1,830 ha. De propiedad de cañicultores asociados y 126 ha. De arrendatarios, dando un área regable de 16.846 ha.

Características del suelo

Los suelos pertenecen a una zona de planicie aluvial, su formación se debe a desplazamientos fluviales laterales y a la sedimentación durante los periodos de desborde. Su textura varía de franco arenoso a franco.

Características físicas

Para la determinación de las características físicas del suelo se procedió, a la ubicación del cantero 13 - sección 01 (lote – 011305), con el área total de 12.37 Has (82467 mts²), donde se realizó el estudio del perfil del suelo, observándose lo siguiente:

Fecha	14 de Agosto
Zona	San Carlos (Marcelino Maridueña)
Observador	Héctor José Pardo Veloz
Topografía	plana
Pendiente	3%
Erosión	No visible
Drenaje	Bueno

A continuación se presentan los resultados de los análisis físicos realizados en el laboratorio del Ingenio San Carlos.

Tabla 1. Análisis físico

PROFUNDIDAD DE HORIZONTES	Textura	CC (%) Peso /seco	PMP (%) Peso /seco
Ap - Cl	Franco	19.62	10.79
C2	F.aren.	17.32	8.66
C3	F.aren.	15.22	8.20
C4	Aren.	14.08	6.16

En forma similar se tomaron muestras de suelo con un barreno a una profundidad de 0-15; 15-30; 30-45; 45-60 cm. para determinar la textura, capacidad de campo, punto de marchitez permanente y densidad aparente, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 2. Estados de Humedad del suelo.

PROFUNDIDAD cm.	CC (%) Peso /seco	Pm (%) Peso /seco	Da gr/cm³
0 - 15	19,62	10.79	1.60
15 - 30	17.32	8.66	1.60
30 - 45	14,30	7.15	1.60
45 - 60	12.27	6.14	1.60

La clasificación granulométrica se realizó en el laboratorio de Suelos del Ingenio San Carlos y los datos obtenidos demuestran que el suelo corresponde a una textura franco arenoso como lo muestra el Tabla No. 3

Tabla 3. Granulometría y textura del suelo.

PROFUNDIDAD cm.	Textura	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
0 - 15	Franco	40	40	20
15 - 30	F. arenoso	52	30	18
30 - 45	F. arenoso	60	28	12
45 - 60	Arenoso	70	20	10

Determinación de las propiedades físicas del suelo

A continuación se presentan los resultados de los análisis físicos realizados en el laboratorio de la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR.

Tabla 4. Análisis físico del suelo.

No. de Laboratorio	PROFUNDIDAD cm.	Textura	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
211	0 - 60	F. arenoso	48	50	02
212	0 - 90	F. arenoso	54	14	32
213	0 - 60	F. arenoso	48	42	10
214	60 - 90	Franco	48	40	12

Con las mismas técnicas realizadas se tomo un barreno a diferentes profundidades en el suelo de: 0-15; 15-30; 30-45; 45-60 cm. para determinar la capacidad de campo, punto de marchitez permanente y densidad aparente, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 5. Estados de Humedad del suelo.

PROFUNDIDAD cm.	CC (%) Peso /seco	Pm (%) Peso /seco	Da gr/cm ³
0 - 15	19,32	11.59	1.16
15 - 30	16.12	9.36	1.16
30 - 45	12,60	7.50	1.16
45 - 60	10.27	6.12	1.16

Método gravimétrico para determinar la capacidad de campo

El método de capacidad de campo consiste en construir una piscina cuadrada pequeña (1 m x 1 m) directamente en el área más representativa del campo. Los bordes de la piscina se construyen con una pala para conformar un dique de unos 15a 20 cm de altura Una vez construido el dique se debe aplicar suficiente agua para llenar la piscina en tres o cuatro oportunidades durante el primer día. Posteriormente, cuando se ha aplicado una lámina significativa (100 mm ó 100 l/m-1) se cubre la piscina con un plástico oscuro o con sacos de polipropileno.

Después de 48 horas se pueden tomar muestras a diferentes profundidades y de acuerdo con los horizontes del suelo. La muestra se debe secar en un horno (105°C durante 24 horas) para obtener así el contenido gravimétrico de humedad a capacidad de campo.

Todas las muestras de suelos fueron analizadas por la Universidad Agraria del Ecuador, el resultado sirvió para la programación del riego mediante el balance hídrico en una plantación de caña de azúcar (saccharum officinarum).

RECURSOS HIDRICOS

Los recursos hídricos superficiales que se encuentran en la zona del Ingenio San Carlos son: el río Chimbo que tiene un recorrido de 22.4 Km. en el ingenio del cual capta 3.75 m³seg. En los meses de

Junio a Septiembre y 2,76 m³/seg. en los meses de Octubre a Diciembre, el río Chanchán que tiene un recorrido de 15,6 Km, del cual se capta 2,5 m³ /seg; el río Barranco alto que tiene un recorrido de 34.4 Km. Que por medio de bombeo capta 3,05 m³/seg.; y el río Milagro que tiene un recorrido de 6.1 Km. aproximadamente del cual se capta hasta 0,35 m³/seg.

Además cuenta con 8 reservorios con una capacidad total de 955.010 m³ y con una red de pozos profundos en un número de 61, de los cuales 53 son utilizados con fines de riego.

Tabla 6. Características agronómicas de la planta \forall

Variedad	Ragnar
Cruce	Co 270 x 33 Mo 371
Germinación %	90 días
Macollamiento	Bueno
Altura del tallo (m.)	3.5 mts.
Diámetro del tallo (mm.)	2.6 - 3.5 mm.
Color del tallo	Morado
Producción promedio (TM/Ha.)	90
Rendimiento 1Lbs.azúcar/TM.	225
Carbón	Tolerante grado 8
Roya	Intermedia
Mosaico	Susceptible
Escaldadura	Tolerante
Fiji	Tolerante

\forall Datos obtenidos en el departamento de Agronomía del Ingenio San Carlos

Riegos

En un cultivo de caña soca durante el primer riego se requiere un mayor volumen de agua para reactivar las cepas de la caña de azúcar por 2 motivos:

PRIMERO.- Sí no se ha llevado a cabo la subsolación de los surcos, el suelo va estar duro o compactado, será necesario aplicar un mayor tiempo de riego: por lo tanto, un mayor volumen de agua para obtener una adecuada lámina de humedad.

SEGUNDO.- Si se ha realizado la subsolación de los surcos, es necesario aplicar un mayor volumen de agua para que llegue rápido a la acequia desagüe y no se alteren las frecuencias de riego.

Después que se ha aplicado el primer riego, los siguientes deben ser ligeros, en algunos casos de ensaño, porque el cultivo al inicio tiene un crecimiento lento y a partir de los 2 meses una nueva cabellera radicular. Por estas consideraciones, es necesario ampliar moderadamente las frecuencias de riegos: así mismo, para acelerar la emergencia de los brotes y después del segundo mes para forzar al cultivo a desarrollar progresivamente su sistema radicular, de tal manera se llegue a maximizar la explotación del suelo y la absorción de los nutrientes.

En la mayoría de las variedades de caña de azúcar el período de rápido crecimiento se inicia a partir de los 4 a 5 meses; de edad, donde es necesario utilizar un mayor volumen de agua para obtener un mayor crecimiento y desarrollo o una mayor formación de tejido vegetal; toda deficiencia de agua, va a

repercutir en una reducción del crecimiento de los entrenudos en los tallos y la caña va a pesar menos, esto se comprueba cuando se llegue a pesar la caña cosechada.

La caña de azúcar a partir de los 12 meses de edad disminuye su ritmo de crecimiento adquiriendo madurez fisiológica en forma natural; por lo tanto, para continuar con este incremento de unión de monosacáridos glucosa y fructuosa que forman la sacarosa, es necesario ampliar las frecuencias de riegos y 45 días antes de iniciar la sequía del campo o agoste, se debe aplicar riegos pre-agostes ligeros para incrementar el estímulo de maduración, asimismo, para que el cultivo se vaya adaptando al estrés hídrico al que se va a someter.

PROGRAMA DE RIEGOS ESTIMADO

Para adecuarnos mejor a los programas de riegos en un cultivo de caña azúcar soca se está considerando las frecuencias de riego o el número de días que transcurre para volver a regar, de acuerdo a la estación climática y la clase textura del suelo

Suelos francos de textura moderadamente gruesa o arenosa

El verano: La frecuencia de riegos es en promedio cada 10 días.

En invierno: La frecuencia de riegos es en promedio cada 20 días.

Porque el cultivo reduce su capacidad para absorber agua y es necesario evitar las pérdidas de nutrientes por lixiviación.

PRIMER RIEGO COMUN

Se utiliza 1 jornal para tener un avance de 2 hectáreas; debido a la subsolación de los surcos la velocidad de infiltración del agua es rápida y se va obtener una buena lámina de humedad hasta la zona donde está ubicado la mayor parte del sistema radicular, lo cual va a favorecer al cultivo en la absorción del agua para reactivar las cepas de caña, porque las raíces están activas hasta los 2 meses de edad.

SEGUNDO RIEGO COMUN

Se aplica de acuerdo a la época del año y la clase textura del suelo, se utiliza Jornal para un avance de 2 hectáreas. Si en el campo se observa plantas con cogollito seco conocido como «corazón muerto», será necesario manejar los volúmenes de agua y frecuencias de riego para ahogar a la plaga **Elamospalpus lignosellus** «gusano picador de la caña», causante del síntoma. Finalizado el riego, se va observar en el campo la primera generación de malezas anuales y perennes: como se van a reacondicionar los surcos, primero es necesario llevar a cabo el control químico de las malezas perennes para evitar que adquieran madurez fisiológica, trasplantarlos y propagarlos.

TERCER RIEGO COMUN

Se aplica de acuerdo a la época del año y la clase textura del suelo, se utiliza 1 jornal para tener un avance de 2 hectáreas. Este riego tiene como objetivo continuar

Con el control de la plaga **Elamospalpus lignosellus** mediante el anegamiento y preparar el campo para realizar el control químico de las malezas anuales que se encuentran en la hilera de planta.

FORMA DE APLICACION DEL RIEGO

Los dos primeros riegos se realizaron en forma general a todas las repeticiones, siendo a partir del tercer riego la aplicación de los tratamientos diseñados, para ello recurrimos al control del Balance

Hídrico diario del suelo para lo que se tomó en cuenta los siguientes aspectos: la Evapotranspiración del cultivo de referencia (**ET_o**), del INGENIO SAN CARLOS, Evaporación media diaria del Tanque Evaporímetro Clase "A" (**ET_{Tan}**) y el Coeficiente del Tanque Evaporímetro Clase "A" (**K_{Tan}**).

Método para el cálculo de la Evapotranspiración de referencia

Fórmula para determinar el (ET_o) mediante lecturas semanales del tanque evaporímetro, clase "A".

Para determinar el análisis del balance hídrico de un cantero utilizaremos la toma de lecturas diarias y semanales del tanque evaporímetro, clase "A". La ET_o se estima de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$ET_o \text{ [mm/día]} = ET_{Tan} \text{ [mm/día]} * K_{Tan} \tag{1}$$

En donde:

ET_o = Evapotranspiración del cultivo de referencia, (mm/día).

ET_{Tan} = Evaporación media diaria del Tanque Evaporímetro Clase "A" (mm/día).

K_{Tan} = Coeficiente del Tanque Evaporímetro Clase "A"

Cálculo para determinar el (ET_o) mediante lecturas semanales del tanque evaporímetro, clase "A".

Formula:

$$ET_o \text{ [mm/día]} = ET_{Tan} \text{ [mm/día]} * K_{Tan}$$

En donde:

ET_o = Evapotranspiración del cultivo de referencia, (mm/día).

ET_{Tan} = Evaporación media diaria del Tanque Evaporímetro Clase "A" (mm/día).

K_{Tan} = Coeficiente del Tanque Evaporímetro Clase "A"

Método del tanque evaporímetro, clase "A"

El tanque evaporímetro Clase "A" permite estimar los efectos integrados del clima (la radiación, la temperatura, el viento y la humedad relativa del aire), en función de la evaporación de una superficie de agua libre de dimensiones estándar. Existe una íntima relación entre los procesos de Evapotranspiración del cultivo ET_c y la evaporación del Tanque Clase "A".

Tabla 7. Características y ubicación del tanque evaporímetro, clase "A".

Forma del Tanque	Circular
Material	Hierro galvanizado
Diámetro	120,5 cm (47,59")
Profundidad	25,4 cm (10")
Plataforma	Madera
Distancia a barlovento	50 m
Colocación en el campo	Estación Pluviométrica No 12 Nombre : A. MARIA

Método de PENMAN- MONTEITH

La ecuación de Penman-Monteith es una representación clara, precisa y simple de los factores físicos y fisiológicos que gobiernan el proceso de la evapotranspiración. Usando la definición de ETo, sobre la que se basa la ecuación de Penman-Monteith, se pueden determinar los coeficientes del cultivo relacionando la evapotranspiración medida del cultivo ETc con la ETo calculada, es decir:

$$Kc = Etc / ETo. \tag{2}$$

El factor Kc representa el resumen de las diferencias físicas y fisiológicas entre los cultivos y la definición de cultivo de referencia.

Fórmula para determinar el (ETo) mediante el método de Penman- Monteith

El método de Penman-Monteith es utilizado para estimar ETo, a partir de la ecuación original de Penman-Monteith y de las ecuaciones de resistencia aerodinámica y del cultivo:

$$Eto = \frac{0,408 \Delta (Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (es - ea)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \tag{3}$$

Donde:

- ETo: Evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹)
- Rn: Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻² día⁻¹)
- Ra: Radiación extraterrestre (mm día⁻¹)
- G: Flujo del calor de suelo (MJ m⁻² día⁻¹)
- T: Temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
- u2: Velocidad del viento a 2 m de altura (m s⁻¹)
- es: Presión de Vapor de saturación (kPa)
- ea: Presión real de vapor (kPa)
- es-ea: Déficit de presión de vapor (kPa)
- Δ: Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C⁻¹)
- γ: Constante psicrométrica (kPa °C⁻¹)

Datos

Para llevar adelante cálculos diarios, semanales, de diez días o mensuales de ETo, además de la localización del sitio, la ecuación de Penman-Monteith requiere datos de temperatura del aire, humedad atmosférica, radiación y velocidad del viento. Es importante verificar las unidades en las cuales se encuentran los datos climáticos.

Localización

La altura sobre el nivel del mar (m) de la zona para la que se determina la ETo y su latitud (grados norte o sur) deben ser especificados. Estos datos son necesarios para ajustar algunos parámetros climáticos

Temperatura

Para la aplicación de la fórmula de Penman-Monteith, se requiere información de temperatura diaria (promedio) máxima y mínima en grados centígrados (°C).

Humedad

El valor de la presión real (promedio) diaria de vapor, (e_a), en kilopascales (kPa) se requiere como dato de entrada para la aplicación de la ecuación de Penman-Monteith.

Radiación

La radiación neta diaria (promedio) esta expresada en megajoules por metro cuadrado por día ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$).

Viento

Para la aplicación de la ecuación de Penman-Monteith se requiere contar con la velocidad del viento (promedio) diaria en metros por segundo (m/s) medida a 2 m de altura sobre el nivel del suelo.

Determinación de la evapotranspiración del cultivo de referencia (E_{To}) y el factor (K_c) del cultivo.

Determinación de la evapotranspiración del cultivo de referencia (E_{To}).

Para determinar la (E_{To}), nos ayudaremos con el software de la FAO llamado CROPWAT, el cual calcula directamente estos parámetros

Determinación del coeficiente del cultivo - (K_c).

El coeficiente del cultivo. K_c , expresa la relación entre el uso consuntivo del cultivo en consideración. E_{Tc} , y la Evapo-transpiración del cultivo de referencia E_{To} .

Dichos coeficientes se determinan empíricamente comparando al uso consuntivo del cultivo, E_{Tc} , con el del cultivo de referencia, E_{To} , bajo idénticas condiciones, de acuerdo a las características del cultivo y de las fases de su desarrollo.

Típica de un cultivo anual, no es constante durante las fases de su desarrollo. Inicialmente K_c es bajo; pero, con el desarrollo vegetativo de las plantas K_c aumenta hasta alcanzar un máximo. Posteriormente y con la senectud del cultivo, su valor disminuye,

Los valores de K_c presentados en publicaciones de diversa índole, obtenidos bajo condiciones locales específicas de cultivo y clima, pueden ser muy útiles, a condición de que sean empleados siguiendo fielmente al método original con el que fueron estimados.

Estimación de la precipitación efectiva basada en el valor de la precipitación total.

Para la determinar la precipitación efectiva basada en el valor de la precipitación total utilizaremos varios métodos los cuales serán objeto de evaluación para saber cual de estas metodologías se ajustan a las condiciones climáticas de nuestro país y estas son:

- 1 Método de la ecuación de Renfro.**
- 2 Método de la razón evapotranspiración potencial / precipitación.**
- 3 Método del SCS del departamento de Agricultura de los Estados unidos.**

Todos estos métodos se encuentran en el manual # 25 “Precipitación efectiva” de la F.A.O.

Determinación de la precipitación al 20, 50, 80% de probabilidad de ocurrencia

Para determinar la precipitación con probabilidad de ocurrencia se utilizará el registro histórico de la estación meteorológica del Ingenio “San Carlos”, ubicado en Marcelino Maridueña, para lo cual se realizará el cálculo de los siguientes parámetros.

Recopilación de datos de precipitación

Para permitir el cálculo de probabilidades de precipitación, son necesarios registros históricos de una serie de 15 a 30 años.

Procesamiento de datos

Para la programación de las entregas y gestión del riego, se utilizan normalmente los datos de años normales, húmedos y secos.

Una estimación de los datos respectivos de precipitación puede obtenerse numérica y gráficamente a partir de las probabilidades calculadas con los registros existentes. Las diferentes etapas a seguir son:

- i. Tabular las precipitaciones anuales totales para un período dado.
- ii. Ordenar los datos en forma decreciente.
- iii. Tabular la posición de trazado, de acuerdo a:

$$Fa = 100 * m / (N + 1)$$

Donde:

N = número de registros

m = número de orden

Fa = probabilidad de excedencia (gráfico).

BALANCE HIDRICO

Elaboración de la programación de riego mediante un balance hídrico diario y semanal. Para la elaboración de un programa de riego mediante un balance hídrico puede realizarse en periodos diarios o semanales. Basado en la información Agro-meteorológica para cultivos anuales. Esta metodología consiste en realizar una hoja de cálculo en Excel con los siguientes parámetros:

- ✓ Datos agros climáticos.
- ✓ Numeración de días.
- ✓ Cálculos de láminas de agua en el suelo (LAS).
- ✓ Datos de evaporación (EV).
- ✓ Datos de evapotranspiración (Et).
- ✓ Datos de precipitaciones.
- ✓ Necesidades de riego.
- ✓ Exceso y déficit de agua.

Fórmula para determinar la programación de riego mediante un balance hídrico

El balance hídrico es la ganancia o pérdida de humedad en el suelo durante un periodo definido. Durante la aplicación de la metodología de balance hídrico se debe recordar que la estimación de la evapotranspiración actual a partir de las lecturas del tanque de evaporación clase “A”, es válida mientras exista en el suelo un suministro adecuado de humedad para la planta. Los cálculos del

balance hídrico se deben iniciar después de un riego o de un aguacero, en el ingenio San Carlos, se inicia el riego con (38,00 mm), teniendo certeza de que el perfil del suelo está a capacidad de campo. Periódicamente se debe inspeccionar la humedad del suelo para realizar los ajustes que sean necesarios. La ecuación se puede generalizar de la siguiente manera para cálculos del balance hídrico.

Formula:

$$LAS^1 \text{ (mm)} = LAS + (P + R - Et)$$

Formula (4)

En donde:

LAS^1 = Lamina de agua en el suelo. (mm.)

LAS = Lamina de agua inicial en el suelo. (mm.)

P = Precipitación (mm.).

R= Riego (mm.)

Et = Evapotranspiración (mm.)

RESULTADOS

Lecturas del tanque evaporímetro clase “A” y el método de Penman Monteith

Los resultados del tanque evaporímetro clase “A”, se pueden presentar de 2 formas: lecturas diarias y lecturas semanales (mm/día). Las lecturas semanales son las presentadas para encontrar el (ETo).

Tabla 8. Cálculo para determinar la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETO) del tanque evaporímetro, clase “A”.

Semanas	Etan [mm/día]	Veloc/viento m/seg	Ktan	Eto [mm/día]
1	2.70	2	0.7	1.8
2	3.70	2	0.7	2.4
3	3.70	2	0.6	2.4
4	3.04	2	0.6	2.0
5	2.45	2	0.7	1.6
6	3.11	2	0.6	2.0
7	2.84	2	0.6	1.9
8	3.10	2	0.6	1.9
9	2.77	2	0.6	1.7
10	3.01	2	0.6	1.8
11	3.27	2	0.6	2.1
12	3.99	2	0.6	2.6
13	4.23	2	0.7	2.8
14	4.31	2	0.6	2.6
15	4.03	2	0.6	2.5
16	3.80	2	0.6	2.4
17	4.30	2	0.7	2.9

18	4.25	2	0.6	2.6
19	3.91	2	0.6	2.5
20	3.60	2	0.6	2.3
21	3.41	2	0.7	2.2
22	3.84	2	0.6	2.5
23	3.10	2	0.6	2.0
24	3.27	2	0.6	2.1
25	2.48	2	0.7	1.7
26	2.77	2	0.7	1.9
27	2.77	2	0.7	1.8
28	2.72	2	0.7	1.8
29	2.60	2	0.7	1.7
30	2.69	2	0.6	1.7
31	2.12	2	0.6	1.3
32	2.45	2	0.6	1.6
33	2.74	2	0.6	1.8
34	2.25	2	0.6	1.4
35	3.10	2	0.6	1.9
36	3.05	2	0.6	1.9
37	2.84	2	0.6	1.8

El resultado del método de Penman Monteith, se utilizó la ecuación de resistencia aerodinámica del cultivo para hallar el valor del (ETo).

Las diferencias entre los 2 métodos no cambiaron el valor del (ETo), es decir, que los métodos y resultados son iguales y por lo tanto no hubo efecto en la respuesta del programa del BALANCE HIDRICO realizado en Excel.

Tabla 9. Resultados para determinar el (ETo) mediante método de penman- monteith.

Evapotranspiración de referencia (ETo) Penman - Monteith							
Localidad:	Ing. San Carlos			Estación Pluviométrica: No 12. A. MARIA			
Altitud:	2°16'32"	mts		Coordenadas:	S		
Latitud:	79°25'35"	mts		Coordenadas:	W		
Mes	Temp.	Temp.	Humedad	Veloc.	Insol.	Radiación	ETo
	<i>Máx.</i>	<i>min.</i>	%	<i>viento</i>	<i>horas</i>	<i>MJ/m²/día'</i>	
	°C	°C		<i>km/día</i>			<i>mm/día</i>
Enero	29,9	22,2	80	170,2	2,86	9,9	2,9
Febrero	29,7	22,6	79.6	250,6	1,75	9,8	3,18

<i>Marzo</i>	30,5	22,9	78.4	186,6	2,71	10	3,1
<i>Abril</i>	30,6	20,6	78	169,3	3	9,7	3,04
<i>Mayo</i>	29,7	21,7	77.2	180,6	2,44	8,9	2,87
<i>Junio</i>	27,9	20,4	82.5	157,2	1,14	8,3	2,35
<i>Julio</i>	27,1	19,8	80	181,4	1,2	8,4	2,5
<i>Agosto</i>	28,5	20,4	78.4	172,8	1,6	9,1	2,76
<i>Septiembre</i>	28,4	20,5	78	190,1	1,2	9,4	2,91
<i>Octubre</i>	29,3	20,9	77.2	164,2	1,8	9,6	2,93
<i>Noviembre</i>	28,3	21,2	77.9	190,1	0,9	9,4	2,89
<i>Diciembre</i>	29,1	21,6	71.6	163,3	2,8	9,4	3,07
ANUAL	29,1	21,2	79,0	181,4	1,9	9,3	2,9

La evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) y el factor (K_c) del cultivo

Los resultados para encontrar la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o), nos ayudamos con el software de la FAO llamado CROPWAT, el cual calcula directamente estos parámetros. Los datos para ser utilizado en el cálculo evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o), corresponden a precipitaciones mensuales. El resultado del factor K_c, expresa la relación entre el uso consuntivo del cultivo en consideración (E_c), y la Evapo-transpiración del cultivo de referencia (ET_o). Dichos coeficientes se determinan empíricamente comparando al uso consuntivo del cultivo (E_c), con el del cultivo de referencia (ET_o), bajo idénticas condiciones, de acuerdo a las características del cultivo y de las fases de su desarrollo.

La caña de azúcar cultivo anual, indica sus fases de su desarrollo. Inicialmente K_c es bajo, el desarrollo vegetativo de las plantas K_c aumenta hasta alcanzar un máximo. Posteriormente y con la senectud del cultivo, su valor disminuye.

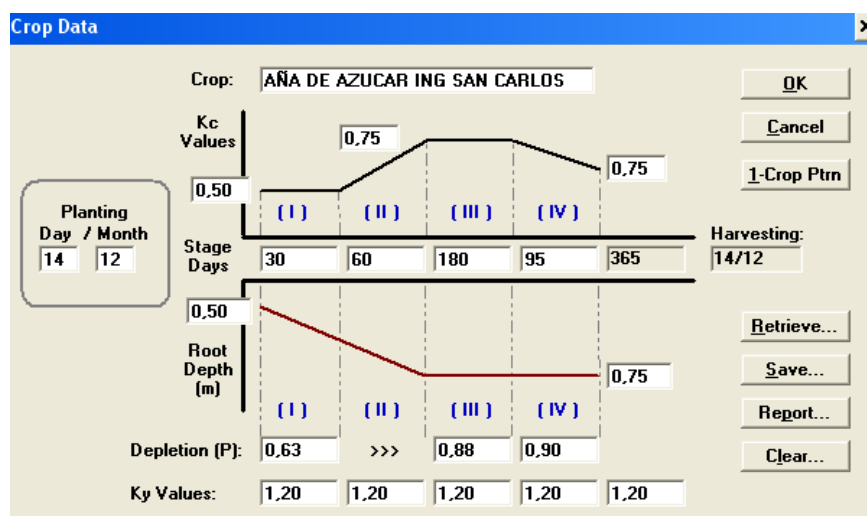


Figura1. Datos para el coeficiente (K_c) Cropwat.

Estimación de la precipitación efectiva basada en el valor de la precipitación total.

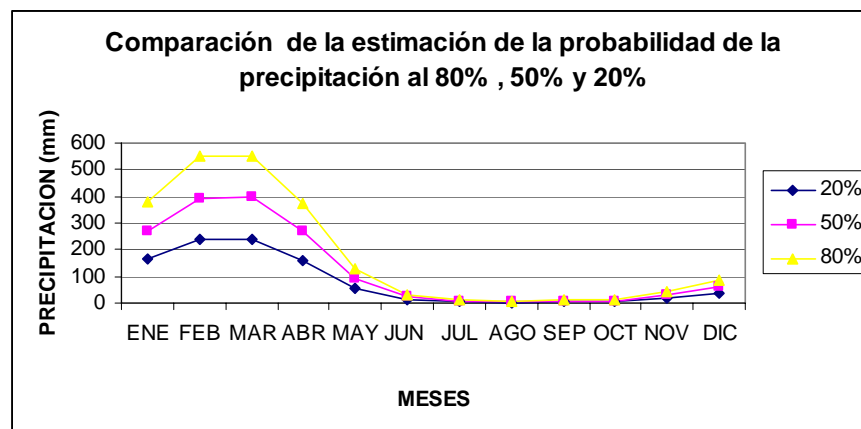


Figura 2. Probabilidad de la Precipitación efectiva basada en el valor de la precipitación total.

Programar el riego mediante el uso del balance hídrico, utilizando la tina de evaporación tipo clase "A".

Con los resultados obtenidos de las hojas de Excel, se pudo realizar el registro del balance hídrico diario, así desarrollando un programa de fácil uso en el cultivo de caña de azúcar

Lo mas evidente fue la aplicación de riego y la relación agua – planta, debido la sequía de los meses Abril hasta Junio, donde se aplicaron más de 17 días de riego consecutivos en los meses mencionados.

El resultado de L.A.S (laminas de agua en el suelo) fue (- 0.93 mm) de déficit anual, estos datos se registraron en la hoja de Excel, de la tesis en desarrollo, el principal factor fue las condiciones climáticas que se dio en el INGENIO SAN CARLOS, a continuación se presenta el cálculo con su respectivos resultados para determinar la programación de riego mediante un balance hídrico.

HOJA DE BALANCE HÍDRICO DIARIO

Ingenio : " SAN CARLOS "				Edad : 23/06/2006 hasta 17/07/2006					
Suelo : FRANCO				K : 1,0					
Variedad : RAGNAR				LARA :					
23/06/2006	26,70	2,77	2,77	0,00	0,00	0,00	0,00	23,93	23,93 REGAR
24/06/2006	23,93	2,77	2,77	0,00	0,00	0,00	0,00	21,16	21,16 REGAR
25/06/2006	21,16	2,77	2,77	0,00	0,00	0,00	0,00	18,39	18,39 REGAR
26/06/2006	18,39	2,72	2,72	0,00	0,00	0,00	0,00	15,67	15,67 REGAR
27/06/2006	15,67	2,72	2,72	0,00	0,00	0,00	0,00	12,95	12,95 REGAR
28/06/2006	12,95	2,72	2,72	0,00	0,00	0,00	0,00	10,23	10,23 REGAR
29/06/2006	10,23	2,72	2,72	0,00	0,00	0,00	0,00	7,51	7,51 REGAR
30/06/2006	7,51	2,72	2,72	0,00	0,00	0,00	0,00	4,79	4,79 REGAR
01/07/2006	4,79	2,72	2,72	0,00	32,99	0,00	0,00	35,06	35,06 REGAR
02/07/2006	35,06	2,72	2,72	0,00	0,00	0,00	0,00	32,34	32,34 REGAR
03/07/2006	32,34	2,60	2,60	0,00	0,00	0,00	0,00	29,74	29,74 REGAR
04/07/2006	29,74	2,60	2,60	0,00	0,00	0,00	0,00	27,14	27,14 REGAR
05/07/2006	27,14	2,60	2,60	0,00	0,00	0,00	0,00	24,54	24,54 REGAR
06/07/2006	24,54	2,60	2,60	0,00	0,00	0,00	0,00	21,94	21,94 REGAR
07/07/2006	21,94	2,60	2,60	0,00	0,00	0,00	0,00	19,34	19,34 REGAR
08/07/2006	19,34	2,60	2,60	0,00	0,00	0,00	0,00	16,74	16,74 REGAR
09/07/2006	16,74	2,60	2,60	0,00	0,00	0,00	0,00	14,14	14,14 REGAR
10/07/2006	14,14	2,60	2,60	0,00	0,00	0,00	0,00	11,54	11,54 REGAR
11/07/2006	11,54	2,69	2,69	0,00	0,00	0,00	0,00	8,85	8,85 REGAR
12/07/2006	8,85	2,69	2,69	0,00	0,00	0,00	0,00	6,16	6,16 REGAR
13/07/2006	6,16	2,69	2,69	0,00	31,71	0,00	0,00	35,18	35,18 REGAR
14/07/2006	35,18	2,69	2,69	0,00	0,00	0,00	0,00	32,49	32,49 REGAR
15/07/2006	32,49	2,69	2,69	0,00	0,00	0,00	0,00	29,80	29,80 REGAR
16/07/2006	29,80	2,69	2,69	0,00	0,00	0,00	0,00	27,11	27,11 REGAR
17/07/2006	27,11	2,12	2,12	0,00	0,00	0,00	0,00	24,99	24,99 REGAR

Cálculo para determinar la programación de riego mediante un balance hídrico.

$$LAS \text{ (mm)} = LAS + (P + R - Et)$$

En donde:

LAS = Lamina de agua en el suelo. (mm.)

P = Precipitación (mm.).

R= Riego (mm.)

Et = Evapotranspiración (mm.)

Ejemplo

$$LAS \text{ (mm)} = LAS + (P + R - Et)$$

$$LAS \text{ (mm)} = 38 + 0 - 1.36$$

$$LAS \text{ (mm)} = 36.64$$

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación sobre el balance hídrico en la caña de azúcar **saccharum officinarum** en EL INGENIO SAN CALROS, calculado a partir de datos edafológicos y climáticos se puede concluir que:

- El tanque evaporímetro clase A fue extremadamente útil para el control del balance hídrico de una manera practica obteniendo resultados exactos en el momento que el suelo necesito riego.
- El promedio de ciclo de riego mas adecuado para el cultivo de la caña de azúcar en las condiciones climáticas del INGENIO SAN CARLOS durante los meses septiembre, octubre, noviembre, y diciembre fue de 20 días
- La relación producción agua del cultivo de la caña de azúcar fue 3.35 tonelada de caña por milímetro de agua consumida.
- Lo complejo del balances de programación, fue en el mes de Abril hasta el mes Junio donde el INGENIO SAN CARLOS, el resultado de L.A.S (laminas de agua en el suelo) fue (0.00 mm) que el programa de la tesis.
- La sequedad del mes Abril hasta Mayo, hizo que el INGENIO SAN CARLOS aplicara más de 17 días de riego consecutivos.
- Los surco en un suelo franco arenoso permite infiltrar laminas de riego de 25.50 mm en eficiencia de aplicación del 89 %.
- El suelo franco arenoso de nuestro experimento presento valores de $K = 5.64$ y $m = 0.50$ de los parámetro de KOSTIAKOV, para predecir laminas de infiltración en un tiempo cualquiera.
- La tensión de humedad del suelo fue calculado alrededor de 1/3 atmósfera.

RECOMENDACIONES

- Regar los surcos de textura franco arenoso para la caña de azúcar, mediante láminas de reposición del 50% de la lámina de capacidad de campo, con la cual obtenemos una eficiencia aceptable de infiltración del 89%
- Recomendamos posteriormente a los 20 días después de la siembra usar ciclo de intervalos de 15 días para los meses septiembre, octubre noviembre y diciembre.
- Usar el tanque evaporímetro clase A para realizar los cálculos de evapotranspiración del cultivo de la caña de azúcar.
- Determinar los valores del factor de evapotranspiración del cultivo que se ajuste de las condiciones de la zona, por ende a las necesidades hídricas más reales de la caña de azúcar.
- Realizar el experimento en suelo de diferente textura, para que en un futuro se tengan criterios más amplios y confiables.
- Diseñar surco de diversas longitudes para tener una amplia visión sobre los diferentes tipos de suelos.

BIBLIOGRAFIA

ENCARTA (2005), ENCARTA (2005), Cultivos Azucareros. Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

HUMBERT (1995), Drenajes. En: El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Editorial Eroca. Cali, Valle del Cauca, Colombia.

SIMANCAS (2005), SIMANCAS W. (2005), Clasificación Taxonómica de la Caña de Azúcar (En línea, consultado el 25 – 01 – 2005). Disponible en:
<http://www.monografias.com/trabajos33/cultivos/azucareros.shtml>

INFOAGRO (2005), El cultivo de Caña. Copyright [infoagro.com](http://www.infoagro.com) Todos los derechos reservados. (En línea, consultado el 16 – 02 – 2005). Disponible en:
<http://www.infoagro.com/herbaceas/caña>

DOMÍNGUEZ (1996), Drenajes. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Sexta Edición Cali, Valle del Cauca, Colombia. pp. 385

HERRERA (2004), Avances técnicos para la programación y manejo del riego en caña de azúcar. Editorial caña Cali Continental. Segunda edición. México DF. (Serie Técnica no.19).

F.A.O (1996), Requerimientos Nutricionales en el cultivo de Caña de Azúcar. (En línea, consultado el 06 – 02 – 2005). Disponible en:
<http://www.fao.org>

CALDERÓN (1990), Calculo de nutrientes en el cultivo de caña de azúcar en la Habana Cuba (En línea, consultado el 10 – 01 -05). Disponible en:

http://www.dr Calderonlabs.com/Cultivos/Caña/Calculos_Nutrientes.htm

TORRES, J.(1980), Influencia del Clima en el Rendimiento de la Caña de Azúcar. Revista El Agro, Edición 102

BUENAVENTURA, C, (1993), La Caña de Azúcar. Editorial Blumes, S.A. Primera edición. Santa fe de Bogota, - Colombia. pp. 19-20

ISRAELSEN, O. Y HANSEN, V. (1990) Efecto del riego sobre el desarrollo y producción de la Caña de Azúcar. Vol. No.97. Estación Experimental Occidente. parte I. Yaritagua. pp. 7-25.

CASSEL Y COLABORADORES (1992) Riego por surco alterno en Caña de azúcar. Núm. 72 (En línea, consultado el 06 – 08 – 2003). Disponible en:

<http://www.correodelmaestro.com/anteriores/2002/mayo/2nosotros72.htm>

SMITH (1993), Cultivo de Caña de Azúcar. Editorial Aedos, S.A. Segunda edición. Madrid – España pp. 199-210

ORASSI (1997), Caña de Azúcar, Boletín informativo número 22. (En línea, consultado el 06 – 08 – 2004). Disponible en:

<http://www.lamolina.edu.pe/caña/BOLETIN-22-2004/default1.htm>

JENSEN, M. (2001), Cuantificación del régimen de agua en el suelo para la optimización del riego. Vol. Inf. No.9. Gerencia de Campo C.A. Central Río Turbio. pp. 4-14.

CRUZ, R., VILLEGAS, F-, (1997), El cultivo de la Caña de Azúcar en al zona azucarera de Colombia. Editorial Continental. Segunda edición. México DF. Pp193-210.

KOSTIAKOV, (1993), Guía Práctica del Cultivo de Caña de Azúcar. . Editorial Acribia. Zaragoza – España pp 207.

VEIHMEYER, Y ENDRECKSON, (1999), Análisis de la productividad en la Agroindustria Azucarera de Colombia. En: El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Segunda Edición. Cali, Valle del Cauca, Colombia.

GREGORY (1975), Manual de Caña de Azúcar. Editorial Gustavo Gilli, S.A. Sexta Edición. Colombia. pp 179

FAUCONNIER, R. y BASSEREAU, (1975), La caña de azúcar. Blume. España, 62, 63, 162, 164, 167.pp.