

Materiales para la transferencia de tecnología en la agroindustria de la caña de azúcar



Balance hídrico priorizado para la programación de los riegos en caña de azúcar

Guía metodológica

José Ricardo Cruz Valderrama



Serie: Sistema de producción agrícola

El autor

José Ricardo Cruz Valderrama, ingeniero agrícola con maestría en ciencia del suelo y manejo de aguas, es investigador del programa de agronomía de Cenicaña en el área de suelos y aguas. Obtuvo el título de ingeniero agrícola en 1976, en el programa dirigido por la Universidad del Valle y la Nacional de Colombia, sede Palmira, y de inmediato se vinculó a la firma Consultores Guido Castañeda como auxiliar de diseño de obras hidráulicas. Desde 1977 hasta 1979 trabajó en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (Ciat) como asistente de la superintendencia de campo con funciones en adecuación, mecanización, riego, drenaje y manejo de cultivos. En 1979 inició su labor docente en la Universidad Nacional, en Palmira, donde fue profesor titular del área de suelos y aguas. En 1983 obtuvo una beca del gobierno de los Países Bajos para realizar estudios de maestría en ciencia del suelo y manejo de aguas en la Universidad Agrícola de Holanda, en Wageningen, y en 1985 recibió el grado de maestro en ciencias (M.Sc.). El mismo año regresó a la Universidad Nacional como profesor del programa de maestría en suelos y aguas. En 1988 se vinculó al Ingenio Central Castilla, donde fue jefe del departamento de ingeniería agrícola y dirigió las áreas de adecuación de tierras, manejo de recursos hídricos, diseño y construcción de obras hidráulicas y vías. En 1992 se integró a Cenicaña como ingeniero de suelos y aguas.

Balance hídrico priorizado para la programación de los riegos en caña de azúcar

Guía metodológica



Materiales para la transferencia de tecnología en la agroindustria de la caña de azúcar



Balance hídrico priorizado para la programación de los riegos en caña de azúcar

Guía metodológica

José Ricardo Cruz Valderrama



Serie: Sistema de
producción agrícola

Cruz Valderrama, José Ricardo

Balance hídrico priorizado para la programación de los riegos en caña de azúcar. Guía metodológica / José Ricardo Cruz Valderrama. -- Cali: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia, 2014.

98 p.; 28 cm. (Materiales para la transferencia de tecnología en la agroindustria de la caña de azúcar. Sistema de producción agrícola)

Incluye referencias bibliográficas

ISBN 978-958-8449-12-8

1. Caña de azúcar. 2. Agua. 3. Riego. 4. Balance hídrico. 5. Programación de riego. 6. *Software*

I. Título.

633.6 CDD 23 ed.

C955

Cenicaña – Biblioteca Guillermo Ramos Núñez

Copyright © 2014 por Cenicaña®

Dirección postal: Calle 58 Norte N°. 3BN-110. Cali, Colombia.
Estación Experimental: vía Cali-Florida km 26,
San Antonio de los Caballeros, Colombia.

www.cenicana.org
buzon@cenicana.org

Julio de 2014

Todos los derechos reservados.

Prohibida la reproducción total o parcial de este libro, por cualquier medio, sin permiso de Cenicaña.

Producción editorial: Servicio de cooperación técnica y transferencia de tecnología (SCTT, Cenicaña).

Estrategia de transferencia de tecnología: Camilo H. Isaacs E., jefe SCTT.

Asesoría en gestión del conocimiento: Vicente Zapata Sánchez, consultor.

Nota: esta guía metodológica y las ayudas didácticas relacionadas hacen parte de la colección de materiales para la transferencia de tecnología en la agroindustria de la caña de azúcar, y fueron producidos por Cenicaña como insumos del programa de aprendizaje y asistencia técnica, PAT. Quienes reciben los materiales directamente de Cenicaña están autorizados para reproducirlos y adaptarlos en los procesos de capacitación a su cargo, siempre que las modificaciones contribuyan al logro de los objetivos de aprendizaje propuestos por los autores. Cenicaña mantendrá abiertos sus canales formales de comunicación con los usuarios de la guía para intercambiar las actualizaciones en la materia de aprendizaje y atenderá oportunamente las solicitudes de servicios requeridos para la celebración de las actividades pedagógicas de acuerdo con los términos de compromiso definidos en el PAT. Cenicaña no se hace responsable de las decisiones que tomen los destinatarios de la guía en el ejercicio de sus competencias de capacitación.

Advertencia: la mención de productos comerciales en las publicaciones de Cenicaña tiene solamente el propósito de ilustrar a los lectores acerca de las pruebas realizadas y en ningún caso compromete al centro de investigación con los fabricantes y sus distribuidores, quienes no están autorizados para usar los resultados con fines promocionales ni publicitarios.

Referencia sugerida:

Cruz Valderrama, J.R. 2014. Balance hídrico priorizado para la programación de los riegos en caña de azúcar. Guía metodológica. Cenicaña. Cali, Colombia. 98 p. (Materiales para la transferencia de tecnología en la agroindustria de la caña de azúcar. Sistema de producción agrícola).

Agradecimientos

El autor agradece a las siguientes personas la colaboración y los valiosos aportes en la elaboración de esta guía metodológica acerca del balance hídrico para la programación de los riegos de la caña de azúcar en el valle del río Cauca:

Jorge Torres, ingeniero agrónomo, exdirector del programa de agronomía de Cenicaña; Fernando Villegas, ingeniero agrícola, ingeniero de mecanización; Francisco Millán, tecnólogo en producción agrícola, práctico agrícola del área de manejo de aguas; Martha Lucía Gómez, tecnóloga en sistemas, auxiliar del programa de agronomía.

Ginna Rosero, ingeniera agrícola, Incauca S.A.

Jaime Hernán Caicedo y Sandra Palacios, ingenieros de sistemas, servicio de tecnología informática, Cenicaña.

Contenido



- 9 Presentación
- 10 La estrategia de transferencia de tecnología
- 12 Colección de materiales para la transferencia de tecnología en la agroindustria de la caña de azúcar
- 13 A quién se dirige esta colección
- 13 Cómo está diseñada la colección

14 Preámbulo

Balance hídrico priorizado para la programación de los riegos

- 15 A quién se dirige esta guía
- 15 Cómo usar esta guía
- 16 Exploración de expectativas
- 18 Autoevaluación inicial
- 22 Objetivos
- 22 Estructura general de aprendizaje

24 Unidad 1

Parámetros del balance hídrico

- 24 Objetivos
- 26 Estructura de aprendizaje
- 27 Práctica 1. Describamos el perfil del suelo
- 35 Práctica 2. Determinemos la capacidad de campo, el punto de marchitez permanente y la densidad aparente del suelo
- 45 Taller 1. Calculemos la lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA)
- 51 Taller 2. Capturemos los datos de precipitación y evaporación

56 Unidad 2

Manejo de la herramienta Balance hídrico priorizado, v. 4.0

- 56 Objetivo
- 57 Estructura de aprendizaje
- 58 Taller 3. Manejemos el programa computarizado Balance hídrico priorizado, versión 4.0

68 Unidad 3

Interpretación, verificación y ajuste del balance hídrico

- 68 Objetivos
- 68 Estructura de aprendizaje
- 69 Taller 4. Interpretemos los resultados del balance hídrico
- 75 Taller 5. Verifiquemos y ajustemos el balance hídrico

80 Apéndice

Apéndice didáctico

- 81 Apéndice didáctico 1. Recursos didácticos: colección de materiales para la transferencia de tecnología en la agroindustria
- 82 Apéndice didáctico 2. Autoevaluación final
- 87 Apéndice didáctico 3. Evaluación de la capacitación

Apéndice técnico

- 93 Apéndice técnico 1. Determinación de la textura del suelo al tacto
- 94 Apéndice técnico 2. Pautas para estimar al tacto el porcentaje de humedad aprovechable del suelo

96 Referencias bibliográficas

96 Siglas y abreviaturas



Presentación

La visión del sector azucarero colombiano para el año 2030 es ubicarlo en un puesto de privilegio a escala mundial. Las diferencias en los índices de productividad son significativas en la prospectiva, de manera que uno de los retos inmediatos de Cenicaña es facilitar la adopción de tecnologías sostenibles que aseguren el mejoramiento de la productividad en armonía con el desarrollo regional.

Esta guía metodológica hace parte de la colección de materiales para la transferencia de tecnología que diseña y dirige Cenicaña con el fin de proveer un marco de referencia técnico y didáctico para desarrollar la estrategia de transferencia y adopción de nuevas tecnologías en la agroindustria.

La colección consta de dos series temáticas, sistema de producción agrícola y sistema de producción industrial, y está conformada por guías metodológicas y ayudas digitales en donde los autores —investigadores y profesionales de Cenicaña— presentan la teoría y la práctica acerca de la oferta tecnológica desarrollada y validada por el centro de investigación junto con los ingenios azucareros y alcoholeros y los cultivadores de caña de azúcar del valle del río Cauca.

Los materiales para la transferencia de tecnología facilitarán el desarrollo de los programas de capacitación que llevarán al sector azucarero a ser más competitivo.

Álvaro Amaya Estévez
Director general, Cenicaña



La estrategia de transferencia de tecnología

Contribuir al desarrollo de las capacidades institucionales requeridas para la adopción de prácticas sostenibles en las unidades productivas de la agroindustria de la caña de azúcar es el propósito prioritario de la gestión de transferencia de tecnología de Cenicaña.

Esto se justifica porque se tienen nuevas tecnologías con potencial para aumentar la productividad azucarera y por tanto, la competitividad del sector.

En lo que concierne a ingenios y cultivadores, su reto es incorporar estos conocimientos y estas tecnologías en los procesos actuales y en las proyecciones de innovación.

Para ello necesitamos afianzar la cooperación técnica interinstitucional en un programa concertado, a través del cual desarrollemos las competencias de cada actor en la transferencia de tecnología, la asistencia técnica y la innovación tecnológica.

La propuesta de Cenicaña para el efecto ha sido discutida con los gremios de productores y estructurada de acuerdo con sus recomendaciones. En ella se formula el modelo de un programa de asistencia técnica dedicado al desarrollo de las capacidades de innovación en las unidades productivas, con base en la gestión de procesos pedagógicos de capacitación en el uso de la tecnología y la gestión de planes de acción para la adopción.

El primer paso del modelo consiste en definir la oferta tecnológica del programa de aprendizaje y asistencia técnica (identificado con la sigla PAT), documentando la tecnología validada, sus modos de uso y el potencial de adopción. Así se identifican las prioridades del cambio técnico en términos del número de beneficiarios (adoptantes potenciales) que se espera alcanzar con las acciones de transferencia en un horizonte de tiempo dado, y los resultados que se esperan de la intervención.

Enseguida se traduce a lenguaje pedagógico la documentación que sustenta la tecnología materia del PAT y se produce una guía metodológica con los enfoques de gestión del conocimiento y desarrollo de competencias.

Las guías metodológicas contienen los materiales técnicos y didácticos para llevar a cabo la capacitación. Antes de su publicación, son validadas y ajustadas por los autores con el concurso de pares expertos en la materia de aprendizaje y con grupos de destinatarios potenciales.



A continuación, usando las guías metodológicas, sus autores —investigadores y profesionales de Cenicaña— realizan el primer evento de transferencia con los destinatarios directos de los materiales de capacitación, grupos de participantes conformados por quienes aceptan el rol de facilitadores de la transferencia, en el cual son responsables de planificar, celebrar y evaluar los eventos de capacitación con los usuarios finales de la tecnología, así como de acompañarlos en las iniciativas de adopción.

La formación técnica de los facilitadores se complementa con talleres para el desarrollo de las competencias propias del gestor de conocimientos, enfoque, como se dijo, adoptado en los procesos pedagógicos del modelo PAT.

En las actividades de capacitación dirigidas por los facilitadores participan los usuarios finales de la tecnología que hacen parte de organizaciones empresariales comprometidas con la innovación tecnológica, en las cuales se tiene un plan de acción definido para la adopción de nuevas prácticas.

Estas organizaciones son las beneficiarias directas de la estrategia de transferencia, de modo que contribuyen al seguimiento y evaluación de los resultados del PAT mediante el registro de los indicadores de adopción y productividad antes del cambio técnico, durante su implementación y en los años siguientes.

Cenicaña coordina el PAT en la agroindustria azucarera colombiana, se encarga de promover la gestión tecnológica en las organizaciones del sector, realiza el seguimiento y la evaluación del desarrollo del programa y sus resultados, y procura que todos los actores participen en el mejoramiento continuo del modelo.

Para hacer realidad el PAT, el centro de investigación creó la colección de materiales para la transferencia de tecnología, que hasta el momento incluye 19 guías metodológicas, 14 en la serie dedicada al sistema de producción agrícola y 5 en el sistema de producción industrial. Las guías fueron elaboradas con las orientaciones de Vicente Zapata Sánchez, pedagogo y facilitador del desarrollo sostenible con énfasis en la gestión del conocimiento local. Estos materiales son un insumo clave para desarrollar la agenda de actividades de capacitación del PAT que inició en febrero de 2014.

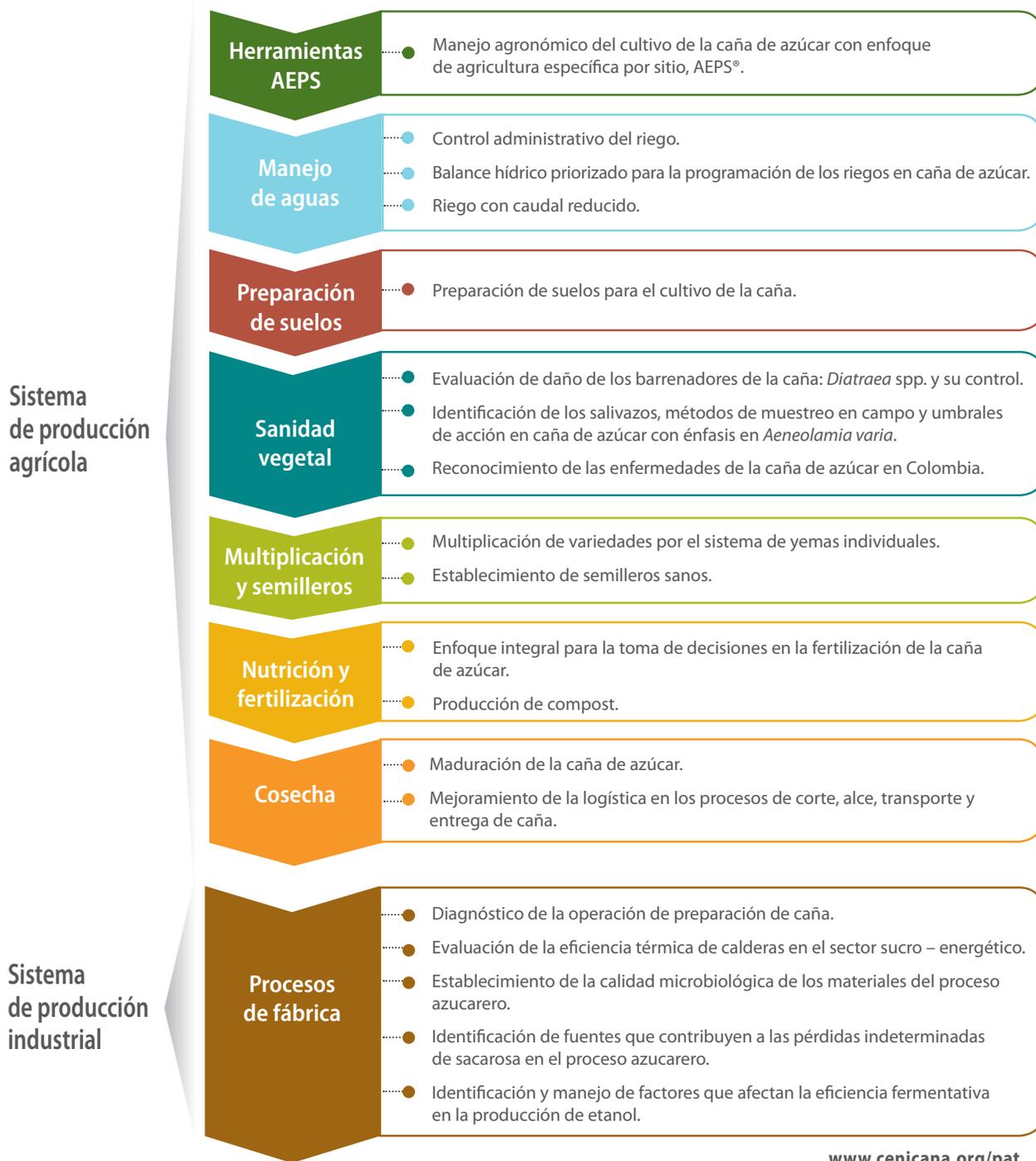
Así, el PAT se integra en la estrategia de transferencia de tecnología del centro de investigación junto con el programa de la red de grupos de transferencia de tecnología (GTT), la validación participativa en fincas de productores, la investigación de mercado y la producción de material divulgativo para la comunicación técnica en la agroindustria. Bienvenido. El reto de la adopción es ahora.

Camilo H. Isaacs E.

Jefe del servicio de cooperación técnica
y transferencia de tecnología, Cenicaña



Colección de materiales para la transferencia de tecnología en la agroindustria de la caña de azúcar





A quién se dirige esta colección

La colección de materiales para la transferencia de tecnología en la agroindustria de la caña de azúcar está dirigida a los profesionales de distintas disciplinas vinculados con el sector azucarero colombiano, que en sus competencias de rol ejercen como facilitadores de la transferencia tecnológica y la adopción, particularmente a quienes planifican, ejecutan y evalúan las actividades de capacitación en las que participan los usuarios finales de la tecnología vinculados al programa de aprendizaje y asistencia técnica (PAT). Algunos materiales de la colección están dirigidos a los participantes en la capacitación, y les serán entregados por los facilitadores.

Cómo está diseñada la colección



La colección está organizada en dos series temáticas: sistema de producción agrícola y sistema de producción industrial, cada una conformada por varias guías metodológicas en las que se presentan las tecnologías validadas por Cenicaña que son objeto de adopción por el sector productivo.

Cada guía metodológica consta de un volumen impreso y de ayudas didácticas, materiales diseñados por Cenicaña en una estructura dispuesta a la gestión del conocimiento y el desarrollo de competencias.

En el volumen impreso, como preámbulo para el aprendizaje, cada autor describe la estructura general de los contenidos y los objetivos de la capacitación, explica a

quién está dirigida la guía y el modo de usarla, al tiempo que ofrece los instrumentos para la exploración de expectativas y la autoevaluación inicial de conocimientos.

Los contenidos técnicos propiamente dichos están organizados en unidades de aprendizaje, con su propia estructura según el criterio del autor. Por lo general, una unidad de aprendizaje contiene: introducción, objetivos, estructura de aprendizaje, preguntas iniciales, documentación técnica, ejercicios y prácticas, recursos digitales, autoevaluaciones, referencias bibliográficas, glosario, siglas y abreviaturas.

En los apéndices (didácticos y técnicos) se encuentran las indicaciones para el uso de los recursos digitales, los instrumentos de autoevaluación final de conocimientos y evaluación de la capacitación, y los documentos técnicos complementarios para el logro de los objetivos de aprendizaje.

Balance hídrico priorizado para la programación de los riegos

El balance hídrico (BH) es un método para programar los riegos buscando el manejo eficiente y sostenible del agua. Es como “llevar la contabilidad” del agua del suelo, registrando las ganancias y las pérdidas de humedad.

La cantidad o lámina de agua del suelo (LAS) aumenta cuando hay precipitación (P) que efectivamente entra al suelo o cuando se aplica artificialmente por medio del riego (R). Las pérdidas de humedad del suelo se deben principalmente al agua que transpira la caña y la que se evapora en la superficie (evapotranspiración, ET).

Para implementar el balance hídrico y utilizarlo con éxito en la programación de los riegos de la caña de azúcar en el valle del río Cauca, se requieren tres componentes:

- Determinar los parámetros de información básica en el sitio de cultivo donde se debe aplicar riego suplementario para favorecer la productividad de la caña.
- Manejar el programa Balance hídrico priorizado, versión 4.0, desarrollado por Cenicaña para programar los riegos (www.cenicana.org/BH/index.php)
- Interpretar el balance hídrico y verificarlo en el campo con base en el estado del cultivo y la humedad del suelo, para ajustar la programación si es necesario.

Esta guía metodológica contiene una unidad de aprendizaje acerca de cada componente:

Unidad 1: desarrollaremos las capacidades para determinar los parámetros básicos requeridos en el BH como método de programación de los riegos. Realizaremos dos prácticas de campo y dos talleres.

Unidad 2: aprenderemos a manejar el programa Balance hídrico priorizado v.4.0, el cual fue desarrollado por Cenicaña como herramienta para la programación de los riegos en el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca. Con este objetivo haremos un taller.

Unidad 3: adquiriremos la capacidad de interpretar, verificar y ajustar el balance hídrico y la programación del riego mediante mediciones y observaciones realizadas directamente en el campo. Celebraremos dos talleres.

A quién se dirige esta guía

La guía está diseñada para ser utilizada por los facilitadores de la capacitación, quienes asesoran a los encargados de la labor de riego y el manejo de aguas en las fincas productoras de caña de azúcar y son responsables del uso eficiente y sostenible del recurso agua en las zonas dedicadas al cultivo.

De acuerdo con el programa de aprendizaje y asistencia técnica, PAT, el grupo de facilitadores está integrado por los encargados de asistencia técnica, gestión del riego y administración de fincas e investigación en los ingenios y las empresas proveedoras de caña, y por personal de Cenicaña. Los participantes en la capacitación, usuarios finales de la tecnología, son: productores de caña, mayordomos, supervisores, cabos y regadores.



Cómo usar esta guía

Este material está fundamentado en la capacitación basada en competencias y el aprendizaje centrado en la gestión del conocimiento.

La guía ha sido diseñada a partir del análisis de las competencias que requiere una persona para realizar el balance hídrico, con base en lo cual se han establecido las capacidades necesarias para ejercer cada una de ellas (habilidades mentales, actitudes y destrezas perceptuales y físicas).

Este enfoque implica un compromiso de los facilitadores de propiciar que los participantes desarrollen las capacidades, para ejercer las competencias que exige la aplicación de los componentes tecnológicos presentados. En este sentido, las prácticas son esenciales, y los escenarios para dichas prácticas deben contar con todos los recursos para realizarlas.

La guía contiene una serie de herramientas que ayudarán al facilitador a llevar a buen término su labor didáctica, aunque cada facilitador podrá hacer los ajustes que considere pertinentes para desarrollar los temas. Las herramientas didácticas incluyen:

1. Exploración de expectativas: dinámica grupal para motivar a los participantes, hacer que se conozcan y conocer cuáles expectativas se compaginan con los objetivos del material de estudio y cuáles no corresponden a la capacitación, para poder aclararlo desde un comienzo.
2. Autoevaluación inicial: preguntas sobre los conocimientos que poseen los participantes sobre el tema específico de la capacitación. Están acompañadas de las respuestas correctas, para uso del facilitador. La autoevaluación les permite a los participantes estimar qué tanto saben acerca de los temas que se van a tratar.
3. Objetivos: mensajes que orientan al participante sobre las tareas que debe realizar para desarrollar las capacidades que lo harán competente en el uso de la tecnología.

4. Estructura de aprendizaje: gráfica que muestra los componentes de la tecnología que queremos compartir, incluidos en la capacitación.

5. Prácticas y talleres: en cada unidad se presentan las orientaciones para llevar a cabo dinámicas grupales con los participantes para reforzar las actividades que señalan los objetivos del aprendizaje. Se indican los recursos necesarios y las instrucciones.

Para un uso adecuado de las herramientas didácticas se recomienda a los facilitadores que revisen cada uno de los componentes de la guía y asimilen cabalmente su contenido como paso inicial para planificar la capacitación. Esto les permitirá tener a mano todos los recursos necesarios para realizar exitosamente las actividades de aprendizaje, aprovechando los materiales digitales disponibles (**apéndice didáctico 1**).

Exploración de expectativas

El facilitador debe dedicar unos minutos a tres actividades que son importantes para preparar a los participantes para el aprendizaje:

- 1) la exploración de expectativas, que permite conocer qué intereses particulares tienen los participantes con respecto a esta capacitación;
- 2) la presentación de los asistentes, ya que trabajarán en equipo; y
- 3) la dinámica grupal, que facilita a los participantes desprenderse de preocupaciones ajenas a la capacitación.

A continuación presentamos una forma sencilla de realizar la exploración de expectativas. El facilitador puede modificar los casos sugeridos al momento de preparar los materiales didácticos para la actividad.

- Divida a los participantes en pequeños grupos de cuatro o cinco personas; procure que el grupo total no supere los veinte participantes. Pídales que se presenten indicando su nombre, de qué empresa vienen, el cargo y qué esperan lograr de esta capacitación.
- Entregue a cada grupo una de las preguntas que se proporcionan, que deben discutir en un tiempo no mayor de diez minutos. Al finalizar, cada grupo explica su respuesta.

El propósito es indagar qué tanto saben los participantes sobre el tema y facilitar la participación; la actividad no tiene fines calificativos.



Recurso digital

www.cenicana.org/pat

Juego de tarjetas ilustradas

con preguntas para los participantes

Una vez se concluyan las actividades pedagógicas propuestas en las tres unidades de aprendizaje que componen esta guía metodológica, los participantes realizarán una autoevaluación final de conocimientos (**apéndice didáctico 2**) para reflexionar acerca de lo aprendido, sacar sus propias conclusiones e identificar los aspectos por reforzar de acuerdo con los objetivos de adopción en las unidades productivas a su cargo y en donde implementarán la metodología de balance hídrico priorizado para la programación de los riegos.

Así mismo, los facilitadores del aprendizaje tendrán la oportunidad de recibir los comentarios de los participantes sobre las actividades, para lo cual se incluye en el **apéndice didáctico 3** un cuestionario de evaluación sobre la capacitación.

Preguntas para los participantes



La disponibilidad y la calidad de agua para riego ha decrecido notablemente durante los últimos años por la deforestación de las cuencas, por cambios en la intensidad y frecuencia de las lluvias y por las mayores demandas de agua debido a la expansión del área agrícola, el crecimiento de las poblaciones urbanas y la actividad comercial e industrial.

¿Qué solución le recomendamos a los agricultores?

Un agricultor tiene costos de riego muy altos y se da cuenta de que uno de los factores que inciden en el problema es que está programando el riego en forma empírica.

¿Qué le sugerimos?

Un agricultor nos consulta qué debe hacer para establecer un control de riego en su finca.

¿Qué le decimos?

¿Qué entendemos por balance hídrico para la programación de los riegos?

¿Por qué cree que el balance hídrico es un método que nos permite un manejo racional del agua?

¿Conoce usted la diferencia entre el balance hídrico en el suelo y el balance hídrico regional?



Autoevaluación inicial



Recurso digital

www.cenicana.org/pat

Objetivo

La autoevaluación inicial tiene por objetivo que los participantes identifiquen qué tanto saben sobre la materia de la capacitación antes de comenzar las actividades de aprendizaje. No es un examen calificativo, es una exploración inicial del nivel de conocimientos.

Orientaciones para el facilitador

La autoevaluación permitirá abrir un espacio de discusión y definir el punto de partida de acuerdo con el nivel de conocimientos de cada participante. Es comprensible que los participantes no conozcan todas las respuestas, y de hecho quizá no conozcan ninguna, lo cual indicará que la capacitación será de mucha utilidad para todos. Esto, claro está, presumiendo que los asistentes han sido seleccionados entre aquellos que requieren capacitarse para desempeñarse con idoneidad en el manejo de la tecnología del balance hídrico para programar los riegos.

- ☉ Entregue a los participantes el cuestionario de autoevaluación.
- ☉ Infórmeles que tienen 30 minutos para responderlo y que una vez hayan terminado deben esperar a que el facilitador modere una sesión de autocorrección en la cual se comentarán las respuestas correctas y se discutirán las razones de ellas.

Autoevaluación inicial



Balance hídrico priorizado para la programación de los riegos



Apreciado participante:

Este cuestionario tiene por objetivo que usted mismo identifique su nivel de conocimientos acerca de la materia de aprendizaje antes de comenzar la capacitación. Las respuestas son una referencia personal de autoevaluación, por lo tanto no tienen carácter calificativo.

Instrucciones: las preguntas son del tipo de respuesta única. Marque con 'X' la opción que considere correcta en cada caso. Al finalizar registre los datos en la hoja de respuestas y espere las indicaciones del facilitador para continuar. Cuenta con 30 minutos.

1. ¿De las siguientes opciones, cuál es una buena definición de "perfil de suelo"?

- a. Es la corteza terrestre que no permite observar franjas diferenciadas por color y textura principalmente.
- b. Es un corte vertical en la corteza terrestre, de más de dos metros de profundidad, para ver diferentes colores y texturas.
- c. Es un corte vertical en la corteza terrestre, de uno a dos metros de profundidad, en el que se pueden observar franjas diferenciadas por color y textura principalmente, denominadas horizontes.
- d. Es un corte oblicuo en la tierra, de uno a dos metros de longitud, en el que se pueden observar franjas diferenciadas por color y textura principalmente, denominadas horizontes.

2. La "descripción del perfil de suelo" se refiere a:

- a. Las observaciones que se realizan en cada horizonte acerca de la textura, del color y de la estructura del suelo.
- b. Las observaciones que se realizan en cada horizonte acerca de características físicas como textura, color, estructura, consistencia, presencia de raíces, piedras o carbonatos de calcio, drenaje y descripción del relieve.
- c. Las observaciones que se realizan en cada horizonte acerca de características como consistencia, presencia de raíces, piedras o carbonatos de calcio, drenaje y descripción del relieve.
- d. Las observaciones que se realizan en cada horizonte acerca del drenaje y la descripción del relieve.

- 3. La lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA) del suelo es:**
- a. El agua que es retenida por el suelo entre capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP).
 - b. El agua que es retenida por el suelo entre el factor de agotamiento permisible y el punto de marchitez permanente.
 - c. Aquella parte del agua total que queda en el suelo en el momento de iniciar el riego.
 - d. La porción que, del total de agua disponible en el suelo, se puede dejar agotar sin que se afecte la producción del cultivo.
- 4. La evapotranspiración de un cultivo se define como:**
- a. El agua que se pierde por evaporación directa desde la superficie del suelo.
 - b. El agua perdida directamente por la transpiración a través de la superficie de las hojas de las plantas.
 - c. El agua que se pierde por evaporación directa desde la superficie del suelo y la transpiración a través de la superficie de las hojas de las plantas.
 - d. El proceso combinado del agua perdida por la transpiración y la percolación a través de la superficie de las hojas de las plantas.
- 5. El contenido de humedad del suelo se define como:**
- a. La relación entre el peso del suelo con agua y el peso de la muestra seca.
 - b. La relación entre el peso del agua contenida en una muestra de suelo y el peso de la muestra de suelo húmedo.
 - c. La relación entre el peso del agua que queda en la muestra de suelo después de secar y el peso de la muestra seca.
 - d. La relación entre el peso del agua contenida en una muestra de suelo y el peso de la muestra seca.

Hoja de respuestas

Pregunta	Mi respuesta	Respuesta correcta
1		
2		
3		
4		
5		



Orientaciones para la información de retorno

Una vez los participantes hayan realizado la autoevaluación inicial de conocimientos el facilitador moderará una sesión de autocorrección en la cual se presentarán las respuestas correctas y se discutirán las razones de ellas.

Respuestas correctas



Pregunta 1:

- c. El "perfil de suelo" es un corte vertical, generalmente de 1.2 m de profundidad, que se hace para demarcar los horizontes y describir las características físicas del suelo.

Pregunta 2:

- b. La "descripción del perfil de suelo" se refiere a las características físicas del suelo: textura, color, estructura, consistencia, presencia de raíces, piedras o carbonatos de calcio, drenaje y relieve.

Pregunta 3:

- d. La LARA es la fracción del total de agua disponible del suelo que se puede dejar agotar sin que se afecte la producción del cultivo.

Pregunta 4:

- c. La evapotranspiración de un cultivo es la suma del agua evaporada desde la superficie del suelo y el agua transpirada desde las hojas de las plantas.

Pregunta 5:

- d. El contenido de humedad del suelo es la relación entre el peso del agua contenida en una muestra de suelo y el peso de la muestra seca.

Objetivos

Al finalizar las actividades propuestas en esta guía los participantes estarán en capacidad de:



- Determinar los parámetros requeridos en el balance hídrico para la programación de los riegos.
- Manejar la herramienta computarizada de Balance hídrico priorizado, v.4.0, para la programación técnica de los riegos en caña de azúcar.
- Interpretar, verificar y ajustar el balance hídrico como herramienta para la programación de los riegos.

Estructura general de aprendizaje

Para establecer el balance hídrico (BH) se requiere conocer la lámina de agua rápidamente aprovechable del suelo (LARA), la precipitación y la evaporación. Estos tres insumos se introducen en la herramienta computarizada diseñada por Cenicaña para calcular el balance hídrico, y con base en ellos se programan los riegos y se elabora la historia hídrica del cultivo. Una vez definida la programación del riego se verifica directamente en el campo, y si es el caso, se hacen los ajustes.

Estos procedimientos se abordan en esta capacitación en tres unidades de aprendizaje que constan de prácticas de campo y talleres (ver estructura en la página siguiente). En el proceso de aprendizaje se utiliza la información contenida en los apéndices técnicos y las herramientas de agricultura específica por sitio disponibles en el sitio web de Cenicaña: Servidor de mapas, Base de datos de la Red meteorológica automatizada y Balance hídrico priorizado v.4.0.

Para cumplir con las actividades propuestas en esta guía se requieren 12 horas, en dos días. El primer día se realizarán las prácticas de campo 1 y 2 y el taller 1. El segundo día, los talleres 2, 3, 4 y 5, la autoevaluación final y la evaluación de la capacitación.

Programación de los riegos con balance hídrico priorizado

Unidad 1. Parámetros del balance hídrico

Determinar los parámetros requeridos para la programación de los riegos

LARA



Precipitación



Prácticas
1 y 2

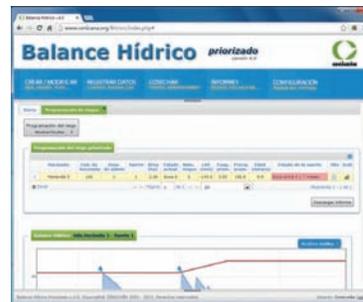
Talleres
1 y 2

Evaporación



Unidad 2. Manejo de la herramienta Balance hídrico priorizado, v.4.0

Ingresar datos, calcular el balance hídrico y consultar la programación del riego y la historia hídrica del cultivo



Taller 3

Unidad 3. Interpretación, verificación y ajuste del balance hídrico



Interpretar el BH, verificar en el campo la programación y ajustar el balance



Talleres
4 y 5

Parámetros del balance hídrico

Como se mencionó antes, el balance hídrico se puede comparar con “llevar la contabilidad” del agua del suelo, en la cual se registran las ganancias y las pérdidas de humedad. Para implementarlo se requieren: 1) Los parámetros de información básica. 2) El manejo de la herramienta computarizada. 3) La verificación en el campo.

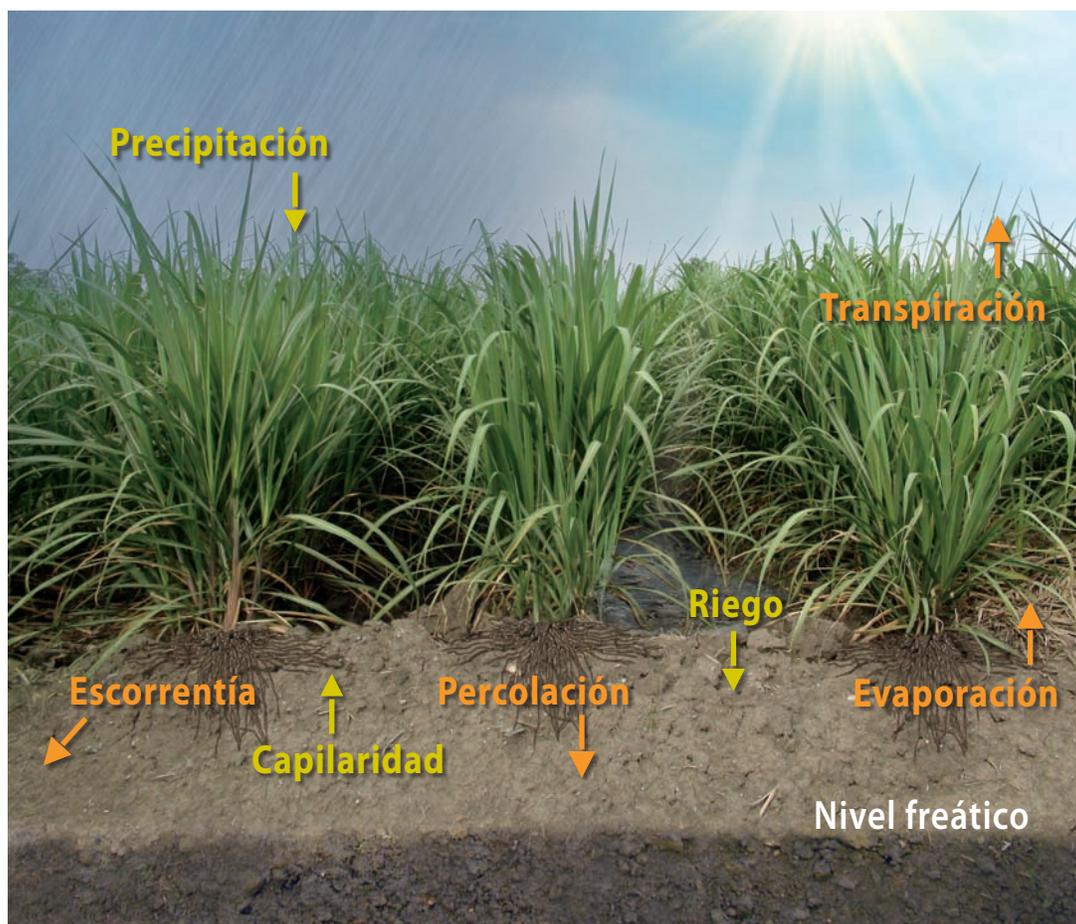
En esta unidad adquiriremos las destrezas necesarias para determinar los parámetros básicos que se requieren para utilizar el BH como método de programación de los riegos. Estos parámetros son: la lámina de agua rápidamente aprovechable del suelo (LARA), la precipitación efectiva y la evapotranspiración.

Se proponen cuatro actividades pedagógicas que consisten en describir el perfil del suelo (práctica 1); determinar la capacidad de campo, el punto de marchitez permanente y la densidad aparente del suelo (práctica 2); calcular la LARA (taller 1); capturar los datos de precipitación y evaporación (taller 3). La evaporación diaria en el sitio de cultivo es una variable meteorológica que se requiere para calcular la evapotranspiración, un parámetro básico en el balance hídrico priorizado y la programación de los riegos.

Objetivos

Al finalizar la unidad 1 los participantes estarán en capacidad de:

- Describir perfiles de suelo siguiendo el procedimiento establecido y utilizando el formato para registrar las observaciones sobre las características físicas del suelo.
- Determinar la capacidad de campo (CC) *in situ*, el punto de marchitez permanente (PMP) por el método biológico y la densidad aparente (Da) utilizando el método del núcleo.
- Calcular la LARA del suelo utilizando la fórmula matemática y los criterios establecidos.
- Utilizar los datos de precipitación y evaporación calculada como parte de la información de entrada requerida en el balance hídrico priorizado.



El balance hídrico (BH) es un método para programar los riegos buscando el manejo eficiente y sostenible del agua.

Es como “llevar la contabilidad” del agua del suelo, registrando las ganancias y las pérdidas de humedad. La cantidad o lámina de agua del suelo (**LAS**) aumenta cuando hay precipitación atmosférica que efectivamente entra al suelo (**P**) o cuando se aplica agua artificialmente por medio del riego (**R**). Las pérdidas de humedad del suelo se deben principalmente al agua que transpira la caña y la que se evapora en la superficie (evapotranspiración, **ET**).

Cambio en la humedad del suelo (CHS)

$$\text{CHS} = \text{Depósitos} - \text{Retiros}$$

$$\text{CHS} = \text{P} + \text{R} - \text{ET}$$

$$\text{CHS} = \text{LAS final} - \text{LAS inicial}$$

$$\text{LAS final} = \text{LAS inicial} + \text{P} + \text{R} - \text{ET}$$

Cuando LAS final = 0
es el momento oportuno de regar



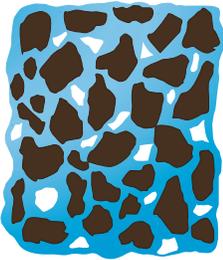
Balance hídrico priorizado, v.4.0

www.cenicana.org/BH/index.php

Estructura de aprendizaje

Parámetros del balance hídrico

Lámina de agua rápidamente aprovechable del suelo (LARA)

Descripción del perfil del suelo	Capacidad de campo (CC)	Punto de marchitez permanente (PMP)	Densidad aparente (Da)
			

Precipitación



Evapotranspiración



Para determinar la LARA primero hay que describir el perfil representativo del suelo y luego especificar la capacidad de campo (CC), el punto de marchitez permanente (PMP) y la densidad aparente (Da) del suelo en cada horizonte. Con estos datos procedemos a calcular la LARA utilizando una fórmula matemática sencilla que veremos más adelante.

Una vez calculada la LARA se debe ajustar de acuerdo con algunos criterios, como la condición hidrológica del sitio, las restricciones de profundidad y otras características del suelo como la textura, el agrietamiento, la compactación, la presencia de grava o piedra y el régimen de humedad, entre otras.

Los otros parámetros requeridos en el balance hídrico son la precipitación y la evapotranspiración, los cuales deben ser representativos de cada suerte cultivada con caña de azúcar.

Práctica 1

Describamos el perfil del suelo



Recurso digital

www.cenicana.org/pat

Objetivo

En esta práctica aprenderemos a realizar el procedimiento para describir un perfil de suelo en el campo, utilizando el formato específico diseñado para registrar las observaciones sobre las propiedades físicas del suelo.



El perfil del suelo es un corte vertical en la corteza terrestre, de entre 1 m y 2 m de profundidad, en el que se pueden observar franjas diferenciadas por color y textura principalmente, denominadas horizontes.

La "descripción del perfil del suelo" son las observaciones que se realizan en cada horizonte acerca de características físicas como textura, color, estructura, consistencia, presencia de raíces, piedras o carbonatos de calcio, y drenaje y descripción del relieve.

El examen del perfil del suelo puede hacerse mediante sondeos con barreno, o en zanjas, barrancos, cortes en vías y calicatas excavadas para tal fin. Los datos para describir las características de los horizontes, y sobre todo el muestreo, deben obtenerse de excavaciones hechas recientemente, para evitar alteraciones por el polvo, el aire, el agua, la vegetación y el sol.

Orientaciones para el facilitador

1. Un día antes de la práctica se deben excavar calicatas (una por cada grupo de tres o cuatro participantes). Las calicatas deben ser de 1 m x 1 m de superficie y 1.2 m de profundidad, con dos o tres escalones. Cúbralas con un plástico para evitar que les entre agua si llueve.
2. Marque cada calicata con una banderola con un número de identificación, para que los grupos de participantes se ubiquen donde les corresponde.
3. En caso de que sea necesario disponga de transporte para llevar a los participantes al sitio de práctica.
4. El día de la práctica, en el sitio de concentración, divida a los participantes (que no deben ser más de veinte) en equipos de tres o cuatro y asigne un número a cada equipo.
5. Entregue a cada participante las instrucciones y el formato para registrar la descripción del perfil del suelo.
6. Revise las instrucciones con los participantes y asegúrese de que todos las entiendan. Si es necesario realice una descripción de un perfil a manera de demostración. Haga especial énfasis que hay que prevenir los riesgos de accidentes, como machucones, cortadas, material del suelo en los ojos, etc.
7. Diríjase con el grupo al campo de práctica. Ubique a cada equipo en su sitio de trabajo y asegúrese de que todos cuentan con los materiales y herramientas para realizar la práctica con seguridad.
8. Informe a los participantes que disponen de dos horas para realizar la práctica y que cada equipo decide cómo van a dividirse el trabajo. Por ejemplo, si son tres, uno se encarga de pulir la calicata, otro registra los datos de descripción del perfil y el otro desciende al fondo de la calicata. Comuníqueles que usted hará las observaciones del caso durante el desarrollo de las actividades y resolverá de inmediato las inquietudes que surjan de la jornada. Infórmeles que una vez finalizada la práctica 1 se continuará con la práctica 2 en el mismo escenario.



Recursos necesarios

- Calicata (una por cada equipo de participantes). Si son veinte los participantes, se deben excavar cinco calicatas.
- Tabla Münsell de colores.
- Instrucciones para los participantes y formato de descripción del perfil (una copia por participante).
- Cada participante debe llevar sus propios elementos de protección como gorra, guantes y botas.
- Recipiente con agua limpia (1 litro).
- Ácido clorhídrico diluido (50 ml) en un recipiente con gotero aplicador.
- Cuchilla o navaja para hacer pequeños cortes de suelo.
- Cinta métrica de 3 m.
- Lupa mediana.





Instrucciones para los participantes

2 horas



Describamos el perfil del suelo

Al llegar al campo de práctica, cada equipo se ubica en la calicata asignada por el facilitador para llevar a cabo las siguientes actividades:

- Determinar la calidad del drenaje externo e interno.
- Medir el espesor del horizonte desde la superficie hacia abajo.
- Extraer muestras de suelo de la parte media de cada horizonte para determinar su textura al tacto.
- Identificar el color del suelo utilizando la tabla de Münsell.
- Establecer la estructura del suelo mediante el uso de una lupa.
- Determinar la consistencia del suelo y otras características.
- Realizar la prueba química para detectar presencia de carbonatos de calcio en suelo.

Además de estas instrucciones, los participantes deben tener impresos el formato para la descripción del perfil del suelo y el **apéndice técnico 1** con la guía para determinar la textura del suelo al tacto.

Los encargados del registro diligencian el formato diseñado para consignar la descripción del perfil del suelo, anotando en primer lugar la localización del sitio, el suelo, la topografía, la condición de drenaje externo o interno, la fecha de muestreo y el nombre de las personas responsables.

1

Se anota si el drenaje externo es pobre, moderado o bueno, lo cual se deduce si el agua se queda sobre la superficie del terreno (pobre), si escurre lentamente sobre la superficie (moderado) o si escurre fácilmente de la superficie (bueno).

2

Se anota también si el drenaje interno es pobre, regular o bueno, y se registra la profundidad del agua en caso de que aflore en la calicata. El drenaje interno también se puede evaluar por la presencia de manchas de color amarillo o rojizo, que indican estados de oxidación y reducción del hierro, o por las coloraciones grisáceas o azulosas en el perfil, que son signo de permanencia de niveles freáticos durante períodos largos.



3

Una persona del equipo baja al fondo de la calicata y pule la pared del suelo a la que le llega más luz, marca con una navaja o cuchilla las líneas de división entre horizontes que se pueden diferenciar a simple vista por el cambio de color o de textura, y mide con el flexómetro el espesor de cada horizonte desde la superficie hacia abajo. Otro miembro del equipo registra estos espesores en el formato, por ejemplo: 0-25 cm, 25-58 cm, 58-90 cm, etc.



4

Se toman las muestras de suelo de la parte media de cada horizonte para apreciar al tacto algunas características físicas (textura, estructura, consistencia) hasta la profundidad de interés o hasta la roca dura (si se encuentra a menor profundidad), y se registran.

La textura, definida como la proporción de los separados o partículas minerales del suelo (arenas, limos y arcillas), se identifica al tacto amasando entre el pulgar y el índice un poco de suelo humedecido tomado de cada uno de los horizontes y observando cómo se rompe el molde que forma un puñado (ver **apéndice técnico 1**).

Las abreviaturas usadas para registrar la textura son: F: Franco; A: Arenoso; L: Limoso; Ar: Arcilloso, y combinación de estas abreviaturas para el caso de texturas compuestas como la franco arcillosa (FAr), franco arcillo limosa (FARL), arcillo limosa (ArL), etc.





5

Para identificar de manera precisa el color del suelo se utiliza la tabla de Munsell, en la cual cada color aparece con un nombre y un código.

El color del suelo está representado por la escala nominal de colores como el rojo, el amarillo, el azul, y sus mezclas como el pardo (amarillento cafésoso), el verde, el gris, el oliva (verdoso como el aceite de oliva), etc.

Los colores rojizos indican buena aireación y drenaje, mientras que los colores amarillentos pueden ser indicio de drenaje imperfecto.

Las manchas grises, que resultan por la reducción del hierro, denotan mal drenaje.

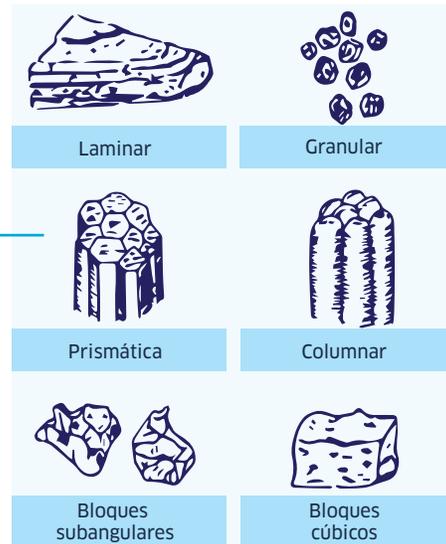
Las moteaduras o manchas amarillentas y grisáceas señalan las alturas máximas de fluctuación del nivel freático.

Las manchas gris-azulosas indican estados permanentes de reducción del hierro por la humedad constante.



6

La estructura del suelo es la forma como se agrupan los agregados o terrones del suelo; puede ser laminar, granular, prismática, columnar, de bloques subangulares y de bloques cúbicos. Para observar la estructura se utiliza una lupa mediana.

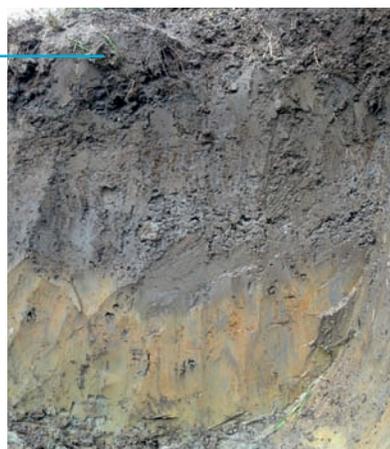




- 7** La consistencia del suelo expresa el grado de cohesión y adhesión por la resistencia a la deformación o ruptura. La consistencia en seco se clasifica como suelta, suave o dura. La consistencia en húmedo puede ser friable, firme y muy firme. Finalmente, en el caso de suelo muy húmedo la consistencia puede ser pegajosa o plástica.



- 8** Se describen otras características de cada horizonte como manchas, moteados, piedras, grado de compactación, presencia de raíces, estado de humedad y presencia de carbonatos. En cuanto a las raíces, se registra la capa de suelo en que se desarrollan con más abundancia y su penetración máxima.



- 9** Se toma una pequeña muestra de suelo de cada horizonte, se impregna con algunas gotas de ácido clorhídrico (HCl) diluido y frío, y se observa si se presenta reacción, lo cual indica la presencia de carbonatos de calcio.





Formato para la descripción del perfil del suelo



Recurso digital

www.cenicana.org/pat

Información básica

Ingenio		Hacienda	
Suerte - tablón		Suelo	
Topografía		Fecha muestreo	
Drenaje externo		Drenaje interno	
Personas encargadas			

Descriptores

Profundidad (cm)	Textura (símbolo*)	Color	Estructura	Consistencia en seco	Consistencia en húmedo	Otras características**

* Símbolos de textura: A, arenoso; Ar, arcilloso; L, limoso; F, franco; AF, arenoso-franco; FA, franco-arenoso; FArA, franco-arcillo-arenoso; ArA, arcillo-arenoso; FL, franco-limoso; FArL, franco-arcillo-limoso; FAr, franco-arcilloso.

** Otras características: moteaduras, piedras, compactación, raíces, humedad, carbonatos de calcio, etcétera.

Práctica 2

Determinemos la capacidad de campo, el punto de marchitez permanente y la densidad aparente del suelo



Recurso Digital

www.cenicana.org/pat

Objetivo

En esta práctica adquiriremos la destreza para determinar la capacidad de campo (CC) *in situ*, el punto de marchitez permanente (PMP) por el método biológico y la densidad aparente (Da) del suelo utilizando el método del núcleo.



La capacidad de campo (CC) se define como la cantidad de agua que es retenida por el suelo después de haber recibido un riego pesado, una lluvia fuerte o varios eventos de precipitación que lo saturan hasta una profundidad de 60 cm como mínimo. La CC corresponde a un rango de valores en la humedad del suelo cuando los cambios en el contenido de humedad son pequeños. La capacidad de campo es afectada por los cambios en la textura y en la estructura que ocurren en los diferentes horizontes del perfil del suelo, y depende de las condiciones locales; por tanto, se recomienda determinarla directamente con muestreos de campo.

El punto de marchitez permanente (PMP) es el rango en el contenido de humedad del suelo en el cual la planta no puede extraer agua y se marchita de manera permanente a pesar de que se le suministre agua. Este valor está afectado por el movimiento capilar del suelo, que controla el flujo de agua hacia la raíz.

La densidad aparente del suelo (D_a) se define como la relación entre el peso de una muestra de suelo seco (g) y el volumen total (cm^3) de la muestra de suelo extraída del perfil.

Orientaciones para el facilitador

1. Esta práctica debe realizarse inmediatamente después de la práctica 1 (ojalá el mismo día) utilizando las mismas calicatas y registros de descripción del perfil del suelo.
2. Tenga en cuenta que dos días antes de la fecha prevista para esta práctica debe construirse una poceta de 1 m^2 de superficie, saturarla con agua hasta 60 cm (vertiendo en ella unos 100-150 litros) y cubrirla con plástico.
3. Para desarrollar la práctica, deben tenerse a mano 30 plantas de girasol, soya o frijol que se encuentren a punto de marchitez permanente (PMP), sembradas en bolsas de un kilogramo. Esto significa que se deben sembrar con 45 días de anticipación, aproximadamente.
4. En otras 30 bolsas se deben tener plantitas en buen estado de desarrollo, de una altura entre 15-20 centímetros con tres pares de hojas como mínimo, sembradas con una antelación de al menos 20 días.
5. Hay que disponer de un horno convencional para secar las muestras de suelo a $105 \text{ }^\circ\text{C}$ y es necesario contar con una o dos balanzas de precisión para pesar las muestras.
6. Los equipos de participantes son los mismos que se conformaron para la práctica de descripción del perfil del suelo.
7. Entregue a cada participante las instrucciones para la realización de la práctica. Revíselas con ellos y asegúrese de que todos las entiendan.
8. Compruebe que cada equipo cuenta con los materiales y herramientas requeridos para realizar la práctica con seguridad. Informe a los participantes que disponen de tres horas para realizar la práctica y que cada equipo decide cómo van a dividirse el trabajo.



Recursos necesarios

- Calicatas (las mismas que se utilizaron en la práctica 1; una calicata por cada equipo).
- Formato con el registro de la descripción del perfil de suelo realizado en la práctica 1 anterior.
- Formatos para registro y determinación del contenido de humedad.
- Cada participante debe llevar sus propios elementos de protección como gorra, guantes y botas.
- Tinajas con 150 litros de agua cada una (una en cada sitio).
- Balde graduado de 10 litros (cinco unidades).
- Cuchilla o navaja para hacer pequeños cortes en el suelo.
- Flexómetro o regla graduada en centímetros.
- Pala de campo (cinco unidades).
- Pala de jardinería (cinco unidades).
- Cinco bolsas de 100 g de semillas viables de girasol o de soya.
- Treinta plantas de girasol o de soya de 20 - 30 cm de altura, en buen estado de desarrollo.
- Treinta plantas de girasol o de soya con suelo a PMP.
- Plástico de color oscuro de 2 m x 2 m (cinco unidades)
- Quince bolsas de plástico de 3 - 4 kilogramos (tres bolsas por cada equipo).
- Cincuenta bolsas de plástico de 1 kilogramo (10 bolsas por cada equipo).
- Seis rollos de cinta con pegante para sellar bolsas plásticas.
- Barreno holandés (cinco unidades).
- Cinco juegos de nueve cilindros o anillos de acero inoxidable, de volumen conocido (cm³).
- Una tabla de madera de 15 cm x 15 cm.
- Cinco martillos pequeños.
- Cuarenta y cinco cajas de aluminio con tapa, para verter en ellas las muestras de suelo y llevarlas al laboratorio (nueve cajas por cada equipo de participantes).
- Cinco marcadores de tinta para marcar las cajas y las bolsas con muestras de suelo.
- Balanza electrónica de precisión, para pesar las muestras (tres balanzas).
- Horno para secar las muestras a temperatura de 105 °C.



Instrucciones para los participantes

3 horas



Determinemos la capacidad de campo, el punto de marchitez permanente y la densidad aparente del suelo

Capacidad de campo (CC) *in situ*

El procedimiento es el siguiente:

Se elige un sitio a unos dos metros de la calicata en la que se hizo la descripción del perfil y se demarca una superficie de un metro cuadrado aproximadamente, la cual se limpia y se nivela con una pala, sin remover demasiado la superficie del terreno.

1



Sobre el perímetro del cuadrado demarcado se levanta un dique de 15-20 cm de altura, recogiendo tierra de afuera, para formar una especie de poceta o piscina. Este dique se compacta con la pala para evitar que ceda al llenarlo de agua.

2



Si el suelo está muy seco se vierten en la poceta, lentamente, entre 150 - 200 litros de agua para que el perfil del suelo se sature hasta una profundidad de un metro como mínimo. En caso de que el suelo esté húmedo se requiere menos cantidad de agua para saturarlo.

3



Una vez saturado el suelo de la poceta se cubre con un plástico oscuro o con empaques de plástico abiertos, para evitar la evaporación, y sobre esta cubierta se pone un poco de suelo suelto para evitar que el viento la mueva.



Una vez saturado el suelo ¿cuándo se toman las muestras para capacidad de campo?

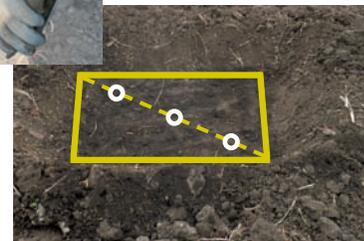
- A los tres días en suelos de textura fina.
- A los dos días en suelos de textura mediana.
- Al día siguiente en suelos de textura gruesa.

En otra poceta cercana cubierta con plástico (que fue saturada dos días antes para realizar esta práctica), se toman muestras del suelo con el barreno holandés en tres sitios ubicados diagonalmente, una muestra de suelo por cada profundidad correspondiente al punto medio del espesor de cada horizonte definido previamente en la descripción del perfil. Las muestras de suelo se ponen en cajas de aluminio debidamente marcadas.

4



Sitios de muestreo



Cada caja se pesa en una balanza de precisión y se lleva a un horno a 105 °C durante 24 horas para obtener así el contenido gravimétrico de humedad a capacidad de campo.

5



El porcentaje de humedad (CH) de la muestra de suelo es la relación entre el peso del agua perdida por la muestra (P_w) y el peso de la muestra seca (P_{ss}), multiplicado por 100, así:

$$CH = \frac{P_w}{P_{ss}} * 100$$

Ejemplo: en un sitio X se extrajo una muestra de suelo a 30 cm de profundidad y se puso en una caja de aluminio cuyo peso vacío fue de 22.1 g, mientras que el peso del suelo más la caja fue de 127.7 g. Se llevó al horno a 105 °C durante 24h, luego se sacó la muestra y su peso más la caja fue de 103.9 g. Al aplicar la fórmula para calcular el contenido de humedad (CH):

$$CH = \frac{P_w}{P_{ss}} * 100 = \frac{127.7 - 103.9}{103.9 - 22.1} * 100 = 29.1\%$$



Punto de marchitez permanente (PMP)

Dentro de la calicata, en la parte media de cada horizonte se extrae una muestra de suelo de 3 kg a 4 kg de peso, se introduce en una bolsa de plástico y se marca debidamente para ser transportada al sitio donde se hará la siembra de plantas indicadoras como el girasol o la soya.

1



El suelo proveniente de cada horizonte se introduce en tres bolsas de plástico de 1 kg cada una, dejando un espacio libre de unos 5 cm en la parte superior de la bolsa.

2



En cada bolsa se coloca una paleta de madera o plástico con la indicación del sitio y la profundidad de donde proviene el suelo.

3



En cada bolsa con suelo se siembran tres semillas de girasol, soya o frijol. En el caso de muestras de suelo extraídas de los horizontes de mayor profundidad es necesario agregar una cucharadita de algún fertilizante compuesto que contenga los tres elementos mayores (N, P y K), por ejemplo, Triple 15, para asegurar el buen desarrollo de la planta indicadora.

4





Una vez sembradas las semillas se debe aplicar permanentemente agua al suelo que contienen las bolsas para asegurar el buen desarrollo de las plántulas.

5



A las plantas en buen estado de desarrollo, de una altura entre 15 cm y 20 cm y con tres pares de hojas como mínimo, se les suspende el suministro de agua y se sella con cinta la parte superior de la bolsa para evitar la lluvia y permitir una aireación normal de las plantas. Se reitera que es necesario haber sembrado estas plantas con anterioridad a la práctica.

6



En otro conjunto de bolsas se deben tener plantas que muestren signos de marchitez debido a que el suelo se ha secado demasiado. En ese momento se abren las bolsas, se toman muestras de suelo y se introducen en cajas de aluminio debidamente marcadas.

7



Las muestras de suelo se pesan antes de llevarlas al horno a 105 °C durante 24 horas, se pesan de nuevo y se determina el contenido gravimétrico de humedad a punto de marchitamiento, utilizando el mismo procedimiento que se explicó en el acápite de capacidad de campo: $CH = (Pw/Pss) * 100$

8





Densidad aparente (D_a)

En la misma calicata utilizada para describir el perfil del suelo, en la parte horizontal de los escalones construidos para ingresar a ella, se remueve un poco de suelo para hacerlo coincidir con la parte media de cada horizonte; luego, utilizando un barreno de núcleo con cilindros de volumen conocido (cm^3), o enterrando estos cilindros mediante golpes suaves con un martillo, se toman muestras sin disturbar en tres anillos a las profundidades correspondientes al punto medio de cada uno de los horizontes identificados.

Las muestras extraídas en los cilindros metálicos deben enrasarse con mucho cuidado para que correspondan al volumen del cilindro. Luego se ponen en bolsas marcadas, se secan en un horno a $105\text{ }^\circ\text{C}$ por 24 horas y se pesan en una balanza electrónica de precisión para obtener el peso del suelo seco en gramos.

Si el suelo es pedregoso se puede utilizar un cilindro más grande, de unos 10 cm de diámetro y 10 cm de alto.

1



2



El volumen (V , en cm^3) de los cilindros o anillos se puede determinar midiendo su diámetro interno (D , en cm) y su altura (h , en cm), utilizando la siguiente fórmula:

$$V = \frac{\pi * (D)^2}{4} * h$$

Ejemplo: Un anillo cuyo diámetro es de 5.45 cm y su altura de 2.15 cm, tiene un volumen:

$$V = \frac{\pi * (5.45)^2}{4} * 2.15$$

$$V = 23.33 \text{ cm}^2 * 2.15 \text{ cm} = 50.16 \text{ cm}^3$$





Sin embargo, si no se cuenta con estos cilindros, se excava con un barreno un pequeño agujero de unos 8-10 cm de diámetro por 10 cm de profundidad, se extrae el suelo y se vierte en una bolsa plástica debidamente marcada para luego secarlo en un horno y pesarlo.

Una vez se haya extraído todo el suelo del agujero, se forra con plástico delgado la pared interna del hoyo excavado para luego llenarlo de agua, extraerla y medir su volumen en una probeta graduada. Este volumen equivale al volumen total de suelo.

Luego se divide el peso del suelo seco (g) por el volumen total de suelo (cm³) y el resultado es la densidad aparente (g/cm³).



3

Una vez se tenga registrado en cada muestra el peso del suelo seco (Pss) en gramos y el volumen total de suelo (Vts) en cm³, se procede a calcular la densidad aparente (Da), de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$Da = \frac{Pss}{Vts}$$

Ejemplo:

Si el peso del suelo seco (Pss) es 70.14 g y el volumen total de suelo (Vts) es 50.16 cm³, la densidad aparente (Da) será:

$$Da = \frac{70.14 \text{ g}}{50.16 \text{ cm}^3} = 1.40 \text{ g/cm}^3$$



Formato para determinación de humedad gravimétrica del suelo



Recurso digital

www.cenicana.org/pat

Información básica

Ingenio		Hacienda	
Suelo		Topografía	
Drenaje externo		Drenaje interno	
Fecha muestreo		Personas encargadas	

Descriptores

Suerte - tablón	Calicata	Profundidad (cm)	Peso suelo húmedo más peso cilindro (g)	Peso suelo seco más peso cilindro (g)	Peso cilindro (g)	Humedad gravimétrica (%)
Observaciones:						

Taller 1

Calculemos la lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA)



Recurso Digital

www.cenicana.org/pat

Objetivo

En este taller aprenderemos a determinar la lámina de agua rápidamente aprovechable del suelo, como insumo para establecer el balance hídrico para la programación técnica de los riegos.



El suelo puede considerarse como un reservorio de agua, pero la planta solo puede utilizar aquella agua que es retenida por el suelo en el rango entre capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP), por lo cual se denomina agua aprovechable. Del total de agua disponible, una parte se puede agotar sin que se afecte la producción del cultivo, pero una vez agotada esta porción se debe aplicar el riego. Esta fracción de agua se denomina: lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA). El factor de agotamiento (Fag) permisible del agua total disponible en el suelo puede oscilar entre 40% y 60%. Una vez obtenidos los valores de capacidad de campo, punto de marchitez permanente y densidad aparente (Da) se procede a calcular la LARA para cada horizonte del perfil del suelo utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{LARA} = \frac{\text{CC} - \text{PMP}}{100} * \text{Da} * \text{Pr} * \frac{\text{Fag}}{100} * 10$$

Donde:

LARA Lámina de agua rápidamente aprovechable (mm)

CC Capacidad de campo (% de humedad gravimétrica, g)

PMP Punto de marchitez permanente (% de humedad gravimétrica, g)

Da Densidad aparente (g/cm³)

Pr Profundidad radical efectiva (cm)

Fag Factor de agotamiento permisible (%)

En cuanto a la profundidad radical efectiva (Pr), definida como la profundidad en la cual se encuentra el 80% de las raíces encargadas de tomar agua del suelo, se ha encontrado que para el cultivo de caña de azúcar en nuestra región y en suelos profundos los valores apropiados son: 60 cm hasta los cuatro meses de edad y 80 cm a partir de esta edad. Sin embargo, si el suelo presenta alguna restricción para el desarrollo de las raíces o del cultivo mismo, por ejemplo, nivel freático fluctuante, alto contenido de piedra, capas endurecidas o de roca madre poco profundas, la profundidad radical efectiva se debe ajustar.

Orientaciones para el facilitador

1. Prepare con anticipación una presentación impresa en papel con el procedimiento para calcular la LARA del suelo, en la cual enfatice los datos básicos que se requieren para determinarla: la capacidad de campo, el punto de marchitez permanente y la densidad aparente, en cada horizonte.
2. Terminada la presentación, en un espacio acondicionado en el campo con una carpa, papelógrafo y asientos de acuerdo con el número de participantes (máximo 20 personas), explique el procedimiento para calcular la LARA usando el ejemplo siguiente (hay que disponer de un horno convencional para secar las muestras de suelo a 105 °C).
3. Recuerde a los participantes que para calcular la LARA para cada uno de los horizontes se utiliza la fórmula descrita antes:

$$\text{LARA} = \frac{\text{CC} - \text{PMP}}{100} * \text{Da} * \text{Pr} * \frac{\text{Fag}}{100} * 10$$



Ejemplo para calcular la LARA del suelo

Horizonte	Profundidad horizonte	Capacidad de campo, CC	Punto de marchitez, PMP	Densidad aparente, Da	Factor de agotam., Fag	LARA horizonte	LARA 0-60 cm	LARA 0-80 cm
(cm)	(cm)	(% grav)	(% grav)	(g/cm ³)	(%)	(mm)	(mm)	(mm)
0 - 32	32	32	15	1.1	50	30	58	78
32 - 54	22	33	17	1.2	50	21		
54 - 65	11	31	14	1.3	50	12		
65 - 90	25	30	14	1.2	50	24		

4. Calcule la LARA hasta una profundidad de 60 cm, considerada como la profundidad efectiva de absorción de agua de la caña de azúcar hasta los cuatro meses de edad, en suelos profundos, sin limitaciones físicas, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{LARA (hasta 60 cm)} = \text{LARA (0-32 cm)} + \text{LARA (32-54 cm)} + (\text{LARA (54-65 cm)} * 6/11) = 58 \text{ mm}$$

5. Calcule la LARA hasta una profundidad de 80 cm, considerada como la profundidad efectiva de absorción de agua de la caña de azúcar a partir de los cuatro meses de edad, en suelos profundos, sin limitaciones físicas, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{LARA (hasta 80 cm)} = \text{LARA (0-32 cm)} + \text{LARA (32-54 cm)} + \text{LARA (54-65 cm)} + (\text{LARA (65-90 cm)} * 15/25) = 78 \text{ mm}$$

6. Suministre a cada participante una hoja con un cuadro con valores de profundidad de horizontes, CC, PMP y Da, para que calcule la LARA hasta 60 cm y hasta 80 cm.
7. Una vez los participantes hayan terminado el ejercicio, explíqueles cómo realizar los ajustes al valor calculado de la LARA, de acuerdo con los criterios indicados en las instrucciones para los participantes. Tienen 90 minutos para el taller.

Recursos necesarios

- Un espacio adecuado con asientos y carpa, cercano al sitio de las prácticas 1 y 2.
- Un papelógrafo con la presentación del procedimiento para calcular la LARA del suelo.
- Una calculadora o un computador portátil para el facilitador.
- Hoja de trabajo para cada participante con un cuadro que contenga datos de profundidad de horizonte, CC, PMP y Da.



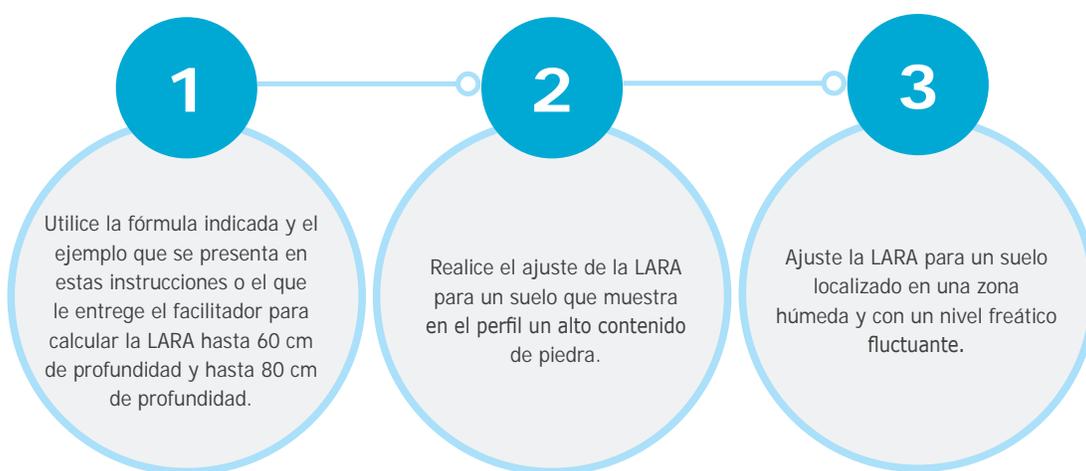
Instrucciones para los participantes

90 minutos



Calculemos la lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA)

Siga las explicaciones del facilitador acerca del procedimiento para calcular la LARA del suelo como insumo para establecer el balance hídrico para la programación técnica de los riegos. Luego realice el cálculo de la LARA usted mismo de acuerdo con las instrucciones y los valores dados por el facilitador.



Fórmula para calcular la LARA del suelo

Recuerde que la fórmula para calcular la lámina de agua rápidamente aprovechable del suelo es:

$$LARA = \frac{CC - PMP}{100} * Da * Pr * \frac{Fag}{100} * 10$$

Donde:

LARA	Lámina de agua rápidamente aprovechable (mm)
CC	Capacidad de campo (% de humedad gravimétrica, g)
PMP	Punto de marchitez permanente (% de humedad gravimétrica, g)
Da	Densidad aparente (g/cm ³)
Pr	Profundidad radical efectiva (cm)
Fag	Factor de agotamiento permisible (%)



Llene los espacios vacíos en este cuadro de cálculo de la LARA del suelo

Horizonte	Profundidad horizonte	Capacidad de campo, CC	Punto de marchitez, PMP	Densidad aparente, Da	Factor de agotam., Fag	LARA horizonte	LARA 0-60 cm	LARA 0-80 cm
(cm)	(cm)	(% grav)	(% grav)	(g/cm ³)	(%)	(mm)	(mm)	(mm)
0 - 35	35	30	14	1.1	45			
35 - 57	22	28	15	1.2	45			
57 - 70		31	14	1.2	40			
70 - 100		26	13	1.2	40			

Tenga en cuenta:

- El suelo puede considerarse como un reservorio de agua, pero la planta solo puede utilizar el agua que es retenida por el suelo hasta una profundidad donde pueden alcanzarla las raíces.
- La profundidad radical efectiva (Pr) alberga el 80% de las raíces encargadas de tomar agua del suelo. En suelos profundos y sin limitaciones físicas del valle del río Cauca, la Pr se estima en 60 cm (caña menor de 4 meses) y 80 cm (a partir de los 4 meses de edad).
- El factor de agotamiento (Fag) del agua total disponible en el suelo puede oscilar entre 40% y 60%.

Crterios para ajustar la LARA calculada

- **En cuanto a la profundidad radical efectiva (Pr)**, definida como aquella hasta donde pueden penetrar las raíces de las plantas sin obstáculo físico, se seleccionan dos profundidades correspondientes a dos etapas del cultivo de la caña de azúcar: una etapa de macollamiento (de 2 a 4 meses) y una etapa de rápido crecimiento (de 4 a 10 meses).

En suelos superficiales con capas compactadas, pedregosas, arcillosas, o con un nivel freático fluctuante y demás factores que puedan limitar el desarrollo de las raíces, para el período de 2 a 4 meses de edad se puede tomar como valor de profundidad radical 40 cm, y a partir de los 4 meses, 60 cm.

- **En cuanto al factor de agotamiento (Fag)**, se puede tomar un valor de 40% en suelos de textura fina (arcillosos, arcillo-limosos o franco-arcillosos), que tienden a agrietarse cuando se secan, aumentando el consumo de agua para riego. Por tanto, para evitar que alcancen a agrietarse demasiado se debe aumentar la frecuencia de riego. El factor de agotamiento de 40% es también razonable en suelos que muestran alto contenido de piedra en el perfil.

Un factor de agotamiento de 60% se puede considerar en suelos húmedos a muy húmedos (ácucos), ubicados en zonas de alta precipitación, debido a que en estos suelos los riegos deben espaciarse para no acentuar los problemas de saturación y encharcamientos.

Recomendaciones para el facilitador

Talleres con herramientas web

(talleres 2, 3, 4 y 5)

www.cenicana.org

- Una semana antes del taller solicite formalmente a Cenicaña una "clave temporal para capacitación en la herramienta Balance hídrico priorizado, v.4.0".

Cenicaña ha creado una base de datos específica para las capacitaciones que realizan los facilitadores del PAT, con lo cual se busca proteger los datos de las suertes comerciales registradas en el sistema de información de agricultura específica por sitio administrado por el centro de investigación.

- Envíe un mensaje a **admin_web@cenicana.org** solicitando la clave temporal, incluya la fecha del taller, el lugar donde se llevará a cabo, el número de participantes y la información adicional que considere necesaria.
- La clave temporal debe ser utilizada por todos los participantes en la capacitación para ingresar a las herramientas disponibles en el sitio web de Cenicaña (**www.cenicana.org**)
- Revise la información 'autorizada' por Cenicaña y complemente o modifique los datos de acuerdo con su criterio (siempre usando la clave temporal).
- El día del taller procure contar con el apoyo de un tecnólogo en sistemas informáticos, quien le ayudará para acondicionar los computadores que traigan los participantes o los que usted proporcione, si es necesario. Tenga en cuenta que debe organizar una sala con sillas, mesas y tomas de energía suficientes, de acuerdo con el número de participantes.
- Para asegurar el logro de los objetivos de los talleres propuestos en esta guía metodológica sobre balance hídrico es indispensable que el facilitador maneje eficientemente las siguientes herramientas: **Servidor de mapas**, **Base de datos RMA** y **Balance hídrico priorizado (v.4.0)**.

Tenga en cuenta: para que el programa de BH pueda ejecutar los cálculos y presentar los reportes con un número amplio de valores para cada parámetro, se debe contar con registros de varios meses actualizados a la fecha del taller.



Balance hídrico priorizado, v.4.0

www.cenicana.org/BH/index.php

Taller 2

Capturemos los datos de precipitación y evaporación



Pluviómetro

Tanque clase A



Recurso Digital

www.cenicana.org/pat

Objetivo

En este taller aprenderemos a obtener los datos de precipitación y evaporación necesarios para implementar el método del balance hídrico para la programación de los riegos de la caña de azúcar en el valle del río Cauca.



Orientaciones para el facilitador

1. Una semana antes del taller solicite al administrador del sitio web de Cenicaña (admin_web@cenicana.org) una "clave temporal para capacitación en Balance hídrico priorizado, v.4.0".
2. Realice este taller sobre captura de datos de precipitación y evaporación en un salón con computadores y acceso a internet, el mismo día que celebre el taller 3 sobre el manejo de la herramienta BH priorizado.
3. Elabore una presentación que ilustre el tipo de pluviómetros que se pueden utilizar, la forma de medir la precipitación y la red de pluviómetros que debe tener un predio de acuerdo con el área.
4. Invite a los participantes a realizar la medición de la precipitación en un pluviómetro y explíqueles el significado de la unidad de medida de la lluvia (mm). Tenga en cuenta: área receptora de 100 cm², recipiente graduado hasta 250 ml = 25 mm; 10 ml = 1 mm.
5. Realice otra presentación sobre la evaporación que incluya las características del tanque de evaporación clase A y la forma de medirla. Mencione además el concepto de la evaporación calculada con base en los datos diarios de radiación solar, oscilación de la temperatura del aire, velocidad media del viento y humedad relativa del aire registrados en las estaciones de la RMA. Este valor de evaporación calculada se puede usar en caso de no disponer de los datos diarios de evaporación medidos en tanque clase A.
6. Haga una demostración sobre los pasos para obtener los datos de precipitación y evaporación desde el sitio web de Cenicaña (www.cenicana.org)

Recursos necesarios

- Salón con computadores con acceso a internet (un computador por participante).
- Clave temporal para acceso al sitio web de Cenicaña que consultas al Servidor de mapas y la Base de datos de la RMA.
- Un computador, un proyector y un telón para uso del facilitador.
- Presentación sobre precipitación y evaporación que incluya equipos y formas de medición y obtención de datos de evaporación desde el sitio web de Cenicaña
- Un pluviómetro típico utilizado en el sector de la caña de azúcar para una demostración de lectura de la precipitación.



Instrucciones para los participantes

1 hora



Capturemos los datos de precipitación y evaporación

En este taller cada participante debe contar con un computador personal con acceso a internet.

El facilitador hará una presentación acerca de los equipos que se usan para medir la precipitación (pluviómetro) y la evaporación (tanque clase A), orientará a los participantes para hacer las mediciones en un pluviómetro y explicará el modo de consultar los datos que suministra Cenicaña desde su sitio web.

- Revisaremos los criterios para establecer la red de pluviómetros y tanques de evaporación en cada predio y las recomendaciones de Cenicaña acerca del valor de precipitación efectiva (P) que se debe utilizar en el balance hídrico priorizado para la programación de los riegos en el valle del río Cauca.
- Tendremos la ocasión de dialogar acerca de la evapotranspiración (ET), el otro parámetro básico, junto con la precipitación efectiva, en el balance hídrico priorizado y la programación de los riegos.
- Aprenderemos a capturar los datos diarios de precipitación incidente y evaporación calculada en consultas a la base de datos de las estaciones de la Red meteorológica automatizada (RMA).

Precipitación

La precipitación (P) que se debe considerar para el balance hídrico es la que efectivamente llega hasta el suelo, que es una fracción de la precipitación incidente (P_i) medida en un pluviómetro representativo de la suerte a la cual se pretende calcularle el balance hídrico.

De acuerdo con una investigación reciente de Cenicaña (Alarcón y Cruz, 2012[◇]), la precipitación efectiva (P) en el cultivo de caña de azúcar se puede estimar en:

- Alrededor de 80% en precipitaciones entre 1 mm y 12 mm ($P = 0.8 * P_i$, si $P_i \leq 12$ mm)
- Cerca de 90% en precipitaciones superiores a 12 mm ($P = 0.9 * P_i$, si $P_i \geq 12$ mm)

Teniendo en cuenta que la P_i puede variar de un sitio a otro e incluso dentro de una misma zona, en cada predio se debe contar con una red de pluviómetros establecida de acuerdo con la variabilidad de la lluvia. En general, se sugiere colocar uno o varios pluviómetros según el área, como se muestra a continuación.

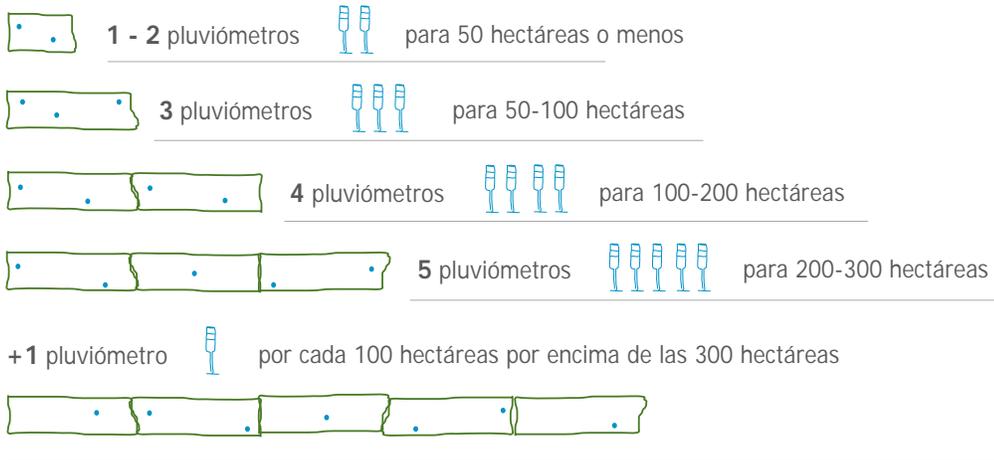


[◇] Documento en texto completo disponible en www.cenicana.org/biblioteca/catalogo_online.php

Alarcón, S.L. y Cruz, J.R. 2012. Precipitación efectiva en el cultivo de la caña de azúcar para programar riegos mediante balance hídrico. v.1. p.557-567. En: Congreso Atalac-Tecnicaña. Memorias.



Red de pluviómetros establecida de acuerdo con la variabilidad de la lluvia



Realice la medición de la precipitación siguiendo las indicaciones dadas por el facilitador.

Evaporación

La evaporación se mide en el tanque clase A y, a diferencia de la precipitación, presenta una menor variación y por ello puede obtenerse de una estación distante varios kilómetros, siempre y cuando corresponda a la misma zona en cuanto a radiación solar, oscilación de la temperatura del aire, velocidad del viento y humedad relativa del aire.

Cabe anotar que para obtener la evaporación medida en el tanque clase A se han presentado muchas dificultades en nuestra región, razón por la cual Cenicafña acometió el trabajo de estimar la evaporación del tanque clase A con base en otros parámetros del clima medidos diariamente en las estaciones de la Red meteorológica automatizada.

La evaporación (Ev) medida en el tanque clase A es utilizada por el programa computarizado de balance hídrico priorizado para estimar la evapotranspiración del cultivo (ET), que comprende el agua perdida tanto por evaporación directa desde la superficie del suelo como por transpiración a través de la superficie de las hojas de las plantas.

El método del tanque de evaporación permite estimar la evapotranspiración del cultivo, así:

$$ET = K * Ev$$

Donde:

ET es la evapotranspiración del cultivo (mm/día)

K es el coeficiente bioclimático, que integra los coeficientes de tanque y de cultivo

Ev es la evaporación medida en el tanque clase A (mm/día)





En investigaciones realizadas sobre el uso consuntivo de la caña de azúcar en las condiciones ambientales del valle del río Cauca (Cruz *et al.*, 2009^o) se ha encontrado el factor K para la programación de los riegos de acuerdo con la edad del cultivo (ver tabla).

Así mismo, se ha observado que un nivel freático superficial con aguas de buena calidad puede aportar entre 40% y 60% de los requerimientos de agua de la caña de azúcar.

Estudios realizados en zonas con nivel freático alto indican que se puede reducir el valor de K de 0.7 a 0.5 en el periodo de rápido crecimiento, para incluir el aporte de agua capilar a partir del nivel freático. Durante el período de maduración los riegos pueden ser suspendidos para facilitar el agostamiento de la caña de azúcar.

Factor K	Edad de la caña
K = 0.3	1 - 3 meses
K = 0.4	3 - 4 meses
K = 0.6	4 - 5 meses
K = 0.7	5 - 6 meses
K = 0.8	6 - 8 meses
K = 0.7	8 - 9 meses
K = 0.6	9 - 10 meses



Documento en texto completo

Cruz, J.R.; Torres, J.S.; Besosa, R.; Gómez, J.; Pantoja, J.E. 2009. Función de K para mejorar la precisión en la programación de los riegos. v.1. p.289-297. En: Congreso Tecnicaña, Memorias.

Capturemos los datos del boletín diario publicado por Cenicaña

- 1. Ingrese a www.cenicana.org y escriba el nombre de usuario y la clave que le indique el facilitador.
- 2. Vaya a **Agricultura específica por sitio**, luego al **Servidor de mapas** y seleccione: **ingenio**, **hacienda** y **suerte** para la consulta.
- 3. Identifique las estaciones meteorológicas automatizadas de influencia en la suerte de interés seleccionando: **Mapas temáticos > Climatología > Área de influencia RMA actual**.
- 4. Haga clic en el botón **"Información"** para obtener la ubicación de la estación y los enlaces para consultar los datos de las variables atmosféricas. Seleccione el enlace: **"Base de datos de la RMA"**
- 5. En la herramienta de consultas de la RMA escoja **"Boletines diarios"**, marque **Datos de precipitación y evaporación para BH**, seleccione la **estación meteorológica** y la **fecha** para consultar los valores de estas variables.

Manejo de la herramienta Balance hídrico priorizado, v. 4.0

Como se indicó en la unidad 1, el balance hídrico se puede asimilar a una “contabilidad” del agua del suelo, en la cual se registran las ganancias y las pérdidas de humedad del cultivo. La cantidad de agua del suelo (LAS) aumenta cuando ocurre un evento de precipitación efectiva (P) o cuando se le aplica agua artificialmente por medio del riego (R). Las pérdidas de humedad del suelo se deben principalmente al agua que transpira la caña y la que se pierde por evaporación desde la superficie del suelo (evapotranspiración, ET). El cambio en la humedad del suelo (CHS), definido como la diferencia entre la lámina del suelo final (LAS final) y la lámina del suelo inicial (LAS inicial), es el resultado del balance entre las ganancias (depósitos) y las pérdidas de agua (retiros), lo cual se puede expresar como:

$$\text{CHS} = \text{Depósitos} - \text{Retiros}$$

$$\text{CHS} = P + R - ET$$

$$\text{CHS} = \text{LAS final} - \text{LAS inicial}$$

$$\text{LAS final} = \text{LAS inicial} + P + R - ET$$

Cuando LAS final = 0 es el momento oportuno de regar

El método del balance hídrico tiene la ventaja de que permite sistematizar la programación de los riegos, ya que se puede predecir el consumo de agua del cultivo (ET) con base en la información de evaporación calculada (datos de la RMA) o medida en el tanque clase A. El programa Balance hídrico priorizado, versión 4.0, debe ser considerado como una herramienta básica para la programación de los riegos en caña de azúcar en el valle del río Cauca. Esta versión de la herramienta incorpora los nuevos avances en las tecnologías de manejo de aguas, sistemas y comunicaciones.

En esta unidad de aprendizaje desarrollaremos las capacidades para manejar ese programa de balance hídrico como herramienta clave para la programación de los riegos.

Objetivo

Al finalizar la unidad 2 los participantes tendrán la capacidad para manejar la herramienta de balance hídrico v.4.0 desarrollada por Cenicaña para la programación de los riegos en la caña de azúcar en el valle del río Cauca.

Estructura de aprendizaje

Balance hídrico priorizado, versión 4.0

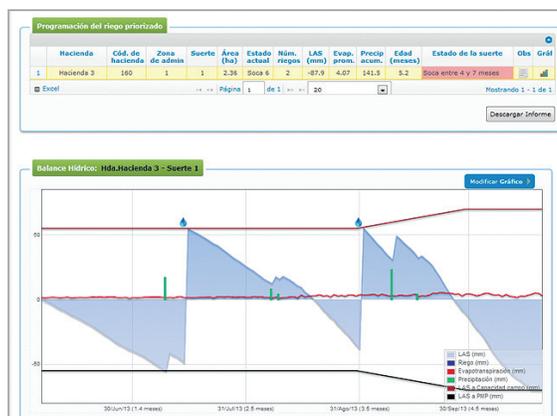


Se ingresa al Balance hídrico priorizado desde el sitio web de Cenicaña, se registran los datos de usuario (correo electrónico y clave), y se da clic en el menú **CREAR/MODIFICAR** para introducir la información de cada finca (hacienda), pluviómetro, suerte y fuente de agua.

En el menú **REGISTRAR DATOS** se incluyen los valores de precipitación, evaporación y riegos aplicados. Se desplaza al menú **INFORMES** y el sistema arroja el cálculo del balance hídrico, la programación de los riegos y los demás registros que conforman la "hoja de vida hídrica" de la plantación.



El balance hídrico se puede iniciar después de un riego o de varias lluvias que lleven el suelo hasta capacidad de campo. En este caso el 'capital base' para iniciar la contabilidad es la lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA), lo cual significa que la lámina de agua del suelo (LAS) es igual a la LARA.



Balance hídrico priorizado, v.4.0

www.cenicana.org/BH/index.php

Taller 3

Manejemos el programa computarizado Balance hídrico priorizado, versión 4.0

1 Crear / Modificar
En esta sección se crean las haciendas, suertes, pluviómetros y fuentes de agua.

2 Registrar datos
Los datos de precipitación y riego se registran a través de este menú. También los ajustes sobre la lámina de agua en el suelo (LAS) y la información para llevar un control administrativo del riego.

3 Cosechar
Cuando una suerte es cosechada se registra en esta sección, al igual que cuando se realiza la renovación del cultivo.

4 Informes
Los principales informes corresponden a: programación de los riegos y cálculo del balance hídrico. Estos informes se muestran en tablas y gráficos para cada suerte.

5 Configuración
Opciones que permiten administrar la información de suertes y haciendas, y la configuración de los usuarios habilitados para trabajar con el balance hídrico.

Hacienda	Cód. de hacienda	Zona de admin.	Suerte	Área (ha)	Estado actual	Núm. riegos	LAS (mm)	Evap. prom.	Precip. acum.	Edad (meses)	Estado de la suerte	Obs	Gráf
Hacienda 3	160	1	1	2.36	Soca 6	2	-87.9	4.07	141.5	5.2	Soca entre 4 y 7 meses		



Recurso digital
www.cenicana.org/pat

Objetivo

En este taller adquiriremos las capacidades para manejar la herramienta Balance hídrico priorizado, versión 4.0, diseñada por Cenicaña para la programación de los riegos en el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca.



Orientaciones para el facilitador

En este taller aprenderemos a utilizar el programa computarizado, iniciar el BH, calcularlo, programar los riegos y, si es necesario, ajustar los parámetros (precipitación, riego y LAS) de acuerdo con criterios técnicos.

El taller se basa en ejemplos a través de los cuales el facilitador explica cómo se maneja el programa Balance hídrico priorizado, y en ejercicios para que el participante use el sistema e interactúe con otros miembros del grupo.

Para organizar las actividades se sugiere al facilitador que revise con anticipación estas orientaciones y las "instrucciones para los participantes". Para realizar el taller es necesario solicitar una clave temporal para capacitación en Balance hídrico priorizado, v.4.0, siguiendo las "Recomendaciones para el facilitador. Talleres con herramientas web" dadas anteriormente.

1. Para comenzar explique en qué consisten las actividades del taller.
2. Haga una presentación para que los participantes obtengan una comprensión clara del movimiento de la contabilidad de agua en el suelo y por qué se puede usar para programar los riegos con varios días de anticipación.
 - Repase los consejos para iniciar el balance hídrico y las alternativas al respecto.
 - Desarrolle el "ejemplo de cálculo del balance hídrico del suelo" que aparece en las instrucciones para los participantes, explique la fórmula de cálculo y los datos del balance. Muestre cómo se calcula la evapotranspiración (ET) y advierta sobre los resultados de déficit o exceso hídrico en el suelo.
 - Explique la fórmula de cálculo para programar los riegos con varios días de anticipación.
3. A continuación, instruya a los participantes sobre cómo acceder a la herramienta de balance hídrico priorizado ingresando al sitio web de Cenicaña: **www.cenicana.org** > **Balance hídrico priorizado > Ingresar al sistema**. También se puede usar la ruta **www.cenicana.org/BH/index.php** para ingresar desde el navegador de internet.
 - Informe sobre los requerimientos del programa en cuanto al registro de usuarios y uso de navegadores (a junio de 2014: Mozilla 6, Google Chrome y Explorer 10).
 - Mencione el procedimiento que deben seguir los usuarios con una base de datos creada en la versión 3.0 anterior y cuál los usuarios nuevos.
4. Instruya sobre los pasos para **CREAR / MODIFICAR** la información básica que requiere el sistema: hacienda, suerte, pluviómetro y fuente de agua.
5. Prepare un ejemplo con la información básica (hacienda, suerte, pluviómetro y fuente de agua). Entregue el ejemplo a cada participante para que él mismo ingrese la información. Muestre que la información se puede extraer de un "prontuario de suertes por finca" o teniendo como base el plano de suelos de un predio y la LARA para cada suelo. Aclare lo pertinente en relación con el valor de la LARA del suelo para la creación de una suerte.



6. Desplácese al menú **REGISTRAR DATOS** y muestre su contenido. Suministre a cada participante un ejemplo con datos de precipitación, riego y ajuste de la lámina de agua del suelo (LAS) para que el propio participante realice los registros de dichos datos.
 - Indique que el ajuste de la LAS solo se hace si se considera necesario para mejorar la precisión del balance hídrico y explique los métodos de ajuste (gravimétrico y volumétrico).
7. Muestre el contenido del menú **INFORMES** y los reportes disponibles.
 - Explique el significado de cada uno de los parámetros que aparecen en los informes "Programación de riegos" y "Cálculo del BH".
 - Permita que los participantes obtengan y descarguen los siguientes reportes: lecturas de evaporación, precipitación y riegos, eventos de una suerte, suertes sin programación, suertes fuera del ciclo de riego, suertes en adecuación y el histórico del balance hídrico.
8. Pídales que se desplacen al menú **COSECHAR** para registrar las fechas de corte o los datos de renovación de las suertes.
9. Informe a los participantes que el tiempo previsto para el taller es de una hora.

Recursos necesarios

- Sala acondicionada con proyector, tablero, marcadores, sillas, mesas y tomas de energía de acuerdo con el número de participantes.
- Un computador por cada participante, con acceso al sitio web de Cenicaña (clave temporal para capacitación).
- Presentación para ilustrar los cálculos del balance hídrico mediante el ejemplo desarrollado en este taller bajo el título de "Instrucciones para los participantes".
- Una hoja con la información básica de entrada para realizar el procedimiento de creación de una hacienda, un pluviómetro, una suerte y una fuente de agua.
- Una hoja con el prontuario de una hacienda y el plano de suelos para que los participantes aprendan a tomar la información necesaria.
- Una hoja con datos de precipitación, riego y ajuste de la LAS para que registren dichos datos en el programa de BH.



Instrucciones para los participantes

1 hora



Manejemos el programa computarizado Balance hídrico priorizado, versión 4.0

Antes de comenzar a manejar el programa computarizado es importante tener una comprensión clara del movimiento de la contabilidad de agua en el suelo y cómo se puede usar este conocimiento para programar los riegos con varios días de anticipación.

¿Cuándo iniciar el balance hídrico?



El balance hídrico se puede iniciar después de una o varias lluvias o de un riego que lleve el suelo a capacidad de campo hasta una profundidad de 40-60 cm. En este caso, la LARA se convierte en el 'capital base' o lámina de agua aprovechable en el suelo (LAS) para iniciar la contabilidad.

También se puede iniciar el balance hídrico en otro momento, siempre y cuando se conozca la LAS inicial, la cual puede hallarse mediante determinaciones del contenido de humedad del suelo, bien sea por el método gravimétrico o utilizando un medidor de humedad volumétrica del suelo.

Cálculo de la LAS inicial con base en el contenido de humedad gravimétrico

$$LAS = LARA - [(CCg - w) * Da * Prof * 10]$$

Donde:

LARA	Lámina de agua rápidamente aprovechable (mm)
CCg	Capacidad de campo gravimétrica del suelo (fracción decimal)
w	Contenido de humedad gravimétrico del suelo (fracción decimal)
Da	Densidad aparente del suelo (g/cm ³)
Prof	Profundidad efectiva de las raíces (cm)

Cálculo de la LAS inicial con base en el contenido de humedad volumétrico

$$LAS = LARA - [(CCv - \emptyset v) * Prof * 10]$$

Donde:

LARA	Lámina de agua rápidamente aprovechable (mm)
CCv	Capacidad de campo volumétrica del suelo (fracción decimal)
$\emptyset v$	Contenido de humedad volumétrico del suelo (fracción decimal)
Prof	Profundidad efectiva de las raíces (cm)



Ejemplo de cálculo del balance hídrico en el suelo

Siga las explicaciones del facilitador acerca del ejemplo.

- Tenga en cuenta los valores de referencia de la LARA y el factor K de estimación de la evapotranspiración según la edad del cultivo.
- La evapotranspiración (ET) es el producto de multiplicar el factor K por la evaporación (Ev).

Como se había mencionado, el BH se puede iniciar después de un riego o varias lluvias que lleven el suelo hasta capacidad de campo.

En este caso, la LARA se convierte en el 'capital base' o lámina de agua aprovechable en el suelo (LAS) para iniciar la contabilidad.

El segundo día se usa la siguiente fórmula para calcular la LAS, y así en adelante:

$$LAS2 = LAS1 + P + R - ET$$

Día 1: $LAS1 = LARA = 57 \text{ mm}$

Evaporación (Ev) = 7 mm

Evapotranspiración (ET) = $0.7 \times 7 = 4.9 \text{ mm}$

Precipitación efectiva (P) = 0 mm

Riego (R) = 0 mm

Día 2: $LAS2 = LAS1 + P + R - ET$

$LAS2 = 57 + 0 + 0 - 4.9 = 52.1 \text{ mm}$

P = 0; R = 0; Ev = 5.9 mm; ET = 4.1 mm

Día 3: $LAS3 = 52.1 + 0 + 0 - 4.1 = 48.0 \text{ mm}$

Día 15: $LAS15 = 5.6 \text{ mm}$

P = 0; R = 0; Ev = 6.0; ET = $0.7 \times 6.0 = 4.2$

Día 16: $LAS16 = 1.4 \text{ mm}$

P = 0; R = 57; ET = 4.1

Día 17: $LAS17 = 1.4 + 0 + 57 - 4.1 = 54.3 \text{ mm}$

Día 27: $LAS27 = 12.9 \text{ mm}$

P = 43 mm; R = 0 mm; ET = 4.0 mm

Día 28: $LAS28 = 12.9 + 43 + 0 - 4.0 = 52.0 \text{ mm}$

(el valor exacto es 51.97 y se aproxima a 52.0)

Día 29: $LAS29 = 52.0 + 20 + 0 - 3.5 = 68.5 \text{ mm}$

Como LARA = 57 mm, se produce un exceso de agua de $68.5 - 57$ ($LAS29 - LARA$) = 11.5 mm

Datos diarios de referencia para el BH							
LARA del suelo = 57 mm Edad del cultivo = 6 meses Factor K = 0.7							
Día	LAS (mm)	P (mm)	R (mm)	Ev (mm)	ET (mm)	Exceso (mm)	Déficit (mm)
1	57.0	0	0	7.0	4.9	0	0
2	52.1	0	0	5.9	4.1	0	0
3	48.0	0	0	5.4	3.8	0	0
4	44.2	0	0	5.0	3.5	0	0
5	40.7	0	0	5.2	3.6	0	0
6	37.1	0	0	5.4	3.8	0	0
7	33.3	0	0	5.0	3.5	0	0
8	29.8	0	0	5.3	3.7	0	0
9	26.1	0	0	4.5	3.2	0	0
10	22.9	0	0	4.8	3.4	0	0
11	19.6	0	0	4.9	3.4	0	0
12	16.1	0	0	5.0	3.5	0	0
13	12.6	0	0	5.0	3.5	0	0
14	9.1	0	0	5.0	3.5	0	0
15	5.6	0	0	6.0	4.2	0	0
16	1.4	0	57	5.9	4.1	0	0
17	54.3	0	0	6.0	4.2	0	0
18	50.1	0	0	6.0	4.2	0	0
19	45.9	0	0	5.9	4.1	0	0
20	41.8	0	0	5.9	4.1	0	0
21	37.6	0	0	5.7	4.0	0	0
22	33.6	0	0	5.7	4.0	0	0
23	29.7	0	0	5.8	4.1	0	0
24	25.6	0	0	6.0	4.2	0	0
25	21.4	0	0	6.1	4.3	0	0
26	17.1	0	0	6.0	4.2	0	0
27	12.9	43	0	5.7	4.0	0	0
28	52.0	20	0	5.0	3.5	0	0
29	57.0	0	0	4.8	3.4	11.5	0
30	53.6	0	0	4.9	3.4	0	0



Para programar los riegos con varios días de anticipación

Con los datos del ejemplo anterior sobre el cálculo del balance hídrico en el suelo, el facilitador explicará el modo de programar los riegos con varios días de anticipación.

Día 10: $LAS_{10} = 22.9 \text{ mm}$

Evaporación promedio de los días anteriores (días 1 a 9) = 5.4 mm/día

$ET = 0.7 * 5.4 \text{ mm/día} = 3.8 \text{ mm/día}$

Días para el siguiente riego: $22.5 / 3.8 = 6 \text{ días}$

Utilicemos el programa computarizado

Advertencia: hay dos alternativas para iniciar el BH usando la nueva versión 4.0 del programa computarizado, de acuerdo con las siguientes situaciones:

- Que se cuente con una base de datos creada en la versión 3.0 del BH, en cuyo caso el usuario debe comunicarse con el administrador del sitio web de Cenicaña (admin_web@cenicana.org), quien le indicará el procedimiento para importarla a la versión 4.0.
- Que no se tenga una base de datos creada en la versión 3.0 del BH. En este caso, al momento de iniciar el balance se debe contar con registros de precipitación y riegos desde la siembra o último corte, a fin de obtener la historia hídrica del cultivo, el cálculo del balance hídrico y la programación de los riegos.

INGRESAR AL SISTEMA

En el navegador web escriba la ruta:

www.cenicana.org/BH/index.php

y luego haga clic en el botón

“Ingresar al sistema”

También puede entrar desde la página principal del sitio web, así:

www.cenicana.org > Balance hídrico priorizado > Ingresar al sistema

Ahora escriba **el nombre y la clave** que le indique el facilitador.

Balance Hídrico priorizado versión 4.0

Ingresar al sistema

¿Qué es el Balance Hídrico?

Es una aplicación automatizada desarrollada por Cenicaña para facilitar el cálculo del balance hídrico en el suelo y realizar la programación de los riegos requeridos por el cultivo de la caña de azúcar. Esta herramienta es útil para ahorrar agua, por lo tanto, nos acerca al manejo sostenible del recurso hídrico. En nuestro medio se ha mostrado como clave para disminuir los costos de riego.

Novedades en la versión 4.0

- No requiere instalación
- Emplea nueva función para estimar K
- Trabaja con la precipitación efectiva
- Captura automática de datos de evaporación
- Genera informes gráficos y en mapas

Consejo para el usuario

Para obtener una visualización óptima del sistema utilice los siguientes navegadores o superiores:

Talleres de capacitación

Aprenda con nosotros a utilizar este sistema, contacte al Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología.

¿Inquietudes?

Usted es usuario del Balance Hídrico v.3.0 y quiere trabajar con su actual base de datos...



CREAR / MODIFICAR

- Reciba las instrucciones del facilitador para **CREAR / MODIFICAR** la información básica que requiere el sistema: hacienda, suerte, pluviómetro y fuente de agua.
- Luego ingrese la información que le entregará el facilitador sobre: hacienda, suerte, pluviómetro y fuente de agua.

Estando en la pantalla de Bienvenida, observe el menú principal y dé clic en **CREAR / MODIFICAR** para ingresar la información.



Entre a **"hacienda"** e ingrese la información de la hacienda. Luego ingrese la información para crear **"pluviómetros"** y **"fuentes de agua"** para riego. Para finalizar complete la creación de las **"suertes"**.

Revise con el facilitador un prontuario de suertes (como el que manejan los ingenios) y el plano de suelos para la creación de dichos componentes en el sistema.

Crear/Modificar: Hacienda

Código:

Nombre:

Zona de administración:

¿Asociar hacienda con Servidor de Mapas?

! Esta hacienda no se encuentra asociada con el servidor de mapas

Crear/Modificar: Pluviómetro

Código:

Nombre pluviómetro:

Área de cobertura (ha):

¿Ubicar el pluviómetro en el servidor de mapas?

Crear/Modificar: Fuente de agua

Nombre:

Tipo:

Fuente de energía:

Caudal promedio (l/s):

Precio del agua (\$/m³):

¿Ubicar la fuente en el servidor de mapas?

Tenga en cuenta:

- En el caso de que un predio sea de proveeduría de caña se puede omitir la zona de administración.
- Si el predio está registrado en el sistema de información de Cenicaña, se puede asociar con el Servidor de mapas para visualizar el mapa.
- El tipo de fuente de agua puede ser: bocatoma, bocatoma + reservorio, bombeo desde cauce, bombeo desde reservorio, pozo profundo o pozo + reservorio.
- La fuente de energía utilizada para obtener el agua: diesel o ACPM, energía eléctrica, gas licuado de petróleo (GLP), gas natural o gasolina.
- El caudal promedio (l/s) es el caudal disponible para riego en la fuente calculado como promedio durante el período seco.
- En cuanto al precio del agua, incluir los costos de operación y los costos de la inversión.



Crear/Modificar: Suerte

Para la hacienda: **CENICAÑA** - Cód. 01

Suerte
008

Estación RMA
Cenicana

Pluviómetro
PLUV CENICAÑA

Fecha de siembra:
2013-07-02

Fecha último corte:
2013-07-02

Estado actual:
Plantilla

Variedad sembrada:
CC 93-4418

Suelo:
Manuelita (MN)

Área de la suerte (ha)

LARA (mm)

Menor que (<) 4 meses
55

Mayor que (>) 4 meses
75

Edad de riego (meses)

Mínima
1.5

Máxima
11

LAS inicial (mm)
45

Fecha de inicio del BH:
2013-12-02

Esta suerte no se encuentra asociada con el servidor de mapas

- En cuanto al valor de la LARA del suelo para la creación de una suerte, el programa automáticamente coloca el valor de referencia que ha sido estimado por Cenicaña, pero si se cuenta con la LARA determinada en laboratorio o en campo mediante el procedimiento explicado en la unidad 1, se recomienda digitar este valor.

- En caso de que una suerte tenga dos o más suelos, si las LARA son parecidas se calcula el promedio y este será el de la suerte; si las LARA son muy diferentes se asigna a la suerte la de menor valor.
- Es posible colocar valores distintos a dos (2) meses para la edad mínima y 10 meses para la edad máxima.



REGISTRAR DATOS

- Reciba las instrucciones del facilitador para **REGISTRAR DATOS** acerca de los siguientes eventos: precipitación, riegos y ajuste de la LAS.
- Luego ingrese la información que le entregará el facilitador sobre cada variable a manera de ejemplo.

Seleccione la pestaña de **REGISTRAR DATOS** e ingrese la información de precipitación, riegos y ajuste de la LAS.



Registro: Individual

Pluviómetro: **PLUV CENICAÑA**

Fecha:

Precipitación (mm):

Registro: Múltiple

Pluviómetro	Fecha	Precipitación (mm)
1 PLUV CENICAÑA ▼	2014-01-23	15
2 PLUV CENICAÑA ▼	2014-01-25	12
3 PLUV CENICAÑA ▼	2014-01-30	5
4 Seleccione ▼	2014-06-30	
5 Seleccione ▼	2014-06-30	

Registrar: Ajuste de la LAS

Hacienda: **CENICAÑA**

Suerte:

Fecha de ajuste de la LAS:

LAS (mm):

EDAD: LAS: LARA:

Registrar: Riego

Hacienda: **CENICAÑA**

Suerte: **008**

Fecha:

Fuente de agua 1:

Fuente de agua 2:

Sistema de riego:

Métodos de riego:

Variantes:

Agua aplicada (mm):

¿La suerte regada llegó a capacidad de campo?

Observaciones:

EDAD: 6.2 meses LAS: -72.0 (mm) LARA: 75.0 (mm)

- Tenga en cuenta que el ajuste de la LAS solo se hace si se considera necesario para mejorar la precisión del cálculo de balance hídrico.
- El registro de la precipitación se puede hacer para un día y un pluviómetro en particular o hacer un registro múltiple.

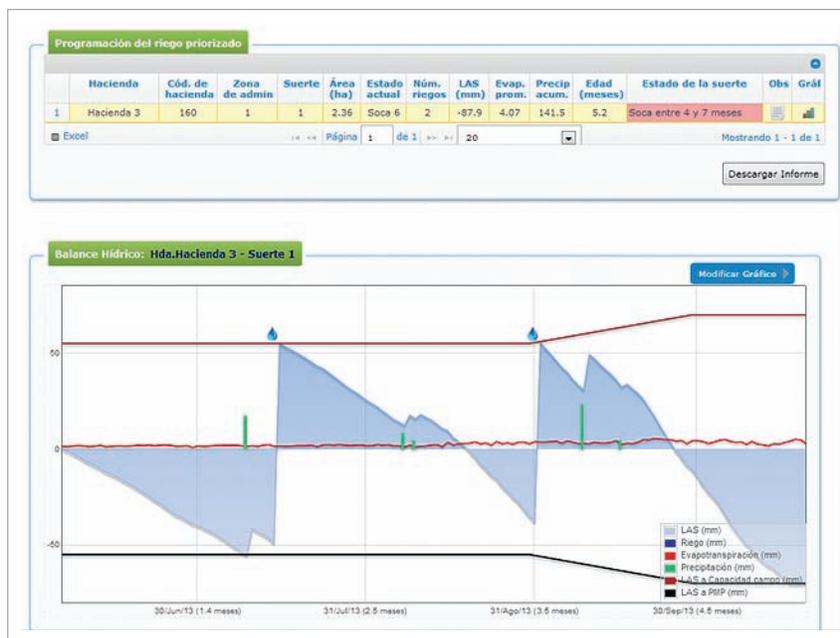


INFORMES

Una vez realizado el ejercicio de registro de datos, dé clic en **INFORMES**.



Seleccione **Programación de los riegos** y **Cálculo del BH**, interprete estos informes y discútalos con otros participantes. Consulte y descargue los demás reportes que ofrece el sistema.



COSECHAR

Para finalizar, en el menú **COSECHAR** registre el **Corte de suertes** (ingresando sólo la fecha de corte) o la **Renovación de suertes**.

Registrar: Corte

Para la hacienda: **CENICAÑA**

Suerte: **008**

Estación RMA: **Cenicana**

Fecha de siembra: **2012-07-02**

Variedad: **CC 93-4418**

Suelo: **Manuelita**

Registrar: Renovación

Para la hacienda: **CENICAÑA**

Suerte:

Fecha de siembra:

Estación RMA:

Pluviómetro:

Estado actual: **Plantilla**

Variedad sembrada:

Suelo:

Área (ha):

LARA (mm)

Menor que (<) 4 meses:

Mayor que (>) 4 meses:

Edad de riego (meses)

Mínima:

Máxima:

LAS inicial (mm):

Fecha de inicio del BH:

Interpretación, verificación y ajuste del balance hídrico

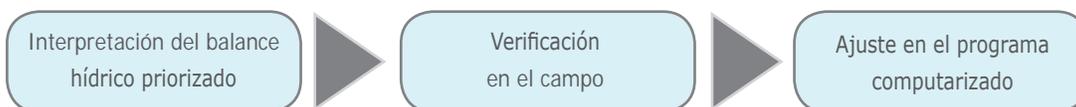
El método del balance hídrico es una tecnología para la programación de los riegos que busca un manejo eficiente y sostenible del agua. La exactitud del balance hídrico depende del grado de precisión de cada uno de los factores que en él intervienen, y por supuesto, del buen juicio y la disciplina de quien pretenda calcularlo, para que haga los ajustes requeridos. La experiencia en el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca nos ha mostrado que los factores que deben ser determinados con mayor cuidado son la LARA del suelo; la precipitación, cuya medición debe hacerse en un pluviómetro representativo de la suerte; y la evapotranspiración, la cual se estima con base en la evaporación y la edad del cultivo. En esta unidad desarrollaremos la capacidad para interpretar, verificar y ajustar el balance hídrico como herramienta de programación de los riegos en caña de azúcar en el valle del río Cauca.

Objetivos

Al finalizar la unidad 3 los participantes estarán en capacidad de:

- Interpretar los reportes que arroja el programa computarizado BH, especialmente en lo que se refiere al cálculo del balance hídrico y la programación de los riegos.
- Verificar los resultados del balance hídrico mediante la observación directa del estado del cultivo y la medición del contenido de humedad del suelo.
- Ajustar, si es necesario, la lámina de agua del suelo en el programa BH, para mejorar la precisión de la programación de los riegos en la caña de azúcar en el valle del río Cauca.

Estructura de aprendizaje



Una vez obtenidos los resultados del cálculo del BH y la programación de los riegos, es necesario saber interpretarlos, principalmente en lo que se refiere a la lámina de agua en el suelo que queda disponible para la planta (LAS). Luego, se deben verificar esos resultados directamente en el campo, observando el estado del cultivo y midiendo el contenido de humedad del suelo, para finalmente determinar la lámina de agua disponible en el suelo y hacer los ajustes al balance hídrico que sean necesarios.

Taller 4

Interpretemos los resultados del balance hídrico



Recurso Digital

www.cenicana.org/pat

Objetivo

En este taller aplicaremos los criterios que permitan interpretar los resultados del BH como herramienta de programación de los riegos.



Orientaciones para el facilitador

1. Explique en qué consiste el taller de interpretación de los reportes de cálculo del balance hídrico y la programación de los riegos.
2. Presente el ejemplo de interpretación del cálculo de balance hídrico que encuentra en las "instrucciones para los participantes".
3. Luego solicite a los participantes que ingresen al programa Balance hídrico priorizado, v.4.0, y obtengan un reporte de programación de los riegos y cálculo de balance hídrico de una hacienda previamente creada con los registros necesarios para ejecutar dicho programa.
4. Invite a algunos de los participantes a que realicen una breve exposición de la interpretación del reporte de cálculo de balance hídrico.



Recursos necesarios

- Archivo con datos de varias haciendas, tanques de evaporación, pluviómetros y suertes en el programa computarizado.
- Presentación con el ejemplo de interpretación del cálculo del BH.
- Una hoja por participante con la información necesaria para ejecutar el programa y obtener el reporte por interpretar.



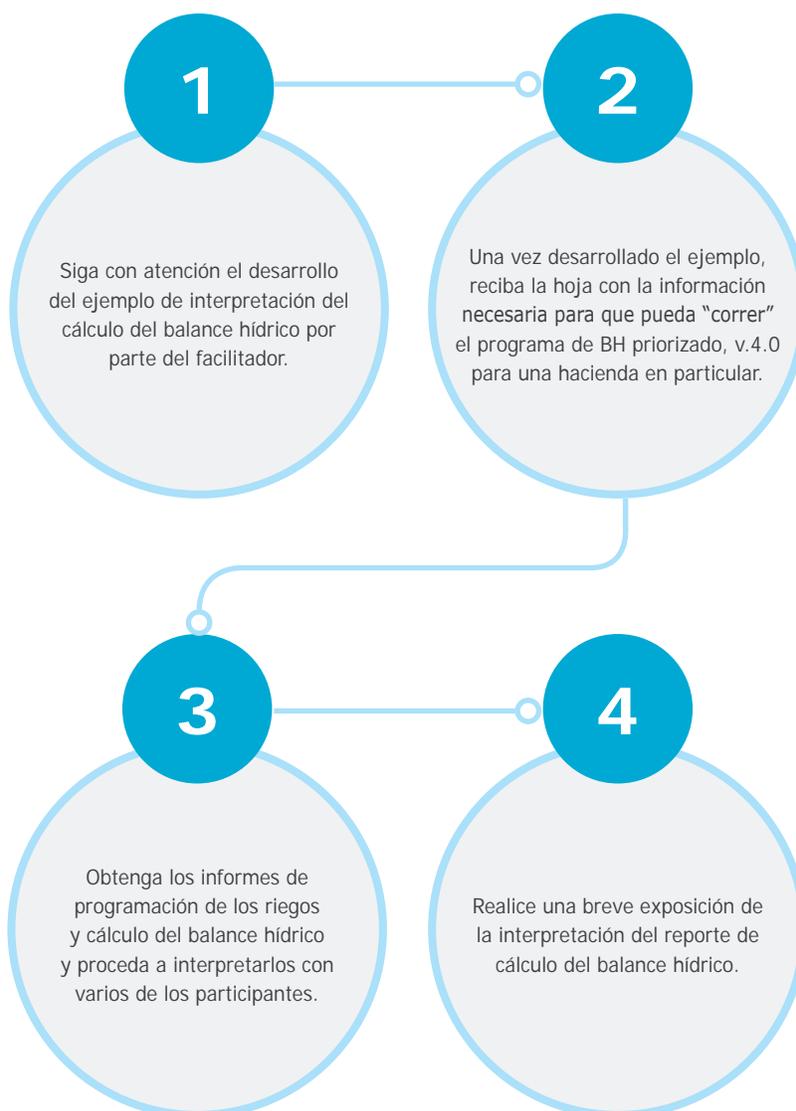
Instrucciones para los participantes

30 minutos



Interpretemos los resultados del balance hídrico

En este taller aplicaremos los criterios que permitan interpretar los resultados del BH como herramienta de programación de los riegos. El facilitador hará una presentación basada en un ejemplo y además le entregará una hoja con la información de la hacienda, pluviómetro, suerte y demás registros necesarios para ejecutar el programa y obtener los resultados del BH que debe interpretar.





Ejemplo de interpretación del cálculo del balance hídrico

En un suelo cuya LARA es de 57 mm para cañas mayores de cuatro meses, se corre el balance hídrico en el mes de agosto, cuando la caña tiene seis meses de edad. Se toma un valor de $K = 0.7$ para estimar la evapotranspiración (ET) a partir de la evaporación (Ev) medida en el tanque clase A.

Recordemos que $ET = K * Ev$.

El día 1 de agosto se tiene una lámina de agua en el suelo (LAS1) de 30.2 mm, proveniente del balance del mes anterior. Se cuenta además con la siguiente información:

Agosto 1: Lámina de agua en el suelo el día 1 = (LAS1) = 30.2 mm

Evaporación medida en tanque clase A = $Ev = 7.0$ mm

Evapotranspiración = $ET = 0.7 \times 7.0$ mm = 4.9 mm

Precipitación efectiva = $P = 0$

Riego = $R = 0$

Agosto 2: $LAS2 = LAS1 + P + R - ET$

$LAS2 = 30.2 + 0 + 0 - 4.9 = 25.3$ mm

Agosto 3: $LAS3 = LAS2 + P + R - ET$

$LAS3 = 25.3 + 0 + 0 - 4.3 = 21.0$ mm

Agosto 4: $LAS4 = 21.0 + 0 + 0 - 3.9 = 17.1$ mm

Agosto 5: $LAS5 = 17.1 + 0 + 0 - 3.9 = 13.2$ mm

De esta manera se prosigue con los cálculos hasta llegar al día 12 de agosto, cuando se ha agotado casi totalmente la lámina de agua del suelo.

Agosto 12: $LAS12 = 1.4$ mm

$Ev = 4.8$ mm; $ET = 0.7 \times 4.8$ mm = 3.4 mm; $P = 0$; $R = 0$

Lo más conveniente sería regar este día, pero si por alguna razón el riego se posterga un día, entonces:

Agosto 13: $LAS13 = 1.4 + 0 + 0 - 3.4 = -2$ mm

El signo negativo de la LAS13 indica que se ha agotado totalmente la reserva de agua rápidamente aprovechable del suelo, lo que no significa que ya no queda agua en el suelo, sino que el valor de humedad está por debajo del nivel establecido para riego y existe un déficit de 2 mm.

En caso que no se pueda regar, el déficit se incrementará hasta un tope cuyo valor es igual a la lámina total de agua aprovechable (LAA) menos la LARA del suelo, y quedará consignado con signo negativo en la columna de LAS (lámina de agua del suelo).

Durante la época seca hay que ser estrictos con la aplicación de los riegos cuando el balance así lo demande, mientras que en la época lluviosa, si se presenta un receso de las lluvias que ocasiona un déficit hídrico, el riego se puede posponer si el déficit es pequeño, teniendo en cuenta la alta probabilidad de que vuelva a llover.



En general, el ciclo de riego va hasta los 10 meses de edad del cultivo, si se cosecha a los 12 o 13 meses de edad, o hasta dos o tres meses antes si se cosecha a una edad mayor de los 13 meses. Sin embargo, el monitoreo del balance hídrico se puede continuar de manera indefinida de tal manera que podamos obtener el registro hídrico completo de la plantación.

Si en el ejemplo que estamos desarrollando, el día 13 de agosto se aplica riego por gravedad, se registra el valor de 57.0 mm que corresponde a la LARA. Este valor no se debe confundir con la lámina bruta de riego aplicada, que corresponde a la cantidad total de agua aplicada. Recordemos que para esto, sencillamente, se toma el 'capital base' (LARA) pues se supone que la humedad del suelo después del riego es la correspondiente a capacidad de campo. Por esta razón el día siguiente, es decir, el 14 de agosto, la LAS14 es igual a 57.0 mm, sin necesidad de calcular su valor a partir de la información del día anterior.

Agosto 14: $LAS14 = 57.0 \text{ mm}$

$Ev = 4.9 \text{ mm}$; $ET = 0.7 \times 4.9 \text{ mm} = 3.4 \text{ mm}$; $P = 10.4 \text{ mm}$; $R = 0$

El riego se registra el día en que se inicia, aunque en realidad la aplicación a toda una suerte puede prolongarse durante varios días; por ello se recomienda empezar cada riego por el mismo punto. Si esta labor se interrumpe temporalmente, se debe completar la aplicación a toda la suerte a la mayor brevedad posible. Si se interrumpe definitivamente por lluvia, se sugiere registrar el área que se alcanzó a regar de la suerte.

Agosto 15: $LAS15 = 57.0 + 8.3 + 0 - 3.4 = 61.9 \text{ mm}$

El valor de 8.3 mm corresponde a la precipitación efectiva. Para este día es necesario recordar nuevamente que la máxima capacidad de retención de humedad del suelo es $LARA = 57.0 \text{ mm}$; por consiguiente, se presenta un exceso de 4.9 mm que se anota el día 14, y la lámina de agua en el suelo para el día 15 es nuevamente 57 mm.

No necesariamente hay que esperar que la LAS sea cero o se aproxime a cero para tomar la decisión de regar. Por ejemplo, en sitios donde el agua es escasa o su disponibilidad va disminuyendo en la medida que se prolonga el período seco, se recomienda iniciar el riego con suficientes días de anticipación para evitar déficit de agua en el cultivo.

El riego puede programarse con varios días de anticipación en el supuesto de que no se presenten lluvias y trabajando la evaporación promedio de algunos registros previos, por ejemplo:

Agosto 31: $LAS31 = 22.5 \text{ mm}$

Considerando la evaporación promedio de los 15 días anteriores ($Ev = 4.7 \text{ mm/día}$, $ET = 0.7 \times 4.7 \text{ mm/día} = 3.3 \text{ mm/día}$, el número de días para el siguiente riego, a partir del 31 de agosto, será $22.5 \text{ mm} / 3.3 \text{ mm/día} = 7 \text{ días}$, es decir, la fecha de riego será el 7 de septiembre. Precisamente esta ventaja permite la programación de los riegos con varios días de anticipación.



El balance hídrico es un método de precisión aceptable, aunque es necesario tener en cuenta que los registros de evapotranspiración son estimativos de la evapotranspiración real del cultivo y se pueden presentar diferencias entre el valor real y el teórico, lo que provocaría un desajuste de la contabilidad de la lámina de agua en el suelo, pero esto se corrige por sí mismo cada vez que el suelo llega a capacidad de campo por efecto del riego o la precipitación.

Para períodos largos sin riego es conveniente realizar ajustes de la LAS en el balance hídrico con base en muestreos gravimétricos de la humedad del suelo o utilizando instrumentos para su determinación, como el basado en la reflectometría de dominio del tiempo (TDR) o el de dominio de frecuencia (FDM).

Cuando el suelo se satura, por acción de las lluvias o por un riego excesivo, tarda dos o tres días en llegar a capacidad de campo. El balance hídrico no da espera para empezar a descontar las pérdidas de agua por Et, ocasionándose también un desajuste que puede ser ventajoso en situaciones en que el balance determine la necesidad de aplicar riego y no pueda realizarse por algún inconveniente siendo necesario aplazarlo uno o varios días. En este caso, es posible que se tenga alguna reserva de agua en el suelo por encima del nivel de humedad debido a este hecho, lo cual garantiza que el cultivo no quede bajo condiciones de déficit agudo de agua.

Cuando hay suertes con déficit hídrico alto (ej., LAS = -20 mm) y ocurre una o varias precipitaciones que pueden sumar un valor significativo (> 30 mm), el cálculo del BH arroja un valor muy bajo o incluso negativo de la lámina de agua del suelo (LAS) (ej., -5 mm). Sin embargo, al determinar la humedad del suelo en el campo se observa que podría suministrar agua al cultivo al menos durante una semana. En estos casos se puede ajustar la LAS del BH asignándole un valor que corresponda a la evapotranspiración de la caña en esa semana (ej., 20 mm).

En algunos casos, cuando se realiza un riego con varios días de retraso, y se ingresa la lámina neta aplicada en el campo correspondiente, el balance hídrico resta de esta lámina de riego la lámina en déficit, en cuyo caso la programación del siguiente riego se puede acortar. De otra parte, si el riego aplica la cantidad de agua requerida para llevar el suelo hasta capacidad de campo en toda la profundidad radical efectiva, el sistema automáticamente convierte el valor de la LAS en el valor de la LARA del suelo.

El programa de balance hídrico a escala comercial evita el riesgo de aplicar un número excesivo de riegos o de someter el cultivo a períodos de déficit de humedad que pueden afectar la producción.

Taller 5

Verifiquemos y ajustemos el balance hídrico



Recurso Digital
www.cenicana.org/pat

Objetivos

- Familiarizarnos con los criterios de verificación del balance hídrico con base en el estado del cultivo y la humedad del suelo.
- Aplicar el procedimiento para determinar la lámina de agua del suelo disponible para las plantas y ajustar el balance hídrico a las condiciones reales del cultivo.



Teniendo en cuenta que el método de balance hídrico es un modelo matemático que simula la contabilidad del agua en el suelo, cuya precisión depende de factores hidrofísicos del suelo que presentan un alto grado de variabilidad, de parámetros del clima como la precipitación, la cual es muy variable en nuestras latitudes y de la evapotranspiración del cultivo que varía con la edad, estado de desarrollo, variedad y condiciones de suelo, es imperativo llevar a cabo trabajos de verificación y ajuste del BH, con el fin de evitar que el cultivo sufra estrés por déficit o exceso de agua que afectan la producción.

Para verificar la lámina de agua del suelo (LAS) del balance hídrico se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Contenido de humedad del suelo
- Estado del cultivo

A continuación se dan unas orientaciones específicas para desarrollar el taller sobre verificación y ajuste del balance hídrico como herramienta para la programación de los riegos en el cultivo de la caña de azúcar.

Orientaciones para el facilitador

1. En relación con el contenido de humedad del suelo, como una primera aproximación se sugiere que el facilitador presente las pautas prácticas para estimar al tacto el porcentaje de humedad aprovechable del suelo, las cuales se presentan en el **apéndice técnico 2**.
2. Para obtener una mayor precisión en la determinación del contenido de humedad del suelo, el facilitador puede explicar el procedimiento para medir el contenido de humedad del suelo utilizando el método gravimétrico, a través de una presentación con fotos ilustrativas de la forma de tomar una muestra de suelo a la profundidad de interés, la cual luego se seca en un horno a 105 °C durante 24 horas. El porcentaje de humedad de la muestra se calcula como la relación entre el peso de agua perdida por la muestra y el peso de la muestra seca multiplicada por 100, o sea:

$$CH = \frac{Pw}{Pss} * 100$$

Donde:

CH Contenido de humedad de la muestra (%)

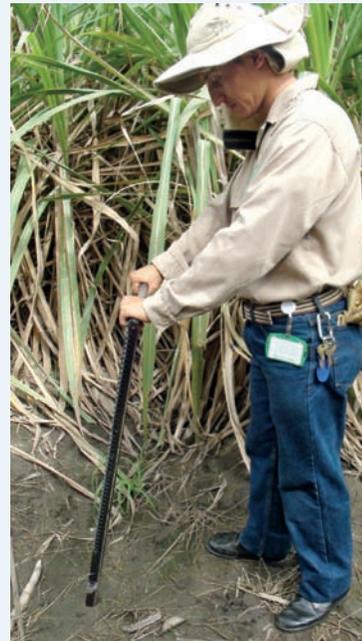
Pw Peso del agua perdida por la muestra (g)

Pss Peso de la muestra seca (g)

3. Entregue a cada participante una hoja con los datos necesarios para que calcule el contenido de humedad gravimétrico.
4. Muestre los equipos disponibles con sus respectivos manuales de uso, para determinar el contenido de humedad del suelo y realice una demostración del uso de algunos de estos instrumentos. Enfatice en la necesidad de evaluar estos equipos antes de comprarlos, de acuerdo con las condiciones socioeconómicas de cada unidad productiva.



El método gravimétrico es, sin duda, el más exacto para determinar el contenido de humedad del suelo, pero poco práctico, especialmente cuando se trata de un número alto de campos o suertes, en cuyo caso se recomienda emplear instrumentos de lectura rápida, robustos y de fácil transporte en el campo como los medidores basados en las técnicas de reflectometría de dominio del tiempo (TDR) o dominio de frecuencia (FDM). Aquí se muestra el equipo de TDR.



5. Ilustre con fotografías los síntomas visuales de estrés hídrico en el cultivo de la caña de azúcar, tales como la presencia de hojas secas en las partes baja y media, la coloración verde pálida o amarillenta de las hojas localizadas en las partes alta y media de la planta, la forma acibollada (con las puntas hacia arriba) que presentan las hojas en la parte alta, y el sonido como de papel seco que producen las hojas al apretarlas y frotarlas con la mano. Subraye que estos síntomas se deben examinar mediante una visita de inspección a las suertes más próximas para riego, según el balance hídrico, en lo posible en las horas de la mañana.
6. Explique mediante un ejemplo el procedimiento para determinar la lámina de agua aprovechable del suelo (LAS) en cualquier momento, a partir del contenido de humedad del suelo medido gravimétricamente (w , %) utilizando la siguiente fórmula:

$$LAS = LARA - [(CCg - w) * Da * Prof * 10]$$

Donde:

LARA Lámina de agua rápidamente aprovechable (mm)

CCg Capacidad de campo gravimétrica del suelo (fracción decimal)

w Contenido de humedad gravimétrico del suelo (fracción decimal)

Da Densidad aparente del suelo (g/cm^3)

Prof Profundidad efectiva de las raíces (cm)

7. Suministre los datos de capacidad de campo gravimétrica, densidad aparente del suelo y profundidad efectiva de las raíces, y dé la instrucción para que cada participante en su computador, y aprovechando el resultado que obtuvo cuando calculó el contenido de humedad gravimétrico, realice el cálculo de la lámina de agua aprovechable del suelo.



8. Explique mediante un ejemplo que los medidores que utilizan la técnica de TDR suministran el valor de la humedad volumétrica del suelo, con el cual se determina la lámina de agua aprovechable del suelo aplicando la siguiente fórmula:

$$LAS = LARA - [(CCv - \emptyset v) * Prof * 10]$$

Donde:

LARA Lámina de agua rápidamente aprovechable (mm)

CCv Capacidad de campo volumétrica del suelo (fracción decimal)

$\emptyset v$ Contenido de humedad volumétrico del suelo (fracción decimal)

Prof Profundidad efectiva de las raíces (cm)

9. Finalmente, concluya su orientación recomendando que una vez determinada la lámina de agua aprovechable del suelo mediante la medición del contenido de humedad del suelo en un momento dado, debe compararse con la LAS mostrada por el programa computarizado de balance hídrico, y si se presenta diferencia se hace el ajuste de la LAS en el sistema.

Recursos necesarios

- Para demostración al grupo de participantes, se sugiere tener varios empaques de polietileno con suelos de textura fina (arcilloso o franco arcilloso) y media (suelo franco) a capacidad de campo, a 75% de la capacidad de campo, a 50% de la capacidad de campo, a 25% de la capacidad de campo y a punto de marchitez.
- Presentación para explicar, mediante un ejemplo, el procedimiento para determinar la lámina de agua aprovechable del suelo en cualquier momento, a partir del contenido de humedad medido gravimétricamente (w , %), utilizando para ello la fórmula ya vista. Debe contener fotografías ilustrativas del procedimiento, los equipos utilizados para medir el contenido de humedad del suelo y los síntomas visuales de estrés hídrico en el cultivo de la caña de azúcar.
- Equipos para medir el contenido de humedad del suelo: TDR, FDM, tensiómetros, etcétera. Se debe contar con un espacio cercano al salón una demostración del uso de algunos de los equipos.
- Para cada participante, una copia de las pautas para estimar al tacto el porcentaje de humedad aprovechable del suelo (**apéndice técnico 2**).
- Una hoja con los datos necesarios para que cada participante calcule en su computador el contenido de humedad gravimétrico (paso 2 de las instrucciones para los participantes).
- Una hoja con los datos de capacidad de campo gravimétrica, densidad aparente del suelo y profundidad efectiva de las raíces, para que cada participante calcule la lámina de agua aprovechable del suelo con base en el contenido de humedad gravimétrico y volumétrico en un momento dado (pasos 4 y 5).
- El tiempo previsto para realizar este taller es de 30 minutos.



Instrucciones para los participantes

30 minutos



Verifiquemos y ajustemos el balance hídrico

En este taller revisaremos los criterios de verificación del balance hídrico con base en el estado del cultivo y la humedad del suelo, y aplicaremos el procedimiento para determinar la lámina de agua del suelo disponible para las plantas y ajustar el balance hídrico a las condiciones reales del cultivo. El facilitador dará indicaciones para estimar al tacto el porcentaje de humedad aprovechable del suelo usando como referencia las pautas del **apéndice técnico 2**. Además entregará la información necesaria para realizar las actividades de los pasos 2, 4 y 5.



Apéndice

80 Apéndice didáctico



Apéndice didáctico 1

Recursos didácticos: colección de materiales para la transferencia de tecnología en la agroindustria de la caña de azúcar

www.cenicana.org/pat



La colección de materiales para la transferencia de tecnología en la agroindustria de la caña de azúcar es una herramienta de apoyo metodológico para los facilitadores de la capacitación en el programa de aprendizaje y asistencia técnica, PAT.

Los facilitadores encuentran los materiales agrupados en las dos series temáticas de la colección: sistema de producción agrícola y sistema de producción industrial. Cada serie contiene las guías metodológicas disponibles para llevar a cabo la planificación de las capacitaciones previstas en el PAT, así como las actividades pedagógicas.

Las ayudas didácticas en cada tema del PAT se hallan ordenadas de un modo práctico, de fácil acceso, con lo cual se espera motivar a los facilitadores a usar los recursos digitales dispuestos en el sitio web de Cenicaña y, principalmente, a complementarlos con sus aportes y con nuevos materiales. Documentos, presentaciones con diapositivas, videos, fotografías, ilustraciones, infografías y materiales de trabajo para la celebración de prácticas y ejercicios hacen parte de esta colección. Bienvenido. El reto de la gestión del conocimiento es ahora.

Para solicitar la contraseña personal de acceso al sitio web ingrese a www.cenicana.org/hoja_registro_pag.php

Una vez registrado en la base de datos puede consultar, copiar, reproducir e imprimir las ayudas didácticas



Recurso Digital

www.cenicana.org/pat

Apéndice didáctico 2

Autoevaluación final



Recurso digital

www.cenicana.org/pat

Objetivo

La autoevaluación final tiene por objetivo facilitar que los participantes en la capacitación identifiquen por sí mismos qué tanto han asimilado la materia de aprendizaje y cuál es su nivel de apropiación de los conocimientos impartidos. Las respuestas son una referencia personal de autoevaluación, por lo tanto no tienen carácter calificativo.

Orientaciones para el facilitador

- Entregue a los participantes el cuestionario de autoevaluación final de conocimientos y coménteles acerca de su propósito, destacando que no tiene carácter calificativo.
- Infórmeles que el tiempo para responderlo son 30 minutos y que una vez todos los participantes hayan completado el cuestionario se abrirá una charla participativa de retroinformación.

Apreciado participante:

Al finalizar su capacitación sobre Balance hídrico priorizado para la programación de los riegos, lo invitamos a responder el siguiente cuestionario de autoevaluación, el cual le servirá para que confronte qué tanto ha asimilado la materia de aprendizaje y para que usted mismo evalúe su nivel de apropiación de los conocimientos compartidos.

Una vez que todos los participantes hayan terminado de responder el cuestionario, el facilitador moderará una sesión de autocorrección donde se presentarán las respuestas correctas y el porqué de ellas.

Recuerde: esta actividad no busca calificar lo que usted sabe, sino que usted mismo evalúe su nivel de apropiación de los conocimientos impartidos. El cuestionario le ayudará a reconocer sus propias fortalezas y a identificar aquellos aspectos de la capacitación que usted debe repasar para ganar aún más confianza al momento de aplicar lo aprendido.

Valga la ocasión para agradecerle su participación en esta capacitación y para reiterarle nuestro compromiso de acompañarlo con asesoría técnica durante el proceso de adopción de esta tecnología en su unidad productiva.

Nombre del facilitador: _____

Empresa: _____

Datos de contacto: _____

Autoevaluación final



Balance hídrico priorizado para la programación de los riegos

Instrucciones: las preguntas son del tipo de respuesta única. Marque con 'X' la opción que considere correcta en cada caso. Al finalizar registre los datos en la hoja de respuestas y espere las indicaciones del facilitador para continuar. Cuenta con 30 minutos.

1. **De las siguientes expresiones, seleccione la que expresa en términos sencillos, el balance hídrico en el suelo:**
 - a. Cambio en la humedad del suelo = precipitación + riego – evapotranspiración + percolación – escorrentía.
 - b. Cambio en la humedad del suelo = precipitación + riego – evaporación.
 - c. Cambio en la humedad del suelo = precipitación + riego – evapotranspiración.
 - d. Cambio en la humedad del suelo = precipitación + riego – evapotranspiración – percolación + escorrentía.

2. **Para determinar contenido de humedad del suelo, se extrajo una muestra de suelo a 30 cm de profundidad, se puso en una caja de aluminio y se pesó; el valor registrado fue de 131 g. Luego se llevó al horno a 105°C durante 24h y se pesó de nuevo dando un valor de 120 g. El peso de la caja de aluminio fue de 23 g.**

De las siguientes alternativas, seleccione el valor correcto del contenido de humedad del suelo:

 - a. 31.7%
 - b. 11.5%
 - c. 10.4%
 - d. 11.3%

3. Para un factor de agotamiento (Fag) del 50% y los datos de CC, PMP y Da indicados, seleccione los valores de LARA correctos para las profundidades de 60 cm y 80 cm:

- a. 45 mm y 70 mm
- b. 40 mm y 60 mm
- c. 49 mm y 69 mm
- d. 45 mm y 60 mm

Horizonte (cm)	Capacidad de campo, CC (% grav)	Punto de marchitez, PMP (% grav)	Densidad aparente, Da (g/cm ³)
0 - 35	30	15	1.1
35 - 72	29	17	1.1
72 - 110	28	16	1.3

4. En el BH que se muestra más abajo, seleccione los valores correctos de la LAS (mm) para los días 3, 4 y 5, de las siguientes alternativas:

- a. LAS3 = 26.7, LAS4 = 64.9 y LAS5 = 61.4
- b. LAS3 = 24.9, LAS4 = 61.5 y LAS5 = 56.5
- c. LAS3 = 26.7, LAS4 = 50.0 y LAS5 = 46.5
- d. LAS3 = 27.7, LAS4 = 51.0 y LAS5 = 47.5

Cálculo del balance hídrico en el suelo					
LARA = 50 mm; edad de la caña = 6 meses					
Día	Lámina de agua en el suelo, LAS (mm)	Evaporación, Ev (mm)	Evapotranspiración, ET (mm)	Precipitación, P (mm)	Riego, R (mm)
2	30.8	5.9	4.1	0	0
3		5.4	3.8	42	0
4		5.0	3.5	0	0
5		5.2	3.6	0	0



Hoja de respuestas

Pregunta	Mi respuesta	Respuesta correcta
1		
2		
3		
4		



Orientaciones para la información de retorno

Una vez cumplido el tiempo previsto para la autoevaluación final de conocimientos, el facilitador verificará que todos los participantes hayan respondido todo el cuestionario y moderará una sesión de retroinformación general acerca del proceso de aprendizaje. Para ello se sugiere la siguiente dinámica:

- Formule la primera pregunta y motive a los participantes para que compartan sus respuestas.
- Modere la discusión con orden y fomente el diálogo con respeto.
- Continúe con el resto de las preguntas y facilite las respuestas correctas para que los participantes puedan compararlas con las propias.
- Oriente a los participantes para que identifiquen los beneficios del balance hídrico priorizado para la programación de los riegos en el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca.

Respuestas correctas

Pregunta 1:

- c. Cambio en la humedad del suelo = precipitación + riego - evapotranspiración.

Pregunta 2:

- d. El valor correcto del contenido de humedad del suelo es 11.3%

Pregunta 3:

- d. Los valores correctos de LARA son: 45 mm para la profundidad de 60 cm y 60 mm para la profundidad de 80 cm

Pregunta 4:

- c. Los valores correctos de la LAS (mm) para los días 3, 4 y 5 son: 26.7, 50.0 y 46.5



Apéndice didáctico 3

Evaluación de la capacitación

Amigo facilitador:

El instrumento para la evaluación de la capacitación ha sido diseñado para que los participantes expresen sus opiniones acerca de las actividades realizadas y los materiales que recibieron en el proceso de aprendizaje.

- Entréguele a cada participante una copia del formulario de evaluación; asegúrese de incluir las hojas necesarias para la evaluación del desempeño de cada uno de los facilitadores que colaboraron con usted en la capacitación, si hay lugar a ello.
- Explíquelo al grupo el propósito de la evaluación. Dígales que no es necesario firmar el formulario. Infórmeles que tienen un tiempo máximo de 30 minutos para consignar sus respuestas. Disponga una mesa para recibir los formularios y déjelos en ella hasta el final de la jornada. No lea los formularios en el salón durante la evaluación.
- Permita el diálogo con los participantes únicamente cuando todos los asistentes hayan entregado la evaluación. En esta actividad no está prevista una sesión de retroinformación con los participantes. Sin embargo, por tratarse de la última actividad con el grupo, es propicio celebrar algún tipo de clausura de esta primera etapa de apropiación del balance hídrico priorizado, que continuará con la adopción de esta metodología de programación de los riegos en las unidades productivas de caña de azúcar y en planes concertados de asistencia técnica.
- Analice las evaluaciones y ordene la información resultante de modo que pueda resumir las recomendaciones y definir metas de mejora en las próximas actividades de capacitación. Comparta los resultados con los facilitadores que han colaborado con usted en el proceso pedagógico y comuníquelo al servicio de cooperación técnica y transferencia de tecnología de Cenicaña las recomendaciones que considere pertinentes al programa de aprendizaje y asistencia técnica, PAT.

Evaluación de la capacitación



Balance hídrico priorizado para la programación de los riegos



Apreciado participante:

Al finalizar la capacitación acerca del balance hídrico para la programación de los riegos, deseamos conocer sus opiniones sobre diversos aspectos del proceso pedagógico con el fin de mejorar las actividades de aprendizaje en el futuro.

Para ello le pedimos que evalúe, en forma anónima, los aspectos siguientes: logro de objetivos y satisfacción de expectativas; desempeño de los facilitadores; y calidad de los materiales de capacitación.

Usted no necesita firmar esta evaluación; lo importante es que sus respuestas sean sinceras, pues de ellas depende en gran parte el mejoramiento de la capacitación.

Instrucciones: el siguiente formulario de evaluación está dividido en tres secciones, en las cuales esperamos su opinión mediante la respuesta a una serie de preguntas acerca de la capacitación. Tenga en cuenta los aspectos positivos y negativos. Su opinión es muy importante para mejorar la calidad de la capacitación.

Para responder las preguntas de cada sección, por favor marque "X" en la casilla que mejor exprese su opinión personal, de acuerdo con la siguiente escala de evaluación:



Escala de evaluación				
0	1	2	3	NA
Malo, inadecuado, muy deficiente, nada, muy poco.	Regular, deficiente.	Bien, aceptable.	Muy bien, altamente satisfactorio.	No aplica en esta capacitación

Logro de objetivos y satisfacción de expectativas

En qué medida cree que la capacitación le sirvió para lograr los objetivos siguientes:	0	1	2	3	NA
<ul style="list-style-type: none"> Determinar los parámetros requeridos en el balance hídrico para la programación de los riegos. 					
<ul style="list-style-type: none"> Manejar la herramienta computarizada de Balance hídrico priorizado (v.4.0) desarrollada por Cenicaña para la programación técnica de los riegos en caña de azúcar. 					
<ul style="list-style-type: none"> Interpretar, verificar y ajustar el balance hídrico como herramienta para la programación de los riegos. 					
En qué medida cree que la capacitación le sirvió para llenar los vacíos de conocimiento que usted tenía antes del evento:					
<ul style="list-style-type: none"> Los temas técnicos tratados en la capacitación llenaron mis necesidades actuales de conocimiento 					
Cuál es su opinión acerca de las estrategias pedagógicas empleadas en la capacitación:					
<ul style="list-style-type: none"> Exposiciones hechas por los facilitadores 					
<ul style="list-style-type: none"> Trabajos en grupo 					
<ul style="list-style-type: none"> Materiales didácticos que usted recibió durante la capacitación 					
<ul style="list-style-type: none"> Ejercicios y prácticas de campo (cultivo/laboratorio/taller/fábrica) en los que participó. 					
<ul style="list-style-type: none"> Recursos de personal, herramientas, equipos e insumos que estuvieron disponibles en los ejercicios y las prácticas de campo. 					
<ul style="list-style-type: none"> Tiempo dedicado a las distintas actividades de aprendizaje. Exprese su opinión en general, si el tiempo dedicado fue suficiente para lograr los objetivos de aprendizaje propuestos al inicio de la capacitación. 					

Desempeño de los facilitadores



Cómo considera usted que fue el desempeño del facilitador en los aspectos siguientes:	0	1	2	3	NA
• Organización y claridad					
• Presentó y explicó los objetivos de la capacitación					
• Explicó el procedimiento para realizar las actividades (ejercicios, prácticas)					
• Tuvo listos los materiales, herramientas, ayudas y equipos					
• Respetó el tiempo previsto					
• Entregó el material de capacitación y explicó cómo usarlo					
Manejo del contenido					
• Respondió las preguntas de los participantes con propiedad					
• Relacionó los temas teóricos con su aplicación práctica					
• Proporcionó ejemplos para ilustrar los temas expuestos					
Habilidades de interacción					
• Estableció comunicación verbal y no verbal, en forma permanente, con los participantes					
• Mantuvo la motivación de los participantes durante la capacitación					
• Formuló preguntas a los participantes					
• Invitó a los participantes para que formularan preguntas					
• Proporcionó información de retorno inmediata a los participantes durante exposiciones, ejercicios y prácticas.					
Dirección de los ejercicios y las prácticas de campo					
• Aclaró los objetivos de los ejercicios y prácticas					
• Seleccionó y acondicionó el sitio adecuado para las prácticas					
• Organizó a los participantes de manera que todos pudieran participar					
• Explicó y demostró la manera de realizar las prácticas					
• Tuvo a su disposición los materiales demostrativos y/o los equipos necesarios para realizar las prácticas					

Calidad de los materiales de capacitación

Cuál es su opinión acerca de los materiales de capacitación que recibió en las distintas etapas del proceso de aprendizaje:	0	1	2	3	NA
Contenido técnico					
• El contenido está dividido en segmentos que siguen una secuencia ordenada y clara					
• El contenido se presenta de manera objetiva: respeta principios y métodos comúnmente aceptados en la práctica					
• El contenido es fácil de leer y comprender					
Contenido didáctico					
• Los objetivos de las actividades de aprendizaje están claramente establecidos					
• Las estructuras de aprendizaje ayudan a que el participante entienda cada componente presentado					
• Las preguntas al iniciar cada unidad orientan a los participantes acerca del tema por desarrollar					
• Los ejercicios y prácticas realmente ayudan a desarrollar las capacidades necesarias para usar la tecnología presentada					
Diseño visual y presentación					
• El tamaño y tipo de las letras hace el texto fácil de leer					
• Las figuras y cuadros son fáciles de entender					
• Las ilustraciones facilitan la comprensión del texto escrito					
Recursos digitales asociados					
• La versión digital de los materiales de capacitación se encuentra disponible					
• Es fácil ubicar el material requerido por los participantes para la celebración de ejercicios y prácticas					
• Los materiales se pueden consultar y descargar rápidamente					

**Gracias por participar en esta evaluación.
Sus opiniones nos ayudan a mejorar la capacitación.**

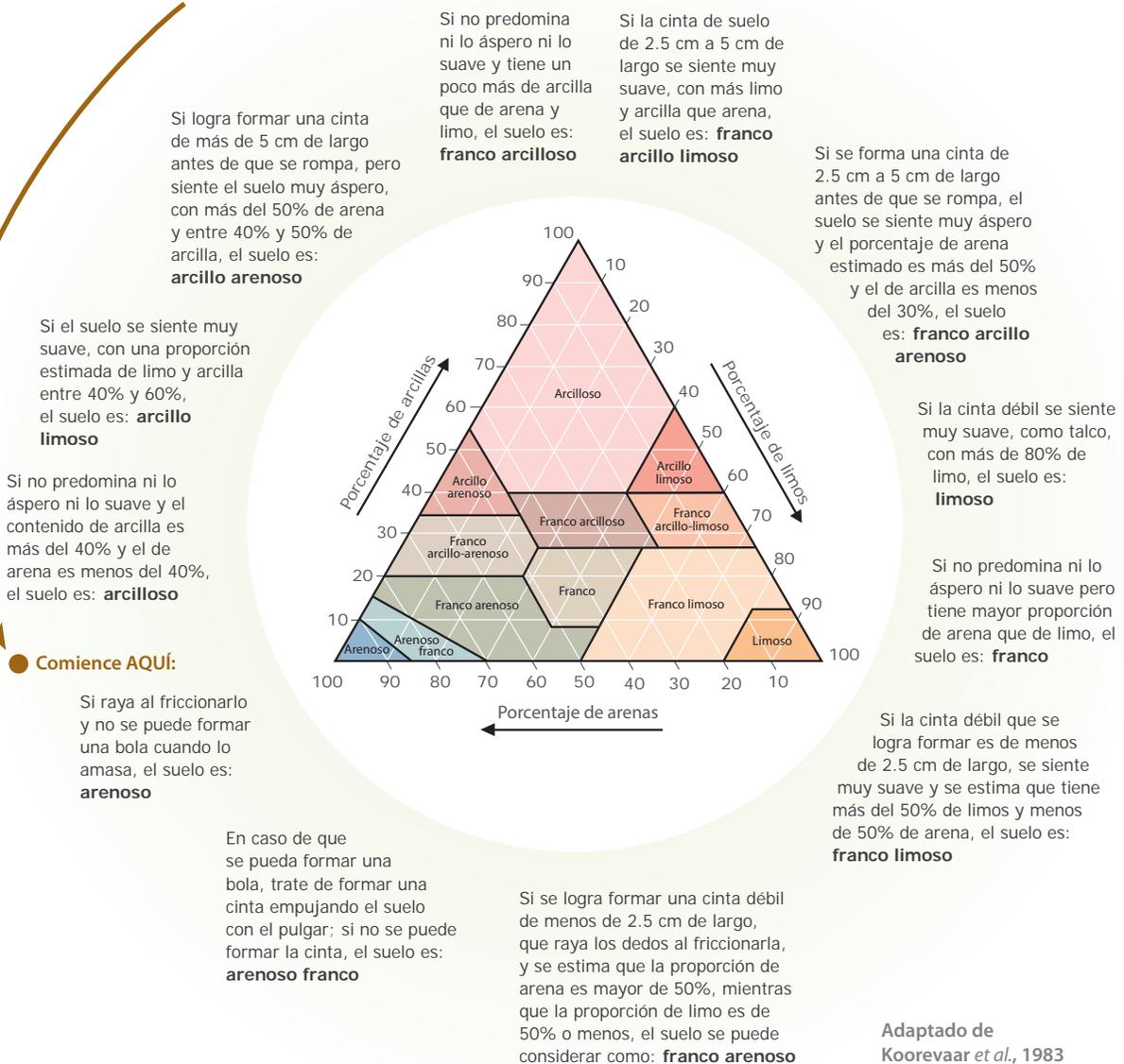
92 Apéndice técnico



Apéndice técnico 1

Determinación de la textura del suelo al tacto

La textura del suelo se define como la proporción de los separados del suelo (arenas, limos y arcillas). Se puede identificar al tacto tomando una muestra de unos 25 gramos —que se humedece si está seca— a fin de romper los agregados. Luego se amasa entre los dedos pulgar e índice, y con la ayuda del triángulo de texturas se observa si el suelo presenta alguna de las siguientes alternativas:



Apéndice técnico 2

Pautas para estimar al tacto el porcentaje de humedad aprovechable del suelo

Suelo de textura fina (arcilloso o franco arcilloso)	Suelo de textura media (suelo franco)
<p>Cuando está a capacidad de campo aparece muy oscuro; al apretarlo deja húmeda la palma de la mano y se puede formar con él una cinta de aproximadamente 5 cm de longitud.</p>	<p>Cuando está a capacidad de campo aparece muy oscuro, al comprimirlo deja húmeda la mano y se puede formar con él una cinta de aproximadamente 2.5 cm de longitud.</p>
<p>A 75% de la capacidad de campo el color todavía es bastante oscuro, brilla y se puede formar con él fácilmente una cinta o una bola moldeable.</p>	<p>A un 75% de la capacidad de campo el suelo se presenta de color oscuro, se puede formar con él una bola de poca consistencia que se desmorona fácilmente y brilla cuando se frota.</p>
<p>A 50% de la capacidad de campo el suelo es oscuro y se puede formar con él una bola un tanto maleable y también una cinta de cierto espesor que puede brillar cuando se frota.</p>	<p>A un 50% de la capacidad de campo el suelo es de color claro, y si se trata de formar con él una bola se desmorona fácilmente en pequeños terrones.</p>
<p>A un 25% de la capacidad de campo, el suelo se presenta en pequeños terrones que pueden ser aplanados sin desmoronarse y se puede formar una bola que se desmorona fácilmente, pero se mantiene compacta con la presión.</p>	<p>A un 25% de la capacidad de campo el suelo se ve seco, de color más claro y no se puede formar con él una bola.</p>
<p>A punto de marchitez el suelo se presenta de color claro, en terrones duros y cuarteados.</p>	<p>A punto de marchitez permanente el suelo es de color muy claro y se presenta en pequeños y duros terrones.</p>



Referencias bibliográficas

- Alarcón M., S.L. y Cruz V., J.R. 2012. Precipitación efectiva en el cultivo de la caña de azúcar para programar riegos mediante balance hídrico. Vol. 1 p. 557-567. En: Congreso de la Asociación Azucareros de Latinoamérica y el Caribe, 8, y Congreso de la Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar, 9. Memorias. Cali, Colombia. Septiembre 12-14, 2012. Tecnicaña, Cali, Colombia. [Disponible en www.cenicana.org/biblioteca/catalogo_enlinea.php]
- Cruz V., J.R.; Torres A., J.S.; Besosa T., R.; Gómez, J.; Pantoja, J.E. 2009. Función de K para mejorar la precisión en la programación de los riegos. p. 289-297. En: Congreso de la Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar, 8. Memorias. Cali, Colombia. Septiembre 16-18, 2009. Tecnicaña, Cali, Colombia. [Disponible en www.cenicana.org/biblioteca/catalogo_enlinea.php]
- Cruz V., J.R.; Torres A., J.S.; Villegas, F. 2003. Iniciación e interpretación del balance hídrico. Cenicaña, Cali, Colombia. (Documento interno Programa de Agronomía).
- Koorevaar, P.; Menelik, G. y Dirksen, C. 1983. Elements of Soil Physics. Developments in Soil Science 13. Department of Soil Science and Plant Nutrition. Agricultural University of Wageningen The Netherlands. 228 pp.
- Torres A., J.S.; Cruz V., J.R.; Villegas T., F. 2004. Avances técnicos para la programación y el manejo del riego en caña de azúcar. Segunda edición. Cenicaña, Cali, Colombia. 66 p. (Serie técnica N.º 33) [Disponible en www.cenicana.org/biblioteca/catalogo_enlinea.php]

Siglas y abreviaturas

Más utilizadas en esta guía:

BH:	balance hídrico	LARA:	lámina de agua rápidamente aprovechable
CC:	capacidad de campo	LAS:	lámina de agua en el suelo
CH:	contenido de humedad	P:	precipitación efectiva
CHS:	cambio en la humedad del suelo	PMP:	punto de marchitez permanente
Da:	densidad aparente	Pr:	profundidad radical efectiva
Ev:	evaporación	R:	riego
ET:	evapotranspiración	RMA:	red meteorológica automatizada
Fag:	factor de agotamiento		

Esta guía metodológica y las ayudas didácticas relacionadas hacen parte de la colección de materiales para la transferencia de tecnología en la agroindustria de la caña de azúcar, y fueron producidas por Cenicaña como insumos del programa de aprendizaje y asistencia técnica, PAT.

Quienes reciben los materiales directamente de Cenicaña están autorizados para reproducirlos y adaptarlos en los procesos de capacitación a su cargo, siempre que las modificaciones contribuyan al logro de los objetivos de aprendizaje propuestos por los autores.

Cenicaña mantendrá abiertos sus canales formales de comunicación con los usuarios de la guía para intercambiar las actualizaciones en la materia de aprendizaje y atenderá oportunamente las solicitudes de servicios requeridos para la celebración de las actividades pedagógicas de acuerdo con los términos de compromiso definidos en el PAT.

Publicación Cenicaña

Producción editorial

Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología

Coordinación editorial

Victoria Carrillo C.

Edición de textos y corrección de estilo

Verónica Figueroa M. y Eduardo Figueroa C.

Diseño gráfico y diagramación

Alcira Arias V. y Yesid Ocampo S.

Fotografías

Banco de imágenes Cenicaña

Impresión

Prensa Moderna S.A. (Cali, Colombia)



Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

Cenicaña es una corporación privada, sin ánimo de lucro, fundada en 1977 por iniciativa de la Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia, Asocaña, y financiada con donaciones directas de los ingenios azucareros y los proveedores de caña localizados en el valle del río Cauca.

Su misión es contribuir al desarrollo, la competitividad y la sostenibilidad del sector agroindustrial de la caña de azúcar de Colombia, mediante la generación de conocimiento y la innovación tecnológica, a través de la investigación, la transferencia de tecnología y la prestación de servicios especializados, con base en un sistema integrado de gestión, para que el sector sea reconocido por sus aportes socioeconómicos y la conservación ambiental de las zonas productoras de caña de azúcar.

Así, el Centro favorece la innovación en la agroindustria gestionando proyectos de investigación y desarrollo acordes con la planeación estratégica del sector productivo. Dirige programas de investigación en variedades, agronomía y procesos de fábrica, y servicios especializados en información y documentación, tecnología informática, análisis económico y estadístico, cooperación técnica y transferencia de tecnología.

En sus funciones de apoyo sectorial, Cenicaña administra la Red Meteorológica Automatizada y la Red PM-10 de la agroindustria azucarera en el valle del río Cauca. Atiende solicitudes de importación de variedades en Colombia y presta servicios de propagación y multiplicación de variedades, análisis de suelo y tejido foliar, inspección fitopatológica en campo y laboratorio, diagnóstico de enfermedades de la caña de azúcar, e información y documentación.

Estación Experimental, vía Cali-Florida km 26.
San Antonio de los Caballeros, Florida (Valle del Cauca, Colombia).



La colección de materiales para la transferencia de tecnología en la agroindustria de la caña de azúcar está dirigida a los profesionales de distintas disciplinas vinculados con el sector azucarero colombiano, que en sus competencias de rol ejercen como facilitadores de la transferencia tecnológica y la adopción, particularmente a quienes planifican, ejecutan y evalúan las actividades de capacitación en las que participan los usuarios finales de la tecnología, en el programa de aprendizaje y asistencia técnica (PAT). Algunos materiales de la colección están dirigidos a los participantes en la capacitación, y les serán entregados por los facilitadores.

El objetivo de esta guía es facilitar la capacitación para aplicar la metodología de balance hídrico priorizado que permita la programación eficiente de los riegos en el cultivo de la caña de azúcar.

La guía está diseñada para ser utilizada por los facilitadores de la capacitación y asesorar a los encargados de la labor de riego y el manejo de aguas en las fincas productoras de caña de azúcar, quienes son responsables del uso eficiente y sostenible del recurso agua en las zonas dedicadas al cultivo.

Los participantes en la capacitación, usuarios finales de la tecnología, son productores de caña, mayordomos, supervisores, cabos y regadores. Al finalizar la capacitación, estarán en capacidad de manejar el balance hídrico para programar los riegos buscando el manejo eficiente y sostenible del agua.



www.cenicana.org/BH/index.php



cenicana

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia
Calle 58N No. 3BN-110 Cali, Colombia
www.cenicana.org

ISBN: 978-958-8449-12-8

