

PROCESOS PARA LA PLANIFICACIÓN DEL USO DE LA TECNOLOGÍA DEL RIEGO EN LAS CONDICIONES DE LA ZONA CAÑERA DE GUATEMALA

Otto René Castro Loarca¹ y Héctor Noé Monterroso Silvestre²

EXPOSITOR: Braulio Ramiro Villatoro Villatoro³

Resumen

El trabajo de investigación se realizó con el objetivo de establecer procesos técnicos que permitan planificar de manera eficiente del uso de las tecnologías de riego para las condiciones de la zona cañera de Guatemala, con el fin de optimizar el uso del agua. Para cumplir con este objetivo se recopiló, analizó e interpretó información técnica obtenida desde 1994 en el área de riegos de Cengicaña. Se desarrollaron ocho procesos, cada uno de ellos con información para la planificación y toma de decisiones en la ejecución de esta práctica. Los procesos técnicos definen los períodos de déficit según estrato altitudinal, el tipo de riego y las etapas fenológicas de aplicación; así mismo, la demanda climática, la capacidad del suelo para retener humedad, la capacidad para evapotranspirar (factor de respuesta de la caña a la aplicación del agua a través del riego) y por último, la decisión de la forma de operar el sistema de riego. Con el uso de información técnica de los ocho procesos y los modelos de balance hídrico se espera responder a las interrogantes ¿cuánto y cuándo regar?.

Introducción

El riego en la zona cañera de Guatemala, ubicada a 14° de latitud norte y 90° de longitud, es una actividad importante que se desarrolla junto con la zafra en el período seco entre el 15 de

¹ Ing. Agr. M.Sc. en Hidrociencias. ocastro@cengicana.org . Especialista en Riegos

² Técnico área de riegos.

³ Ing. Agr. en Sistemas de Producción Agrícola. Especialista en Sistemas de Información para Agricultura de Precisión

Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA).
Estación Experimental. Finca Camantulul Km 92.5 carretera a Santa Lucia Cotzumalguapa. Escuintla,
Guatemala

*Presentado en ATALAC 2012. Cali, Colombia.

noviembre y el 15 de mayo. Esta actividad incrementa al disminuir la altura sobre el nivel del mar, debido al incremento del déficit hídrico. El riego de la caña comenzó en la zafra 1999 – 2000 sobre el 61% del área y para la zafra 2009 – 10 alcanzó el 80% del área total con caña. Esta práctica tiene como objetivos específicos asegurar la población inicial de plantas e incrementar el peso de los tallos molederos, para tal fin se realizan riegos poscorte o siembra y precorte para cada una de las etapas fenológicas del cultivo según sus necesidades de agua.

Ante el crecimiento acelerado de la actividad del riego, nació la necesidad de optimizar el uso del agua derivada de la diversidad de fuentes (ríos, norias, pozos profundos, pozos artesanales y aguas servidas de origen industrial) a la vez que surgió el interés por la planificación del riego a través de parámetros técnicos, que involucren el suelo, el clima, las etapas fenológicas de la caña de azúcar y el tipo de riego. Ante esta demanda técnica se recopilaron los principales resultados de investigación relacionados con generación, validación y transferencia de tecnología, obtenidos desde 1994 en materia de riegos. En esta recopilación se encontró una serie de herramientas técnicas útiles para resolver los interrogantes: ¿cuánto, cuándo y cómo regar?, los cuales son analizados a través de procesos que explican el período de ocurrencia del déficit hídrico según el tercio de zafra, las etapas fenológicas para riego, la demanda climática e hídrica de la caña según su fenología y estrato, la capacidad del suelo de retener humedad y su aporte capilar si se encuentra localizado en el estrato bajo o litoral, y las alternativas técnicas para operar el sistema de riego con base en el uso del balance hídrico.

Bajo este contexto de planificación, se espera que la aplicación del agua a través del riego se realice en el momento oportuno, de tal manera que la evapotranspiración en la caña de azúcar sea optimizada según la etapa de crecimiento de la planta y así evitar el estrés hídrico.

Con base en el análisis e interpretación de la información técnica del manejo del riego, se espera establecer procesos técnicos que permitan una planificación eficaz en el uso de la

tecnología del riego para las condiciones de la zona cañera de Guatemala. Estos procesos permitirán optimizar el uso del agua que se utiliza para asegurar la población de tallos molederos en la etapa de iniciación y la producción de biomasa en las etapas de macollamiento y crecimiento de la caña de azúcar, durante los períodos de déficit hídrico que puedan ocurrir en la época seca de octubre a mayo de cada año.

Materiales y métodos

Para cumplir con el objetivo propuesto se recopiló información sobre variables climáticas, suelo y caña de azúcar, la cual sirvió para definir cada uno de los ocho procesos de planificación escogidos. En los procesos para definir cuánto y cuándo regar se tuvieron en cuenta el estrato altitudinal, período de zafra, duración de las etapas fenológicas del cultivo, días de déficit hídrico, demanda climática, capacidad del suelo para retener humedad, aporte capilar de agua, respuesta de la caña al riego y forma de operación del sistema. Para el desarrollo de los procesos 1 (estrato altitudinal), 2 (período de zafra a regar) y 3 (tipo de riego) se utilizó la información climática existente a partir de 2000 en 97 estaciones meteorológicas tipo B ubicadas en la zona cañera, con registros de más de 5 años. El período de registro de la precipitación pluvial seleccionado comprendió entre octubre y mayo de cada año, que constituye el período seco. Con ésta información se efectuó un estudio de frecuencias de los registros de precipitación y se optó por seleccionar el valor de la precipitación con probabilidad de ocurrencia de 75%. Esta probabilidad se puede interpretar como el valor mínimo de precipitación que se obtendrá en 7.5 años dentro de un período de 10 años (Castro, 2,008). La información utilizada para el desarrollo del proceso 4 (duración de las etapas fenológicas del cultivo) fue la definida en la actividad experimental sobre la respuesta de la caña a la aplicación del agua a través del riego (Castro, 2,007). En el desarrollo de información del proceso 5, que define la demanda climática se utilizaron registros de 16

estaciones meteorológicas ubicadas en la zona cañera, considerando las variables (Castro, 2,011) radiación global, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento que se utilizaron para estimar la evapotranspiración de un cultivo de referencia (*ET_o*) con el modelo desarrollado por Penman-Monteith (FAO, 2,008). En el desarrollo de información para el proceso 6, que considera la capacidad del suelo de retención de humedad, se utilizó información disponible de 2339 muestras del Laboratorio de Suelos de Cengicaña, la que sirvió para determinar textura y la lámina de agua aprovechable (LAA) y definir así la capacidad de retención (Cengicaña, 2,009). Para definir la información del proceso 7 relacionada con la capacidad de evapotranspiración de la caña de azúcar, se utilizó la información experimental obtenida a nivel de campo sobre la respuesta del cultivo a la aplicación de agua (Cengicaña, 2,006 y 2,007). Finalmente, para el proceso 8 se interpretó la forma de operación de los diferentes sistemas de riego que se utilizan en la zona cañera. En la definición del cuánto y cuándo regar en sistemas que utilizan frecuencias y tiempos fijos o en sistemas con frecuencia y tiempos libres, se adoptaron los modelos de balance hídrico descritos en Cengicaña (2005, 2006).

Resultados y discusión

Secuencia de los procesos para la planificación del riego

La secuencia de la planificación del riego con base en los procesos se determina a través del método deductivo (de lo general a lo específico), esta forma de planificar permite priorizar y optimizar el uso del agua. La secuencia de planificación se detalla en la Figura 1.

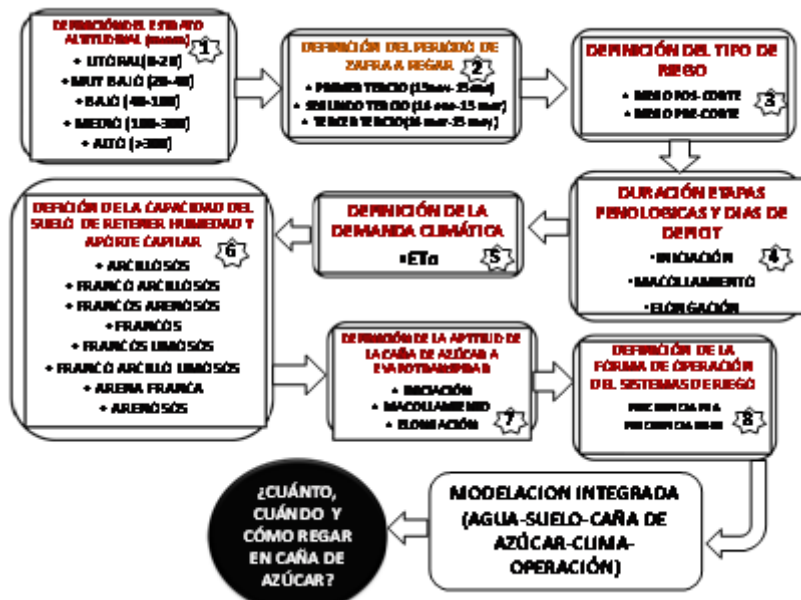
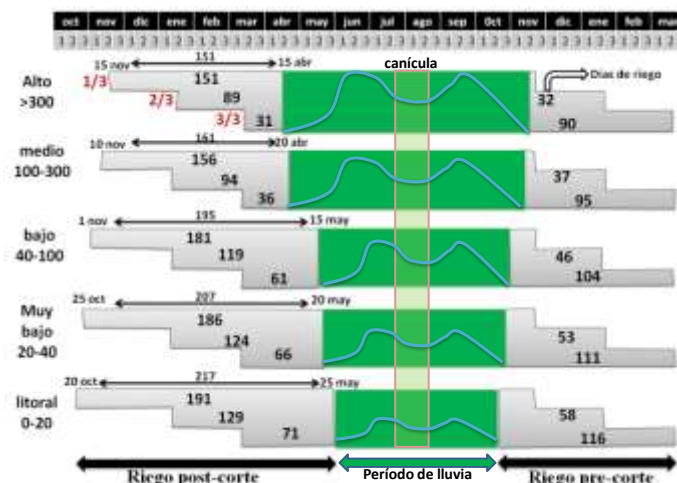


Figura 1. Secuencia para la planificación del riego con base en procesos bajo las condiciones de la zona cañera guatemalteca.

Información técnica de los procesos de planificación

Procesos 1, 2 y 3. Incluyen la definición del estrato altitudinal, el período de zafra y el tipo de riego. La definición del estrato y período de zafra permite planificar el inicio y el final de la temporada de la aplicación de agua a través de cada uno de los sistemas de riego. Para el proceso 3 se define el tipo de riego como riego poscorte y/o precorte en cada uno de los estratos y períodos seleccionados. En el riego precorte es necesario



Notas: 1. Desde el punto de vista de riego se definen cinco estratos altitudinales. 2. En riego precorte, el cálculo del número de días se realizó con 30 días antes del corte. En los casos de corte de 45 días antes, restar 15 días.

Figura 2. Información días de déficit hídrico, días para riego pos y pre corte en cada uno de los períodos de zafra y estratos altitudinales en Guatemala.

definir el último riego según el tipo de suelo, en estos casos es recomendable planificar en suelos con predominio de arena o arcilla, 30 días antes del corte; y en suelos francos o suelos donde se cuantifique aporte capilar, 45 días antes. En la Figura 2, se observa en forma integrada la información de los primeros procesos indicados.

Proceso de planificación 4. Toma en cuenta la duración de cada etapa fenológica del cultivo a regar. En este proceso se determinan las etapas fenológicas que se deben regar según el período de zafra y tipo de riego respectivo. En la Figura 3 se incluye el análisis mediante un modelo tipo gama del comportamiento del crecimiento de los tallos molederos de la caña de azúcar, así mismo, una descripción de la duración y el acumulado en cada una de las etapas fenológicas. Se observa en el período entre 135 y 250 días después de la siembra (EF-3) que los tallos alcanzan su máximo crecimiento (en promedio 1.95 cm/día). Este período es relevante en el tercio 1 de zafra y luego en el tercio 3 para los estratos muy bajo y litoral. Debido a esta característica se considera que esta etapa es crítica, por tanto no debe ocurrir estrés por déficit de agua. Otra de las etapas considerada crítica es la inicial (EF-1) debido a que en una condición de baja humedad en el suelo, la población por metro lineal se reduce significativamente. Con base en la Figura 2 se puede estimar el número de días para cada una de las etapas fenológicas y su correspondencia con el total de días a regar en poscorte o precorte en cada uno de los estratos altitudinales.

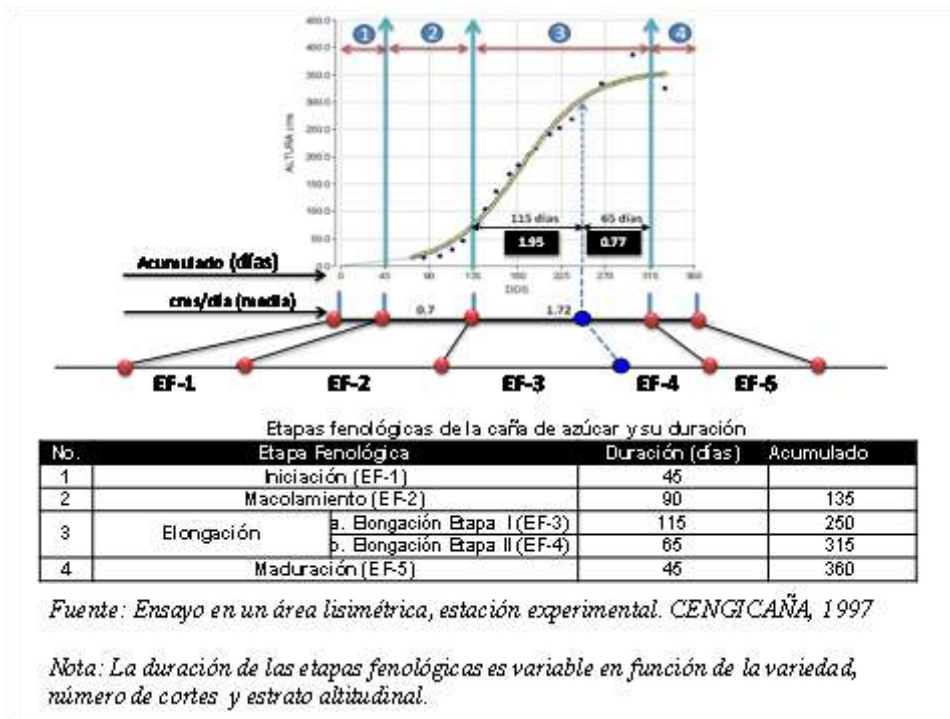


Figura 3. Etapas fenológicas de la caña de azúcar en condiciones de la zona cañera de Guatemala

Proceso 5. La demanda climática se determina a través de la evapotranspiración de un cultivo de referencia (ET_o), el cual es un parámetro relacionado con el

Estrato	EF-1			EF-2			EF-3			EF-4		
	1/3	2/3	3/3	1/3	2/3	3/3	1/3	2/3	3/3	1/3	2/3	3/3
Alto	4.36	4.75	5.00	4.84	5.08		5.16		4.48		4.44	4.45
Medio	4.70	5.30	5.41	5.39	5.54		5.47		4.66		4.60	4.89
Bajo	4.76	5.13	5.74	5.29	5.75	5.69	5.82		4.88		4.83	4.79
Muy Bajo	4.31	5.25	5.55	5.35	5.50	4.89	5.18		4.40		4.37	4.59
Litoral	4.51	5.03	5.55	5.14	5.48	5.10	5.28		4.57		4.65	4.63

Observaciones: Evapotranspiración de un cultivo de referencia (ET_o) estimado con Penman-Monteith. Promedio años 2006-2010. La EF-3 en el 2/3 coincide con el invierno. La EF-4 no aplica para el 1/3

Etapa Fenológica	Períodos de zafra
Iniciación (EF-1)	1/3=tercio uno
Macolamiento (EF-2)	2/3=tercio dos
Elongación	a. Elongación Etapa I (EF-3)
	b. Elongación Etapa II (EF-4)

Cuadro 1. Valores de ET_o promedio (mm) según etapas fenológicas, estratos altitudinales y tercios de zafra para las condiciones de la zona cañera

clima que expresa el poder evaporador hacia la atmósfera. Los factores que afectan la *ET_o* son los parámetros climáticos. En el Cuadro 1 se detalla para cada tercio de zafra y etapa fenológica los valores de este parámetro estimado a través de la fórmula Penman-Monteith.

Proceso 6. La capacidad del suelo para retener agua se define como la cantidad de agua que éste puede almacenar según la profundidad. Esta capacidad es muy variable en la zona cañera guatemalteca y depende de la clase textural. La más baja capacidad se encuentra en las clases texturales de suelo con alto porcentaje de arena; mientras que la mayor capacidad se encuentra en las clases texturales con predominio de limo.

La capacidad del suelo de retener agua es igual a lámina de agua aprovechable (LAA) la cual se calcula con las constantes de humedad gravimétrica capacidad de campo y porcentaje de marchitez permanente, ambas constantes definidas a nivel de laboratorio a 0.3 y 15 atmósferas, respectivamente, además, de los valores de densidad aparente y profundidad del suelo. Las LAA en cada una de las clases texturales, así como los valores de las constantes de humedad se observa en detalle en la Figura 4.

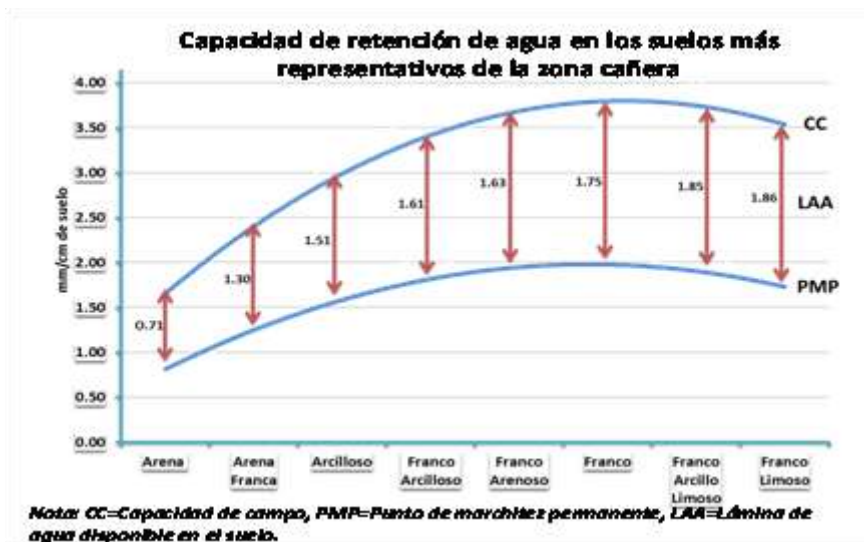


Figura 4. Valores medios de capacidad de retener agua de los suelos de la zona cañera guatemalteca según la clase textural

Proceso 7. La capacidad de evaporación de la caña de azúcar se determina con la selección de los valores de K_c que servirán para cuantificar las cantidades de agua que requiere la planta en cada etapa fenológica (ver Figura 3). En el Cuadro 2 se indican diferentes valores de K_c

TEXTURA	ETAPAS FENOLÓGICAS (DDC)			
	EF-1 (0-45)	EF-2 (45-135)	ELONGACIÓN	
			EF-3 (135-250)	EF-4 (250-315)
Kc (aptitud de la caña para evapotranspirar)				
Franco Arenosos Franco arcillosos Arcillosos Arena franca Arena	0.3	0.6	0.9	0.9
Franco limosos Franco arcillo limosos Francos	0.3	0.3	0.6	0.7
Franco Limoso + aporte capilar	0.3	0.3	0.3	0.3

NOTA: Los valores de K_c fueron determinados con base a la respuesta de la caña de azúcar a la aplicación del agua a través del riego. Para tal fin se evaluaron en el proceso de experimentación diferentes niveles de K_c en diferentes texturas predominantes de la zona cañera de Guatemala.

Cuadro 2. Valores de K_c según etapa fenológica y tipo de suelo, determinados en la zona cañera de Guatemala. determinados bajo las condiciones edafoclimáticas de la zona cañera de Guatemala.

Proceso 8. La forma de operación del sistema es importante para la planificación de riego, ya que considera la selección del sistema y define cómo regar. La selección es determinada por:

(1) el uso de sistemas de riegos móviles que por sus características de traslado o movilidad tienen que operar con frecuencias o intervalos fijos (aspersores tipo cañón (presión alta) y aspersores de presión media (conocidos como miniaspersión); móviles o semifijos con desplazamiento frontal (uno o dos laterales) y surcos continuos o alternos con uso de mangas y compuertas, entre los más comunes]. (2) la selección de sistemas de riego que se pueden operar con frecuencias o intervalos libres (aspersión estacionario fijo permanente (cobertura total enterrada), aspersión estacionario temporales (cobertura total aérea), pivote fijo y goteo (cobertura total enterrada, sin turnos)). *El uso de frecuencias o intervalos fijos es la forma común de operación del riego en la zona cañera guatemalteca.* Los programas de riego con frecuencias fijas se pueden determinar a través del modelo que utiliza como punto de partida el balance hídrico no-dinámico, con valores determinados de lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA), K_c y ET_o ; mientras que los programas de riego con frecuencia libre se puede realizar a través del modelo que utiliza un balance hídrico dinámico con valores de ET_o en tiempo real, que permite autoajustar las frecuencias de riego a lo largo del ciclo de cultivo según el comportamiento del clima.

Seguimiento del riego basado en procesos de planificación

En la Figura 5 se describe un ejemplo de seguimiento para la planificación del riego a través de procesos. Como se observa, la solicitud de información se genera desde lo general hacia lo específico. El tipo de información de cada proceso determinará el modelo a seguir para responder las interrogantes cuánto y cuándo regar. La información que se solicita corresponde a las indicadas en cada uno de los procesos descritos anteriormente.

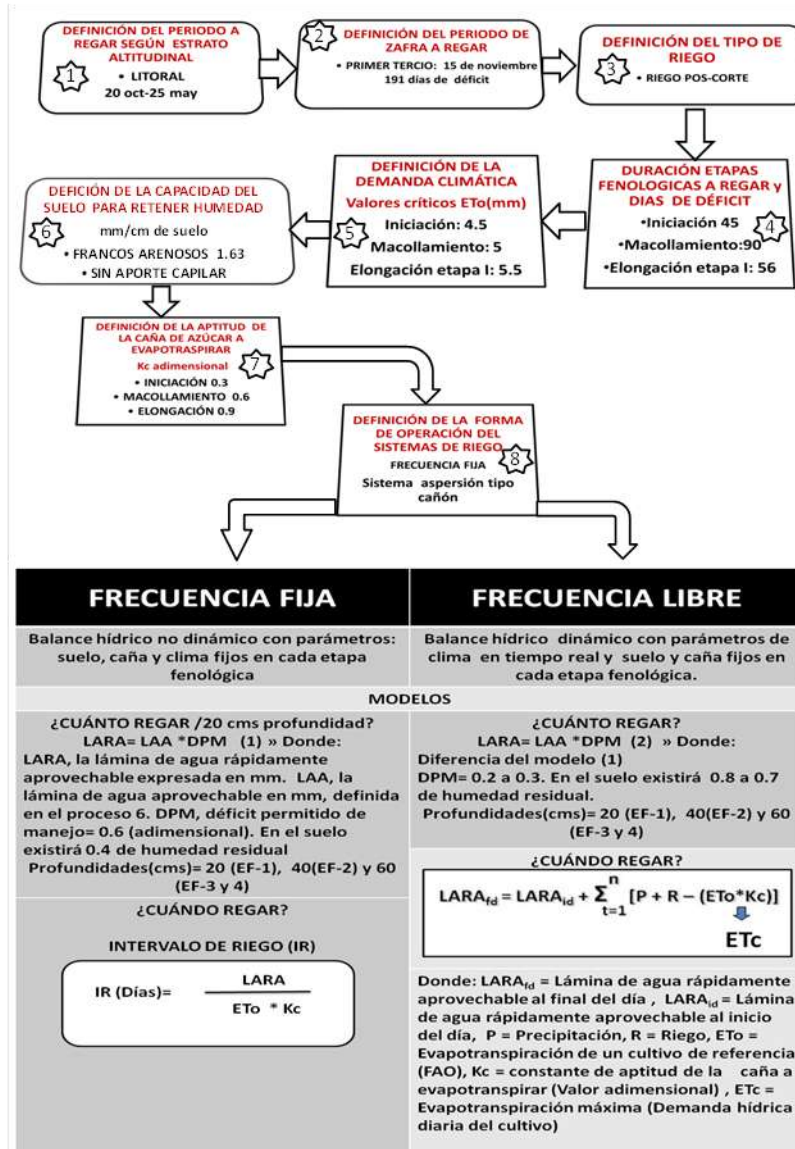


Figura 5. Seguimiento y uso de modelos para la definición de Cuánto y Cuándo regar, según la forma Cómo se opera el sistema de riego en las condiciones de la zona cañera de Guatemala.

Conclusiones

- Se establecieron ocho procesos técnicos que permitirán una planificación del uso de la tecnología del riego para las condiciones de la zona cañera de Guatemala. La información técnica desarrollada para cada uno de los procesos indica lo siguiente: (1) el período de

déficit para el riego poscorte varía entre 151 y 217 días para el estrato alto y litoral del país, respectivamente; (2) se debe planificar el riego precorte para los tercios de zafra —dos (fluctúa entre 32 y 58 días para el estrato alto y litoral, respectivamente) y tres (fluctúa entre 90 y 116 días para el estrato alto y litoral, respectivamente)—; mientras que el riego poscorte tiene relevancia en el tercio 1 de zafra con un período máximo de 191 días.; (3) las etapas fenológicas inicial (EF-1) y elongación inicial (EF-3) son las más críticas en los tercios 1 y 3 de zafra, las cuales tienen una duración aproximada de 45 y 115 días, respectivamente. La EF-3 es relevante en el tercio 1 de zafra; (4) las capacidades de retención de humedad son variables de acuerdo con la textura del suelo, las texturas arena y arena-franca tienen capacidades entre 0.71 y 1.30 mm/cm de profundidad; mientras que las texturas franco arcillo limosos y franco limosos tienen capacidades hasta 1.86 mm/cm de profundidad; y (5) la demanda climática es una variable importante en el balance hídrico, ésta puede llegar entre 4.31 y 5.82 mm/día, el valor más bajo se produce en noviembre y diciembre, mientras que el valor más alto entre abril y mayo.

- El proceso de definición de la forma de operación del sistema de riego genera un valor técnico muy importante en la decisión de invertir en sistemas de riego, principalmente los que permitan utilizar el balance hídrico dinámico en todo el ciclo de cultivo.
- El balance hídrico no-dinámico es una alternativa viable para ajustar el ‘cuánto y cuándo’ regar con sistemas de frecuencia fija, y el balance hídrico dinámico para operar el sistema de riego mecanizado conocido como pivote fijo.
- El uso de la información meteorológica para estimar ET_0 es una alternativa económica para establecer el control del consumo de agua en caña de azúcar.

Agradecimiento

Al Ing. Agr. M.Sc. Adlai Meneses e Ing. Agr. M.Sc. Ovidio Pérez por la revisión y sugerencias en la realización de este trabajo de investigación.

Referencias

- CASTRO. 2011. Base de datos estaciones meteorológicas automatizadas.
- CASTRO. 2005. El balance hídrico (herramienta para la planificación del riego en caña de azúcar). En: Memoria de presentación de resultados de investigación. Zafra 2005 – 2006. Cengicaña. Guatemala. 186 p.
- CASTRO. 2006. El balance hídrico en pivotes fijos, con un ejemplo de su utilización en la finca Monte Alegre, La Unión. En: Memoria de presentación de resultados de investigación. Zafra 2004 – 2005. Cengicaña. Guatemala. 308 p.
- CASTRO. 2006. Recomendaciones técnicas y económicas para la aplicación del riego en la caña de azúcar. En: Memoria de presentación de resultados de investigación zafra 2005-2006. Cengicaña. Guatemala. 308 p.
- CASTRO. 2007. Análisis cronológico y espacial de la respuesta de la caña al riego en la zona cañera guatemalteca. En: Memoria de presentación de resultados zafra 1998-1999. Cengicaña. Guatemala. Pp 153-159.
- CASTRO. 2008. Balance hídrico 2000-2006 de la zona cañera de Guatemala. En: Memoria de presentación de resultados de investigación zafra 2007-2008. Cengicaña. Guatemala. P22-227.
- CENGICAÑA. 2009. Base de datos de información de análisis físico de muestras de suelos ingresados al laboratorio de suelos desde 1994. Archivo electrónico.
- FAO. 2008. Evapotranspiración de un cultivo de referencia. Folleto serie Riego y drenaje Número 56. Archivo electrónico. 71 p.