



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



Riego con caudal reducido en cultivos de caña de azúcar

Guía metodológica

Armando Campos Rivera
Doris Micaela Cruz Bermúdez



Serie: Sistema de
producción agrícola

Los autores

Armando Campos Rivera

Ingeniero agrícola con estudios de posgrado en Recursos Hidráulicos en la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Consultor en Manejo de Aguas, asesor de empresas, investigador y docente. En seis oportunidades recibió de la Universidad Nacional la Distinción de Docente Excepcional: en una ocasión, de parte del Consejo Directivo de la Facultad de Agronomía, por su papel en la creación de los programas doctorales en Ciencias Agrarias; y en cinco ocasiones, de parte del Consejo Superior Universitario, por su labor como docente de dedicación exclusiva en las áreas de Climatología, Riegos e Hidráulica, en la Facultad de Agronomía, donde además fue director de la carrera de Ingeniería Agronómica, director del Departamento de Agua y Suelos, vicedecano académico y decano encargado. Ha dirigido más de medio centenar de trabajos grado y cinco tesis de maestría en temas de riego, fertirriego y relación agua-suelo-planta y participa con frecuencia en eventos científicos acerca de los temas de su dominio. Actualmente es investigador en el Programa de Agronomía de Cenicaña, donde lidera el proyecto de investigación y desarrollo tecnológico del sistema de riego con caudal reducido.

Doris Micaela Cruz Bermúdez

Ingeniera agrícola egresada de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Trabajó en el Programa Red de Seguridad Alimentaria para Pequeños Productores de las Localidades Rurales de Bogotá D.C. En 2006 se vinculó a Cenicaña en el área de manejo de aguas y suelos del Programa de Agronomía, donde es colaboradora principal del proyecto de investigación y desarrollo tecnológico del sistema de riego con caudal reducido, en el cual ha contribuido con resultados acerca de las condiciones de uso del sistema en zonas de piedemonte y en zonas planas y en las aplicaciones de fertilizantes en solución en el agua de riego.

Riego con caudal reducido

en cultivos de caña de azúcar

Guía metodológica



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



Riego con caudal reducido

en cultivos de caña de azúcar

Guía metodológica

Armando Campos Rivera

Doris Micaela Cruz Bermúdez



Serie: Sistema de
producción agrícola

Campos Rivera, Armando

Riego con caudal reducido en cultivos de caña de azúcar. Guía metodológica / Armando Campos Rivera; Doris Micaela Cruz Bermúdez. – Cali: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia, 2014.

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

ISBN 978-958-8449-13-5

Incluye referencias bibliográficas

1. Caña de azúcar. 2. Riego. 3. Riego con caudal reducido. 4. Manejo de aguas. 5. Sistemas hidráulicos. 6. Transferencia de tecnología.

I. Cruz Bermúdez, Doris Micaela. II. Título.

631.7 CDD 23 ed.

C198

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

Octubre 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 producidos por Cenicaña como insumos del Programa de Aprendizaje y Asistencia Técnica, PAT, en la agroindustria azucarera colombiana. 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:

Campos R., A. y Cruz B., Doris M. 2014. Riego con caudal reducido en cultivos de caña de azúcar. Guía metodológica. Cenicaña. Cali, Colombia. 114 p. (Materiales para la transferencia de tecnología en la agroindustria de la caña de azúcar. Sistema de producción agrícola).

Agradecimientos

Los autores agradecen a Cenicaña por confiarles la responsabilidad del desarrollo de la tecnología; a los doctores Álvaro Amaya, director general de Cenicaña, Jorge S. Torres y Javier Carbonell, directores del Programa de Agronomía, quienes con confianza supieron esperar la maduración de la tecnología; al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural por el apoyo económico dado al proyecto, en especial al interventor Néstor Hernández por su visión sobre los impactos ambientales, económicos y sociales derivados de la utilización del sistema de riego; a los ingenios Riopaila-Castilla, Providencia, Pichichí, Manuelita, La Cabaña y Mayagüez, que facilitaron sitios, personal y elementos de ensayo en las diferentes fases del proyecto; a Guido Mauricio López y Ramiro Escobar y demás agricultores que hacen uso de la tecnología en sus cultivos; a los ingenieros Alejandro García, Jaime Urbano, Jairo Valencia, Mario Germán López, Eduardo Gutiérrez y Gustavo Medina quienes como interlocutores con disposición al cambio contribuyeron en la validación y mejora del sistema; a Victoria Carrillo y Alcira Arias de Cenicaña por su contribución en la revisión y edición del material; a John Jairo Valencia quien, como pasante, aportó evaluaciones de campo y los esquemas de los cabezales del sistema; finalmente, a los mayordomos y regadores que aportaron su conocimiento directo de las suertes y tablones en relación con su aptitud para el riego con caudal reducido.

Contenido

Presentación	8	
Programa de Aprendizaje y Asistencia Técnica	9	
Preámbulo	Riego con caudal reducido en cultivos de caña de azúcar	10
Introducción	10	
A quién se dirige esta guía	11	
Modo de usar esta guía	12	
Objetivos	13	
Estructura general de aprendizaje	14	
Exploración de expectativas	15	
Autoevaluación inicial	16	
Unidad 1	Conozcamos el sistema de riego: componentes, operación y mantenimiento	20
Introducción	21	
Objetivos	21	
Estructura de aprendizaje	21	
Preguntas iniciales	22	
Descripción del sistema de riego	23	
• Componentes y materiales: captación, filtrado, conducción, distribución, aplicación	24	
Modalidades de riego con caudal reducido	27	
Limpieza, operación y mantenimiento	32	
Práctica 1.1. Descripción, operación y mantenimiento del sistema de riego con caudal reducido	36	
Unidad 2	Conozcamos el entorno: diagnóstico de la condición del suelo y el terreno	44
Introducción	45	
Objetivos	45	
Estructura de aprendizaje	45	
Preguntas iniciales	46	
Condiciones del sitio	47	
• Topografía: pendiente, entresurco, forma de los tablones	47	
• Suelos: familia textural, densidad aparente, profundidad efectiva, perfil, profundidad del horizonte superior, contenido de piedra, constantes de humedad	49	
• Infiltración	52	
• Aforos: aforo volumétrico, calidad del agua de riego	54	
• Escorrentía	56	
• Erosión: riego superficial, riego por aspersión	56	
Práctica 2.1. Prueba de avance e infiltración en surcos	59	
Práctica 2.2. Determinación del contenido de piedra del suelo	68	

Unidad 3	Planifiquemos el sistema: parámetros de riego y diseño agronómico	74
	Introducción	75
	Objetivo	75
	Estructura de aprendizaje	75
	Preguntas iniciales	76
	Parámetros utilizados en el diseño agronómico	77
	• Lámina útil	77
	• Lámina neta	77
	• Lámina bruta	78
	• Tiempo de riego	78
	• Frecuencia de riego	78
	• Área diaria de riego	78
	• Jornada de riego	78
	• Número de posiciones o sectores	79
	• Número de sectores por día	79
	• Área por posición o área del sector	79
	• Caudal necesario	79
	Ejercicio 3.1. Planeación del sistema de riego	79
Unidad 4	Diseñemos el sistema: diseño hidráulico y uniformidad de aplicación	82
	Introducción	83
	Objetivo	83
	Estructura de aprendizaje	83
	Preguntas iniciales	84
	Ecuaciones utilizadas en el diseño hidráulico	85
	• Ecuación de continuidad o Principio de Conservación de la Masa	85
	• Cálculo de las pérdidas de energía por fricción o rozamiento	85
	• Cálculo de las pérdidas de energía por aditamentos	86
	• Ecuación de Hazen-Williams	86
	Diseño hidráulico de la red de tuberías	87
	• Tubería de conducción	87
	• Tubería de salida múltiple	87
	• Diseño del lateral: lateral en terreno plano, lateral en pendiente	88
	• Elevadores	89
	Ejercicio 4.1. Diseño hidráulico del sistema de riego	92
	Práctica y ejercicio 4.2. Aforo y evaluación de la uniformidad de aplicación	96
Apéndice		102
	Referencias bibliográficas	109
	Abreviaturas	110
	Siglas	111



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



Recurso digital

www.cenicana.org/pat



Programa de Aprendizaje y Asistencia Técnica

Cenicaña y los ingenios del valle del río Cauca coordinan el Programa de Aprendizaje y Asistencia Técnica (PAT) en la agroindustria azucarera colombiana, facilitando la gestión de conocimiento y el desarrollo de competencias para la adopción de prácticas sostenibles, más productivas, en las empresas del sector y convocando a todos los actores para que participen en el mejoramiento continuo del modelo.

El PAT es el componente de capacitación en la estrategia de transferencia de tecnología del centro de investigación y busca fortalecer las capacidades de comunicación y asistencia técnica con los usuarios directos de la tecnología para motivarlos y apoyarlos en las iniciativas de innovación en sus unidades productivas. Se integra en la estrategia al programa de la Red de Grupos de Transferencia de Tecnología (GTT), la validación participativa de tecnología con productores, la producción de material divulgativo y la investigación acerca del mercado de la tecnología.

La información precisa sobre el PAT y los materiales disponibles se encuentran en el sitio web www.cenicana.org/pat. Bienvenido. El reto de la adopción es ahora.

Camilo H. Isaacs E.

Jefe del Servicio de Cooperación Técnica
y Transferencia de Tecnología, Cenicaña



Riego con caudal reducido en cultivos de caña de azúcar

Introducción

Esta guía metodológica ha sido elaborada para apoyar a los facilitadores del Programa de Aprendizaje y Asistencia Técnica, PAT, en el proceso de capacitación y gestión del conocimiento acerca de la tecnología de riego con el método de caudal reducido. En ella se proponen una serie de prácticas y ejercicios que buscan el desarrollo de las competencias específicas que se requieren en las fincas productoras de caña para establecer un sistema de riego con caudal reducido.

En cuatro unidades de aprendizaje se tratan los aspectos de la tecnología que deben dominar los usuarios potenciales del sistema, quienes intervienen en el diseño de la instalación y en su operación y mantenimiento. Los usuarios de la tecnología, como sujetos activos de su propio aprendizaje, integran los distintos grupos de participantes del PAT.

Unidades 1 y 2: al completar esta unidad de aprendizaje, los participantes estarán en capacidad de describir el sistema de riego con caudal reducido y las funciones de sus componentes; identificar los elementos disponibles para la instalación y sus materiales; y aplicar criterios para la operación y el mantenimiento del sistema en condiciones óptimas. Además sabrán cómo llevar a cabo el reconocimiento del entorno y tendrán la destreza para realizar las pruebas de avance e infiltración del agua en los surcos y las determinaciones del contenido de piedra en los sitios de riego.

Unidades 3 y 4: a través de las actividades propuestas, los participantes adquirirán la capacidad de planificar un sistema de riego con caudal reducido (diseño agronómico) y serán competentes para elaborar el diseño hidráulico; en la instalación, tendrán la destreza para hacer el aforo del sistema y para evaluar la uniformidad del agua aplicada en los surcos.

Con el fin de motivar la participación y el análisis se utilizan diferentes metodologías de aprendizaje, como prácticas, ejercicios, discusiones y ejemplos derivados de situaciones reales; el propósito es despertar el interés en la capacitación y aprovechar las vivencias de los asistentes.

En general, los temas son tratados en un lenguaje sencillo y, en los casos necesarios, cuando los términos técnicos aparecen se da su equivalencia en los términos comunes o comerciales.

A quién se dirige esta guía

La guía está dirigida a los facilitadores del PAT, quienes se encargarán de lograr que el personal técnico, administrativo y operativo ocupado en las fincas productoras de caña se apropie de la tecnología de riego con caudal reducido, conozca sus limitaciones y aproveche sus beneficios económicos y ambientales.

El grupo de facilitadores debe ser capaz de dominar críticamente toda la temática contenida en la guía, a fin de compartir claramente su contenido y subsanar sus fallas, validando propuestas de adaptación y ajuste en los aspectos en que la tecnología, aún en desarrollo, sea susceptible de ser mejorada. Son facilitadores del PAT: los asistentes técnicos de los ingenios, los jefes de zona, los jefes de investigación y los jefes de riego; y los profesionales de transferencia de tecnología de Cenicaña.

Las unidades de aprendizaje están diseñadas para favorecer el desarrollo de las competencias requeridas para la apropiación de la tecnología en las fincas productoras de caña de azúcar. De acuerdo con las competencias específicas, se sugiere a los facilitadores que identifiquen a los distintos grupos de participantes potenciales y que organicen las actividades de capacitación teniendo en cuenta el nivel de responsabilidad y el interés de cada grupo:

- **Los productores de caña y los asistentes técnicos particulares**, quienes son responsables de las decisiones técnicas y administrativas en las fincas, quizás tengan interés en los aspectos administrativos de la tecnología y en las oportunidades de productividad y rentabilidad que ofrece; es muy probable que quieran conocer las generalidades del sistema de riego y prefieran las prácticas propuestas en las unidades 1 y 2 y algunos ejercicios de las unidades 3 y 4.
- **Los asesores en manejo de aguas** que prestan servicios profesionales en las fincas poseen un conocimiento especializado en los aspectos hidráulicos y en la gestión del riego, por lo cual centrarán su interés en las unidades 3 y 4.
- **Los mayordomos, los supervisores, los cabos y los regadores** de las fincas conforman un grupo de personal operativo que ha sido clave en el proceso de adopción de la tecnología de riego con caudal reducido en el valle del río Cauca por su conocimiento directo y cotidiano de las condiciones de los campos (topografía, áreas con inclusiones de texturas gruesas en suelos de textura fina, pedregales o 'piedreros', etcétera), muchas de las cuales son limitaciones para tener en cuenta en las decisiones de uso la tecnología en un área determinada. Este grupo seguramente estará interesado en las unidades 1 y 2; luego de participar en las prácticas de campo estarán en capacidad de realizar la prueba de avance e infiltración, estimar la lámina de agua aplicada en cada riego y vigilar los procesos erosivos en los surcos que se pueden causar por caudales excesivos. Mediante las pruebas de campo suministran información al personal del nivel superior con capacidad decisoria para realizar los ajustes necesarios al riego.



Modo de usar esta guía

La guía fue elaborada con fundamento en las competencias técnicas que requieren las personas que usarán la tecnología de riego con caudal reducido en cultivos de caña de azúcar; estas competencias comprenden la identificación de los elementos que componen el sistema, el diagnóstico de las condiciones del sitio, la planeación del sistema y su diseño hidráulico y, los criterios de manejo y mantenimiento, principalmente.

Debido a que algunas unidades de aprendizaje son más especializadas que otras y como tal pueden ser más difíciles de asimilar, el facilitador deberá conocer de antemano cuáles son las competencias esperadas de los participantes para decidir la profundidad de los temas en cada jornada de capacitación. Claramente, al conocer el nivel de responsabilidad de los participantes en el desarrollo y la productividad del cultivo, así como su interés en la



tecnología del caudal reducido, el facilitador contará con elementos de juicio para decidir el énfasis de los eventos que celebrará con cada grupo inscrito en el PAT. En el proceso de gestión participativa del conocimiento con los actores de la labor de riego el facilitador puede aprovechar los contenidos propuestos y diseñar nuevas actividades pedagógicas. Se sugiere utilizar los recursos digitales que se encuentran en el sitio web del PAT: www.cenicana.org/pat

Las herramientas de aprendizaje incluidas en esta guía son:

- **Exploración de expectativas y preguntas iniciales.** Sugeridas al comienzo de la guía y en las unidades de aprendizaje, están diseñadas para obtener una idea de lo que esperan los participantes de la capacitación y de su nivel de conocimiento en la materia; con este punto de partida el facilitador podrá decidir el lenguaje y las herramientas de aprendizaje que mejor aportan al desarrollo de las habilidades y las destrezas de cada grupo.
- **Autoevaluaciones de conocimientos (inicial y final).** Son cuestionarios para los participantes; en la revisión de las respuestas correctas es posible reconocer las fortalezas y las debilidades del grupo y observar su progreso.
- **Objetivos y estructura de aprendizaje.** Sirven para delimitar los alcances de la capacitación; se sugiere compartir esta información con los participantes antes de entrar en materia, es decir, antes de comenzar el desarrollo de cada unidad de aprendizaje (luego de las preguntas iniciales).
- **Resumen técnico.** Es un complemento necesario para la celebración de las actividades pedagógicas propuestas en cada unidad de aprendizaje.
- **Prácticas y ejercicios.** Diseñados para que los participantes entren en contacto directo con los componentes del sistema de riego y tengan la ocasión de manipular los materiales, introducir modificaciones en la instalación y desarrollar nuevas propuestas para adaptar el caudal reducido en distintas condiciones de producción agrícola. Este contacto directo con la tecnología es una oportunidad para que los participantes en la capacitación sean sujetos activos de su propio aprendizaje.

Objetivos

Al finalizar las actividades de capacitación acerca del riego con caudal reducido, los participantes del PAT podrán desarrollar las competencias siguientes:

1. Describir las características de un sistema de riego con caudal reducido, las partes que lo componen y los materiales empleados en su establecimiento.
2. Interpretar, mediante la realización de las pruebas pertinentes, los factores del entorno que definen la viabilidad del riego con caudal reducido y permiten decidir acertadamente las condiciones para su establecimiento.
3. Realizar la planificación del sistema de riego que lleve a la determinación del caudal requerido por el sistema.
4. Realizar un diseño hidráulico ajustado a las condiciones del terreno.
5. Explicar los aspectos esenciales que se deben tener en cuenta en la instalación de un sistema de caudal reducido y los cuidados especiales que requieren las partes más vulnerables del sistema.
6. Realizar las evaluaciones hidráulicas del sistema aplicando las metodologías indicadas.
7. Formular recomendaciones sobre la operación de un sistema de riego con caudal reducido a partir de la programación del riego indicada en el balance hídrico y con la ayuda de instrumentos para monitorear la humedad del suelo.
8. Realizar estimativos de la rentabilidad de la inversión en un sistema de riego con caudal reducido.



Los participantes en la capacitación adquieren destreza para realizar el aforo del caudal que entra a los surcos

Estructura general de aprendizaje



La estructura de aprendizaje es un esquema acerca de los conceptos y los conocimientos técnicos que se busca fortalecer durante la capacitación, con el propósito de facilitar la adopción del riego con caudal reducido en el valle del río Cauca.

Unidad 1: descripción del sistema de riego, sus partes, los materiales que se pueden utilizar para la instalación y los consejos de operación y mantenimiento. Para lograr los objetivos específicos se propone una práctica de campo que consta de dos actividades.

Unidad 2: reconocimiento de las condiciones del entorno que hacen adecuado o no el sistema para regar la caña de azúcar; incluye dos prácticas de campo, una para realizar la prueba de avance del agua e infiltración del agua en los surcos y la otra para determinar el contenido de piedra del suelo en el sector de riego.

Unidad 3: planificación o diseño agronómico del sistema; incluye un ejercicio (en sala) en el cual se utiliza la información recolectada en las prácticas de campo.

Unidad 4: los objetivos de aprendizaje se logran a través de un ejercicio inicial de diseño hidráulico; además, en una jornada de campo se realiza el aforo del sistema y con base en los datos se evalúa (ejercicio en sala) la uniformidad de aplicación del riego.

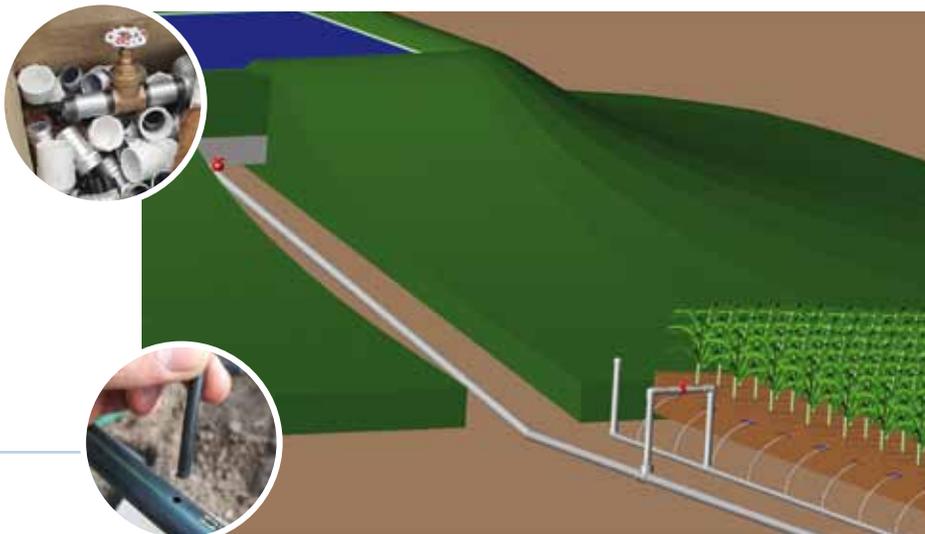
Con las actividades propuestas se espera que los participantes se familiaricen con aquellas actividades de formación que les permitan adquirir las competencias necesarias para: ejecutar pruebas de campo; realizar la planeación agronómica y el diseño hidráulico del sistema; obtener criterios de manejo y calidad de la instalación; y para advertir las precauciones debidas de mantenimiento del sistema.

Exploración de expectativas

La preparación del grupo para que los participantes se animen a tomar parte en las actividades de aprendizaje con interés y diligencia es el primer paso en la gestión del conocimiento. La motivación se puede lograr a través de una dinámica inicial que les permita conocerse, comunicar sus expectativas e identificar los temas de interés que pueden ser satisfechos a través del programa de capacitación.

La dinámica propuesta es la siguiente:

- Al momento de llegar al sitio de encuentro, cada participante recibe un "número secreto".
- Un voluntario inicia la dinámica presentándose ante el grupo: dice su nombre y su ocupación actual. Luego invita al "participante N.º ___" (cualquier número no mayor que la cantidad de participantes) para que haga lo mismo; así se procede hasta que todos tienen la oportunidad de hablar. Cada cuatro o cinco turnos se les pide a las personas indicadas que expongan las expectativas particulares que los motivan a participar en este programa de capacitación.
- Finalmente, se invita a los participantes a "armar" un prototipo de un sistema de riego con caudal reducido con tuberías, microtubos, llaves de paso y accesorios de diámetro pequeño.



En la gestión de conocimiento la creatividad es compartida
Ideas para la exploración de expectativas en el sitio web del PAT



Recurso digital
www.cenicana.org/pat

Autoevaluación inicial

En el siguiente cuestionario hemos tratado de cubrir todos los temas con preguntas sencillas que, más que el conocimiento teórico, evalúan la claridad de los conceptos de uso diario en el manejo del riego. Esperamos que la revisión de las respuestas correctas nos ayude a conseguir en el grupo un nivel básico de conocimientos acerca de la tecnología, lo cual facilitará la discusión y el intercambio de experiencias y opiniones durante las actividades de capacitación.

Instrucciones: La autoevaluación no tiene carácter calificativo. Cada pregunta del cuestionario tiene una respuesta única: marque con 'X' la opción que considere correcta en cada caso. Registre los datos en la hoja de respuestas y espere las indicaciones del facilitador para continuar. El tiempo para responder son 15 minutos.

- 1. La característica principal del riego con caudal reducido es:**
 - A. un riego no erosivo
 - B. un riego que aplica bajos caudales por surco
 - C. sólo funciona en el piedemonte
 - D. un riego costoso.

- 2. Al decidir sobre la viabilidad de regar la caña de azúcar con caudal reducido en algún sitio, el factor más importante para tener en cuenta es:**
 - A. el área por regar
 - B. la pendiente del terreno
 - C. la textura del suelo
 - D. el contenido de piedra.

- 3. El coeficiente de agotamiento es:**
 - A. una propiedad del suelo
 - B. un umbral de riego o valor mínimo hasta donde se deja agotar el agua
 - C. una propiedad de la atmósfera
 - D. una propiedad del cultivo.

- 4. El valor del coeficiente de agotamiento más usado en el riego de la caña de azúcar en el valle del río Cauca es:**
 - A. 0.2
 - B. 0.5
 - C. 0.7
 - D. 0.8

- 5. Un suelo es capaz de retener más agua si:**
 - A. es profundo
 - B. es de textura gruesa
 - C. es de textura fina
 - D. es estratificado

6. **La lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA) de un suelo depende de:**
- A. la capacidad de campo
 B. el punto de marchitez permanente
 C. la capacidad de retención de humedad
 D. la lámina de riego aplicada.
7. **La aplicación de un caudal de cuatro litros por segundo (4 l/s) en un entresurco de 1.5 metros de ancho y 100 metros de longitud, donde el tiempo de avance del agua es igual a 4 horas, implica la aplicación de una lámina cercana a:**
- A. 100 mm B. 200 mm C. 300 mm D. 400 mm
8. **Una lámina de agua de un milímetro (1 mm) es equivalente a:**
- A. un litro por metro cuadrado (1 l/m²)
 B. un metro cúbico por hectárea (1 m³/ha)
 C. diez litros por metro cuadrado (10 l/m²)
 D. cien metros cúbicos por hectárea (100 m³/ha)
9. **La relación entre el diámetro y el espesor de una tubería de PVC es una medida de:**
- A. la rugosidad de la tubería B. la resistencia a la presión
 C. la fricción D. el diámetro
10. **En la planeación del sistema de riego, el objetivo clave es la determinación de:**
- A. el número de sectores de riego B. la frecuencia de riego
 C. la lámina bruta D. el caudal del sistema

Hoja de respuestas

Pregunta	Mi respuesta	Respuesta correcta
1		
2		
3		
4		
5		

Pregunta	Mi respuesta	Respuesta correcta
6		
7		
8		
9		
10		



Orientaciones para el facilitador

Para cerrar cada ciclo de aprendizaje y avanzar en el conocimiento de la tecnología, el facilitador y los participantes deben dedicar siempre los minutos finales a conversar sobre las actividades realizadas, comentando las vivencias, los resultados y las conclusiones en cada tema. Así, con base en su experiencia, el facilitador tendrá mejores elementos de juicio para diseñar las estrategias de formación que contribuyan a reducir las diferencias conceptuales y a equiparar los conocimientos y las habilidades de todos los integrantes del grupo. En el caso de la autoevaluación inicial de conocimientos, las respuestas ofrecen una visión del nivel de introducción del grupo en los temas de la capacitación. El análisis participativo se convierte en una oportunidad para que el grupo se haga una idea acerca del nivel de profundidad que exige la capacitación y para colocar límites en las expectativas de formación; las dinámicas de retroinformación le permiten al facilitador la identificación de los inevitables desequilibrios de competencias al interior del grupo y le dan ideas sobre la forma de reducirlos.

Respuestas correctas a la autoevaluación inicial: 1=B; 2=C; 3=C; 4=B; 5=C; 6=C; 7=D; 8=A; 9=B; 10=D



Riego con elevadores para el suministro de caudales reducidos a los surcos



Entérese cómo surgió la idea del riego con caudal reducido y conozca las experiencias con el sistema en el valle del río Cauca



Recurso digital
www.cenicana.org/pat



Unidad 1

Conozcamos el sistema de riego componentes, operación y mantenimiento



Toma de agua desde reservorio

Introducción

En esta unidad se describe el sistema de riego con caudal reducido: sus características, las partes que lo componen y los materiales utilizados en su establecimiento. También se muestran las distintas formas que se pueden usar para aplicar el agua en los surcos y las modalidades del riego más adecuadas al caudal reducido. Finalmente, algunas orientaciones para el mantenimiento de la red de tuberías, que se deben tener en cuenta antes del riego, durante la operación y al momento de la cosecha de la caña de azúcar.

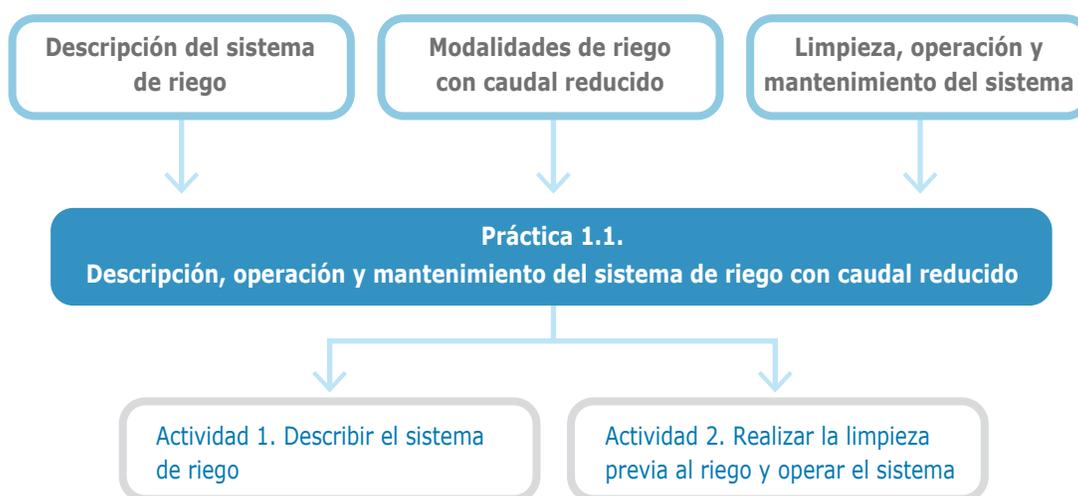
Objetivos

A través de actividades de campo se busca que los participantes adquieran la destreza para desarrollar las siguientes competencias:

- Identificar los componentes de un sistema de riego con caudal reducido.
- Describir los componentes del sistema.
- Reconocer los materiales utilizados y sus características.
- Reconocer los nombres técnicos y los nombres comunes de los componentes y los materiales.
- Proyectar la disposición de un sistema de riego con caudal reducido en unas condiciones dadas.

Estructura de aprendizaje

Conozcamos el sistema de riego con caudal reducido



La estructura de aprendizaje de la primera unidad se basa en la realización de una práctica de campo que les permite a los participantes familiarizarse con la disposición general de un sistema de riego con caudal reducido, con cada una de sus partes y con los materiales que se pueden utilizar. Una vez conocida la disposición del sistema se procede a fijar los criterios que rigen su operación y mantenimiento de manera que se mantenga funcional.

- La práctica es una oportunidad para que, a través de observaciones de campo, los participantes construyan una imagen de un sistema de caudal reducido de manera tal que ésta pueda ser materializada en otros sitios y condiciones.
- En las observaciones de campo se hace énfasis en los componentes del sistema, los cuales deben ser analizados detenidamente desde diferentes ángulos. Por ejemplo, al considerar las fuentes de agua, además de clasificarlas por tipo (corriente superficial, pozo profundo o reservorio) se debe tratar de apreciar el caudal que cada una puede suministrar y la calidad del agua, bien sea por medio de sensores o directamente mediante equipos portátiles. También es importante conocer las diferentes formas de aplicar el riego con caudal reducido, tales como los tubos cortos, las tuberías con ventanas y los elevadores, con lo cual se amplían las posibilidades de adopción del del sistema, utilizando los recursos disponibles en las explotaciones agrícolas y facilitando la asimilación del cambio tecnológico en las fincas.

Los participantes en la capacitación deben conocer la oferta en el mercado de los materiales para la instalación del sistema de riego, sus especificaciones técnicas y los costos, con el fin de llegar a diseños realizables; por ello es necesario familiarizarse con la descripción de partes del sistema que pueden parecer complejas, como los cabezales de campo y los filtros. Se recomienda consultar los catálogos de las empresas comercializadoras de equipos de riego disponibles en el sitio web de cada una de ellas.

Preguntas iniciales

Antes de 'entrar en materia' es conveniente hacer una exploración de los conocimientos iniciales, fomentando la comunicación grupal y el intercambio de experiencias con los participantes. Se sugieren las preguntas siguientes:

1. ¿Qué referencias tiene sobre el riego con caudal reducido?
2. ¿En cuáles condiciones de suelo se podría recomendar este sistema de riego?
3. ¿Influye la pendiente del terreno en el buen funcionamiento del sistema?
4. ¿Cuál es la forma del entresurco más favorable para controlar el avance del caudal reducido donde la pendiente es alta?
5. ¿Qué partes componen un sistema de riego con caudal reducido?

Descripción del sistema de riego

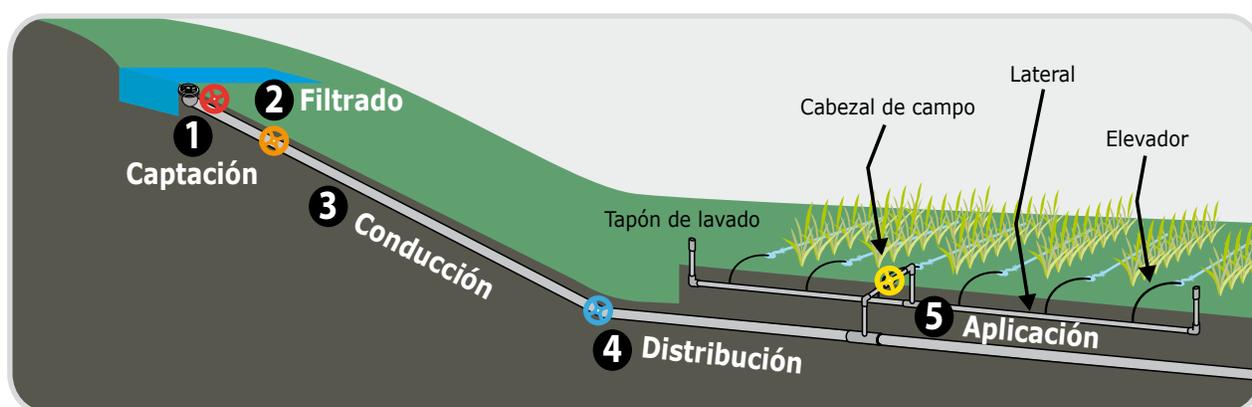
El riego con caudal reducido es un método de riego por gravedad, en el cual se aplican pequeños caudales por surco. Actualmente se utiliza en cultivos de caña en el piedemonte de las cordilleras Occidental y Central, donde la pendiente es mayor que 3% y los suelos son poco profundos y con altos contenidos de piedra y grava. También se está probando con éxito en cultivos establecidos en la parte plana del valle del río Cauca, en sitios con pendientes medianas (1% a 3%) y planas (<1%) en donde la textura y el perfil de los suelos son favorables para el avance del agua.

El sistema de riego con caudal reducido necesita los siguientes componentes para operar (**figura 1.1**):

1. CAPTACIÓN: referida a las fuentes de agua
2. FILTRADO: para evitar taponamiento del sistema
3. CONDUCCIÓN: lleva el agua desde la fuente hasta la cabecera del área por regar
4. DISTRIBUCIÓN: reparte el agua en las suertes y tablones
5. APLICACIÓN: entrega el agua a los surcos

Figura 1.1

Esquema de un sistema de riego con caudal reducido

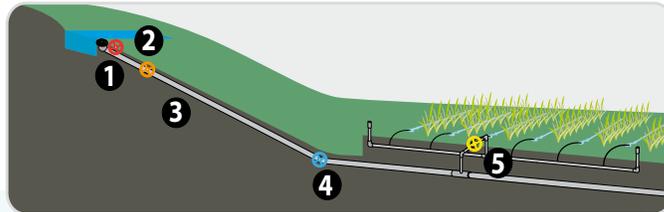


-  Válvula principal: para permitir o suspender el paso de agua al sistema.
-  Válvula de alivio de aire (función automática): para proteger el sistema del vacío cuando se cierra la válvula principal, permitiendo la salida del aire acumulado en las tuberías.

-  Válvula de purga: para evacuar sedimentos en los sitios bajos de las tuberías.
-  Válvula de control del riego: para permitir o suspender el paso de agua al sector o módulo de riego.

Componentes y materiales

Descripción de las partes que componen un sistema de riego con caudal reducido, los materiales utilizados y las formas de aplicación del agua en los entresurcos (**galería de imágenes 1.1**).



1. **CAPTACIÓN:** el sistema de riego toma el agua de pozos profundos, reservorios o fuentes superficiales como ríos y quebradas; aquí se instala la válvula principal.
2. **FILTRADO:** en general, el sistema es poco susceptible al taponamiento y, por lo tanto, poco exigente en filtrado. Sin embargo, en algunos casos se han observado agentes físicos como piedras pequeñas, trozos de tubería provenientes del proceso de instalación y depósitos de sedimentos en los extremos de las tuberías; también se han encontrado agentes biológicos como peces pequeños, caracoles y algas. Para proteger el sistema, en el sitio de captación se instalan filtros artesanales, filtros de malla o filtros de anillos; la elección depende del grado de filtrado que se requiera.
3. **CONDUCCIÓN:** uso de tuberías de PVC o tuberías de polietileno como medio de transporte del agua desde la fuente hasta la cabecera de las suertes. No se recomienda conducir el agua por medio de acequias o canales, por la dificultad para regular el caudal transportado y por la erosión grave que puede ocurrir en su recorrido en donde la pendiente del terreno es alta. Antes de la tubería de conducción se instala la válvula de alivio de aire.
4. **DISTRIBUCIÓN:** es el conjunto de acequias o tuberías que se conectan a la conducción para llevar el agua a las tuberías laterales instaladas en los tablones; estas tuberías entregan el agua a los elevadores o directamente a los entresurcos mediante compuertas.
5. **APLICACIÓN:** la decisión sobre la forma de aplicar el agua en los surcos debe tomarse teniendo en cuenta la infraestructura existente, la topografía y la experiencia de los regadores en su labor: la primera condición está dirigida a disminuir los costos del cambio tecnológico; la segunda, a atender las consideraciones de uniformidad del riego y de costos; y la tercera, a facilitar la adopción de la tecnología.

Aunque la forma más elemental de aplicar el agua a los surcos es mediante boquetes abiertos en la acequia de cabecera, éstos tienen inconvenientes porque son erosionables, se deforman con el paso del agua y porque los caudales aplicados no son uniformes en todos los surcos.

En lugar de los boquetes, se proponen las formas siguientes:

- **Tubería lateral con elevadores:** donde las condiciones de pendiente del terreno son más difíciles (pendiente >3%) se usan tuberías de presión (riego presurizado) para la conducción, distribución y aplicación del agua. El sistema presurizado en el riego con caudal reducido tiene tres componentes:
 - **Cabezal de campo** donde se ubica la válvula de control del riego.
 - **Tubería lateral** que se instala en la cabecera del lote o tablón; puede ser tubería de PVC de presión (enterrada).
 - **Tubos elevadores** (emisores) que se conectan a la tubería lateral y cumplen la función de entregar el agua a los entresurcos.

Los elevadores que se conectan a la tubería lateral son tubos de polietileno de 1.5 metros a 2.0 metros de longitud y 16 milímetros de diámetro, aunque que se pueden utilizar elevadores de 12 mm de diámetro o más grandes, según la necesidad. La tubería de presión debe ser instalada a una profundidad no menor de 60 centímetros, con el fin de protegerla durante las labores agrícolas mecanizadas. El sistema presurizado propuesto para la aplicación del caudal reducido puede combinarse con el goteo en las partes o secciones del lote donde el riego es difícil por la condición de textura gruesa del suelo.

- **Politubular:** es posible aplicar el riego con caudal reducido mediante tuberías flexibles de polietileno (politubulares), en las cuales se colocan compuertas para regular el caudal por surco. Debido a que esta alternativa opera con presiones muy bajas, su uso es viable en terrenos planos, en donde las irregularidades del terreno no afectan la uniformidad de los caudales entregados a los surcos a través de las compuertas. El paso del agua se controla mediante hidrantes.
- **Tubería rígida de PVC:** esta tubería con compuertas es usada para aplicar caudales reducidos, bien sea por bombeo directo desde un pozo profundo o conectando el sistema a un reservorio que garantice una presión mínima de unos tres metros (3 m) de columna de agua. El paso del agua se controla mediante hidrantes.
- **Acequia de cabecera con tubos cortos:** una opción donde se dispone de acequias de cabecera es aplicar el agua a los surcos utilizando tubos cortos de PVC. La longitud de los tubos será de un metro (1 m) y el diámetro, desde media pulgada hasta una pulgada (de $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{4}$ " hasta 1").



Los tubos cortos se instalan en posición horizontal, sumergidos a 10 cm del nivel superior del talud.

Galería de imágenes 1.1

Componentes de un sistema de riego con caudal reducido y algunas alternativas para la instalación

1 Captación



Fuente superficial



Pozo profundo



Reservorio de agua

2 Filtrado



Filtro de malla



Filtro de anillos



Filtro artesanal

3 Conducción



Tubería de conducción

5 Aplicación



Lateral con elevadores



Tubería con compuertas

4 Distribución



Tubería de distribución



Politubular con compuertas



Acequia con tubos cortos

Modalidades de riego con caudal reducido

Para comprender mejor las modalidades de riego es necesario imaginarse un campo con riego donde se ven: las calles o entresurcos que reciben el agua directamente de los emisores (tubos cortos, compuertas o elevadores) y los entresurcos que no reciben agua. En todos los casos, el aporque de las plantas debe ser superficial y el entresurco debe tener la forma de trapecio de base ancha, con lo cual se ordena el avance del agua y se garantiza la distribución transversal y uniforme de la humedad en el suelo.

Las modalidades de riego que se presentan a continuación refieren a distintos modos de aplicación del agua en las calles o entresurcos con el fin de suplir los requerimientos hídricos del cultivo y asegurar la sostenibilidad de la empresa agrícola. Para decidir la modalidad de riego se tienen en cuenta: el tipo de encalle de los residuos de cosecha; la disponibilidad de agua; la pendiente de los surcos y el tipo de suelo. Los suelos aptos para el riego con caudal reducido se mencionan en la **tabla 1.1**; las modalidades de riego se ilustran en la **galería de imágenes 1.2**.

Tabla 1.1

Suelos aptos para el riego de la caña de azúcar con caudal reducido en el valle del río Cauca y grupos homogéneos a los que pertenecen. La mayoría se puede regar por surco alterno y alterno-alterno.

Grupo homogéneo de suelos*	Suelo	Familia textural	Pendiente de los surcos (%)
6	Corintias	Fina	< 1
10	Ballesteros	Fina	< 1
11	Palmira	Francosa fina	< 1 – 2.5
11	Manuelita	Francosa fina	< 1
29	Pichichí	Esquelética arcillosa	3
22**	Acuario	Esquelética francosa	3
31**	Nima	Francosa fina sobre esquelética arenosa	3
26	Esneda	Arcillosa sobre esquelética arcillosa	3
27	Italia	Arcillosa sobre esquelética arcillosa	3

* Grupos homogéneos de suelos (estudios detallados) (Quintero, *et al.*, 2008).

** No se recomienda regar por surco alterno en suelos clasificados en los grupos homogéneos 18 a 22 y 31 a 33. Se recomienda el riego por surco alterno en los grupos de suelos 1 a 17 y 23 a 30.

Galería de imágenes 1.2

Modalidades de riego con caudal reducido

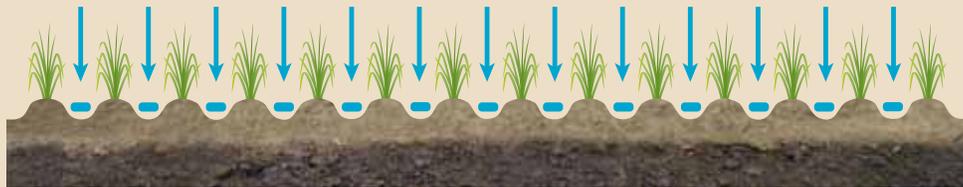
Surco continuo:

todos los entresurcos reciben agua

Se utiliza principalmente en plantillas, donde no hay residuos que obstaculicen el avance del agua.

Riego por surco continuo (campo sin residuos)

↓ Todos los eventos de riego



Surco alterno:

el agua se coloca 'entresurco de por medio', es decir en una calle si y en la otra no

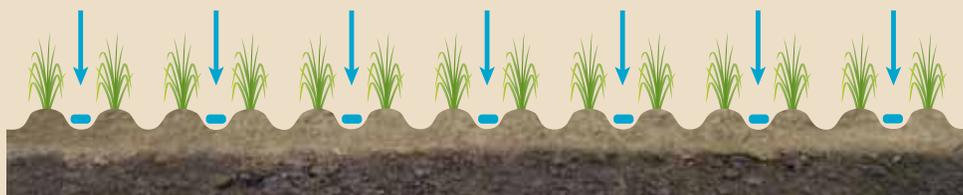
Modalidad de riego aconsejable en:

- suelos de textura fina
- plantilla y socas
- campos sin residuos de cosecha
- campos con residuos encallados al 2x1, al 4x1 o al 5x1 (calles limpias x calles con residuos)

El ahorro potencial de agua es del 50% con respecto al surco continuo.

Riego por surco alterno (campo sin residuos)

↓ Todos los eventos de riego



En cada evento de riego por surco alterno se puede alternar la calle donde se coloca el agua

Continúa

Modalidades de riego con caudal reducido

La variante del surco alterno se denomina:
riego por surco alterno-alterno

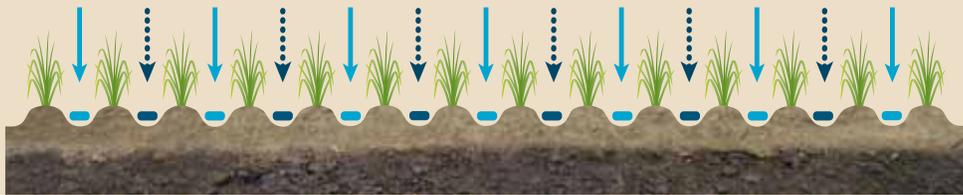
Surco alterno-alterno: el agua se coloca 'entresurco de por medio' y en cada evento de riego se alterna la calle con agua

Las indicaciones son las mismas para el riego por surco alterno que para el alterno-alterno.

El riego por surco alterno-alterno ha significado ahorros de agua frente a la modalidad de surco continuo y leves mejoras en productividad de la caña frente al surco alterno.

Riego por surco alterno-alterno (campo sin residuos)

- ↓ Eventos de riego N.º 1, N.º 3, N.º 5...
- ⋮
- ↓ Eventos de riego N.º 2, N.º 4, N.º 6...



Surco alterno: en socas con residuos encallados al 2x1, al 4x1 o al 5x1, el agua se coloca 'entresurco de por medio'

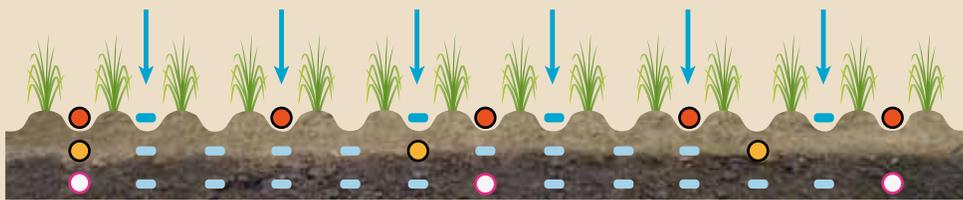
Las indicaciones para el riego por surco alterno en campos con residuos de cosecha son las mismas que en campos sin residuos.

En el riego de cañas socas es necesario colocar el agua en algunas calles con residuos.

Riego por surco alterno (campo con residuos)

- ↓ Todos los eventos de riego

- Encalle: ● 2x1
● 4x1
○ 5x1



Continúa

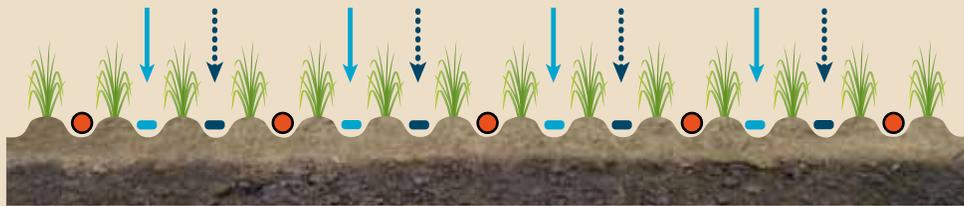
Modalidades de riego con caudal reducido

Riego al 1x2: con residuos encallados al 2x1, el agua se coloca en una de las dos calles limpias (variante: 1x2 alterno)

El riego al 1x2 sólo es recomendado en suelos finos; exige observación permanente del desarrollo del cultivo. Cuando el encalle deja dos calles limpias y una con residuos, el agua se coloca en una de las dos calles limpias; de este modo se logran los mayores ahorros de agua. Tiene la variante de riego al 1x2 alterno. No es necesario aplicar agua en las calles con residuos.

Riego al 1x2 alterno (campo con residuos encallados)

- ↓ Eventos de riego N.º 1, N.º 3, N.º 5...
- ⋮↓ Eventos de riego N.º 2, N.º 4, N.º 6...
- Encalle al 2x1



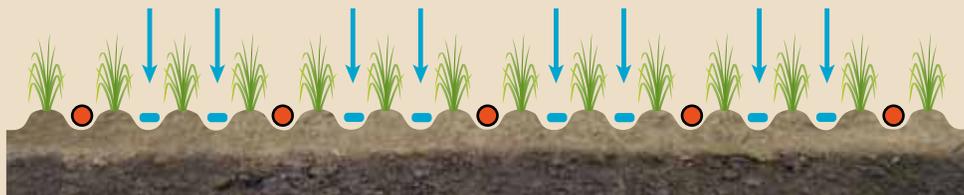
Riego al 2x1:

con residuos encallados al 2x1, el agua se coloca en las dos calles limpias

En esta modalidad de riego siempre se aplica agua en las dos calles limpias y no se aplica en las calles con residuos.

Riego al 2x1 (campo con residuos encallados)

- ↓ Todos los eventos de riego
- Encalle al 2x1



Continúa

Modalidades de riego con caudal reducido

Riego al 4x1:

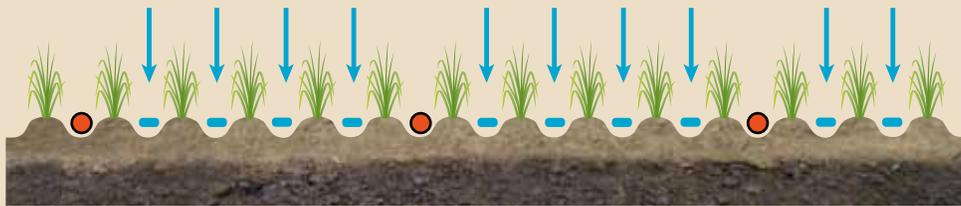
con residuos encallados al 4x1, el agua se coloca en las cuatro calles limpias

Esta modalidad se ajusta a la disposición de residuos al 4x1, para regar los cuatro surcos donde no hay residuos.

Representa un ahorro potencial de agua del 20% frente al surco continuo.

Riego al 4x1 (campo con residuos encallados)

- ↓ Todos los eventos de riego
- Encalle al 4x1

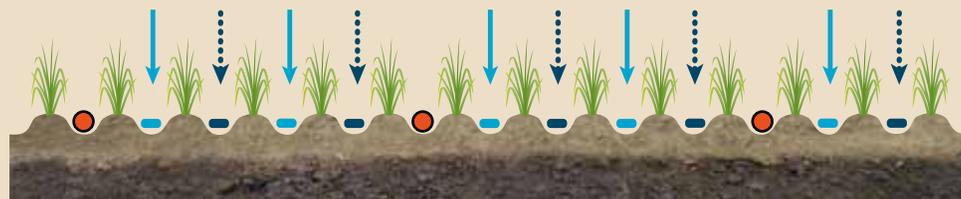


Riego al 2x3 alterno: con encalle al 4x1, el agua se coloca en dos calles limpias que se alternan en cada evento

Otra modalidad de riego en socas con encalle al 4x1 es el riego al 2x3 alterno, con el cual se puede conseguir un ahorro de agua del 60% frente al surco continuo. No se pone agua en la calle con residuos.

Riego al 2x3 alterno (campo con residuos encallados)

- ↓ Eventos de riego N.º 1, N.º 3, N.º 5...
- ⋮ Eventos de riego N.º 2, N.º 4, N.º 6...
- Encalle al 4x1



Limpieza, operación y mantenimiento

Se ha comprobado que el cultivo de la caña de azúcar responde a la aplicación frecuente de agua. El sistema de riego con caudal reducido permite regar con mayor frecuencia que el riego convencional, lo cual ha significado incrementos hasta del 10% en la productividad del cultivo. Para obtener el mayor beneficio es necesario hacer una planeación de la operación de riego y realizar oportunamente las actividades de limpieza y mantenimiento del sistema.

Limpieza

Se realiza antes y después de cada evento de riego



1 Limpie los filtros antes de cada evento de riego

- Los filtros que se encuentran en el sitio de captación del agua deben estar libres de impurezas como hojas, algas o peces, entre otros materiales extraños, a fin de garantizar la operación continua y uniforme del sistema de riego de acuerdo con la capacidad de la instalación. Para la limpieza utilice agua abundante y, si es posible, un cepillo de cerdas suaves.



2 Retire los tapones de lavado para drenar las impurezas de la red de tuberías

- Los tapones de lavado están ubicados en los extremos de la tubería lateral instalada para el riego con elevadores.

- Retire uno a uno los tapones de cada sector de riego y abra lentamente la válvula de control ubicada en el cabezal de campo; espere a que drenen las partículas sólidas y los sedimentos acumulados en las tuberías, hasta cuando el agua salga cristalina.
- Si es el caso, abra la válvula de purga para evacuar los sedimentos que se acumulan en las conexiones de las tuberías instaladas en sitios bajos.
- Finalmente, cierre el paso del agua y coloque los tapones en su lugar.



3 Revise las tuberías y los elevadores para asegurar el flujo del agua hacia los surcos

- Abra nuevamente el paso del agua y revise que no haya fugas a lo largo de las tuberías; corrija las que encuentre o programe las labores de mantenimiento.

- Preste atención especial en los puntos de conexión de la tubería lateral y los elevadores, donde se presentan pequeñas fugas de agua con bastante frecuencia, bien sea porque la silleta de caucho ha sido colocada incorrectamente, por fisuras en la tubería debido a esfuerzos o por perforación de la misma al taladrar en ella para conectarle el elevador.
- Verifique la salida de agua por los elevadores; en ocasiones se obstruyen en la conexión al lateral o por aplastamiento. Para destaparlos introduzca una sonda (alambre) en la manguera y restablezca fácilmente el flujo del agua.
- Para habilitar los elevadores rotos o arrancados coloque una unión.

Operación

Se realiza para regar un sector o módulo de riego o varios sectores simultáneamente



1

Verifique el caudal del sistema

- En el sitio de captación del agua, asegúrese de tener el caudal suficiente para el riego.
- Establezca la cantidad de agua disponible para atender las prioridades de riego indicadas por el balance hídrico; tenga en cuenta el caudal requerido en cada sector de riego.
- Si es necesario haga ajustes en la programación de acuerdo con el caudal disponible y las prioridades de riego en la finca.

2

Abra lentamente la válvula principal del sistema y supervise el llenado de las tuberías de conducción y de distribución. Evite el golpe de ariete en la red de tuberías abriendo una a una y muy lentamente las llaves de paso del agua.

3

Controle la entrada de agua al lateral y a los elevadores



- Con la apertura de la válvula de control de riego (ubicada en el cabezal de campo) se permite la entrada del agua a las tuberías laterales.
- Desaloje el aire acumulado en la tubería lateral abriendo lentamente la válvula de control del riego; el aire acumulado en esta tubería reduce la capacidad del sistema.
- Abra solamente una válvula a la vez, pasando por cada sector del riego hasta llegar a la parte más baja del área programada (según las prioridades del balance hídrico).
- Tenga el cuidado de abrir únicamente el número de válvulas establecido de acuerdo con el diseño del sistema y el caudal del mismo. Así podrá garantizar la uniformidad de los caudales aplicados en los surcos.

Mantenimiento preventivo

Es una tarea continua; obligatoria después del último riego y antes del primero del siguiente ciclo de cultivo

1

Establezca un programa de mantenimiento preventivo. La finalidad es conservar operativa la red de tuberías, evitar las pérdidas de agua y prolongar en buen estado la vida útil de las partes que componen el sistema de riego.

- Refuerce las prácticas de limpieza de filtros, tuberías y mangueras durante el tiempo que no está regando (entre ciclos de riego).
- Préstele mucha atención al estado de los accesorios, especialmente de las válvulas y en particular de las plásticas pues, aunque son de menor precio, por estar a la intemperie son más susceptibles que las metálicas a desajustes y cristalización.
- Revise todas las partes del sistema, siga los consejos de los fabricantes para mantenerlas en buen estado y reemplace de inmediato las que están dañadas o a punto de estarlo.
- Verifique si existen fugas recorriendo detenidamente toda red de tuberías. Corrija las que encuentre. Recuerde que debe abrir lentamente las llaves de paso para proteger las tuberías.

2

Proteja la instalación durante el tiempo que no está regando. Para evitar daños en la instalación por el tráfico de la maquinaria y los equipos agrícolas es necesario proteger las partes más delicadas del sistema.

- Después del último riego, marque con una señal visible la ubicación de los cabezales de campo y de los tapones de lavado.
- También puede recortar los elevadores a la altura del piso para evitar que se quemen o que sean arrancados durante la cosecha.

3

Siga las orientaciones de operación cada vez que inicie un ciclo de riego. El lavado de filtros y tuberías, la apertura y el cierre de válvulas, la limpieza y la reparación o el reemplazo de mangueras y accesorios son tareas que realiza con destreza.

- Antes del primer riego realice la limpieza de las partes del sistema de riego.
- Habilite los elevadores (cortados, arrancados o perforados) colocando una unión en la manguera lateral que se encuentra enterrada.
- Siga las orientaciones de operación para aplicar el riego.

Orientaciones para el facilitador

Práctica 1.1. Descripción, operación y mantenimiento del sistema de riego con caudal reducido

A continuación se presentan las orientaciones para desarrollar esta práctica de campo, que consiste en dos actividades: la primera de reconocimiento y descripción del sistema de riego y la segunda de limpieza y operación. Los objetivos de aprendizaje y la secuencia de las actividades se presentan en las instrucciones para los participantes que le siguen a estas orientaciones. También se incluyen algunas recomendaciones para la dinámica de retroinformación que debe llevarse a cabo una vez finalizan las actividades de campo.

El facilitador puede seguir estas orientaciones o ajustar la práctica y la retroinformación según su criterio; se le recomienda, en todo caso, que celebre el evento en una instalación que sea operativa. El tiempo previsto para la práctica son cuatro horas.

Sugerencias para organizar la práctica

- 1. Seleccionar un sitio** donde se cuente con dos instalaciones para el riego con caudal reducido: una con tubería lateral y elevadores y la otra con tubería (politubular o PVC) con ventanas. Si es posible, organizar también los tubos cortos en una acequia de riego.
- 2. Recopilar la información básica** del sitio (suertes), incluidos el plano topográfico, el plano de las instalaciones y el mapa de suelos con la descripción del perfil. Puede tomar esta información del Servidor de Mapas: www.cenicana.org/aeps/servidor_mapas.php



Toma de agua desde reservorio

- 3. Preparar un plan de acción** para el desarrollo de la práctica. Recorrer las instalaciones para ubicar los puntos de interés donde los participantes puedan conocer en detalle las partes del sistema y realizar las actividades.
- 4. Garantizar el agua necesaria** para el riego en los sectores escogidos.
- 5. Consultar información técnica** para dirigir la práctica con seguridad y para responder las inquietudes de los participantes. Conseguir diferentes catálogos de tuberías y otros elementos de riego para compartirlos con los participantes.
- 6. Preparar los materiales** y la logística para el evento de capacitación.



RECURSOS NECESARIOS

Para el facilitador:

- Equipos móviles de comunicación
- Cronograma de actividades
- Personas responsables en cada estación del recorrido
- Tableros, carteles y avisos necesarios para el normal desarrollo de las actividades.

Para cada grupo:

- Una regla escala
- Un borrador y un sacapuntas
- Un juego de lápices de tres colores
- Un juego de guantes y monogafas.

Para cada participante:

- Plano topográfico de las suertes, preferible a escala 1:2000, con la ubicación del sistema de riego.
- Mapa de suelos con información del perfil (estudio detallado)
- Resumen técnico (unidad 1)
- Instrucciones para los participantes
- Formularios para el registro de datos
- Hojas de papel en blanco y lápiz.
- Un cepillo de cerdas suaves
- Dos metros de alambre grueso.

Orientaciones para la dinámica de retroinformación

En la dinámica dirigida por el facilitador durante la práctica de campo, los participantes habrán tenido oportunidades para expresar sus observaciones y sus inquietudes en las distintas estaciones del recorrido y en las actividades con sus compañeros de equipo. No obstante, con el fin de "cerrar" esta fase de la capacitación y antes de continuar con la temática siguiente, es recomendable cerciorarse de que todos los participantes han asimilado la estructura del sistema de riego con caudal reducido y las funciones de cada una de las partes que lo componen. Las preguntas a continuación pueden ayudar a conducir la dinámica de realimentación; además, facilitan que los participantes aporten su experiencia y sus conocimientos en el manejo del riego para complementar el aprendizaje acerca del método con caudal reducido:

1. Un sistema de riego con caudal reducido:
 - ¿es exigente en filtrado?
 - ¿puede ser transformado a un sistema de riego por goteo?
 - ¿qué adaptaciones propondría para transformarlo?
2. ¿En qué aspectos son similares el riego con caudal reducido y el riego por goteo?
3. ¿Hay aspectos del riego con caudal reducido que le parecen problemáticos para regar la caña de azúcar? ¿cuáles? ¿por qué?

Práctica de campo

Instrucciones para los participantes

Descripción, operación y mantenimiento del sistema de riego con caudal reducido



Recurso digital

www.cenicana.org/pat

Objetivos

Al finalizar la práctica de campo los participantes tendrán destreza para:

1. Interpretar un mapa topográfico, leer las convenciones, determinar distancias sobre él y estimar las pendientes del terreno.
2. Describir los componentes de un sistema de riego con caudal reducido e identificar los materiales que se pueden usar para la instalación.
3. Seleccionar la forma de aplicar el riego con caudal reducido (tubería rígida de PVC con compuertas, politubulares, tubos cortos) que implique cambios menores en una condición dada, tratando de aprovechar la experiencia y los materiales existentes.
4. Identificar la ubicación de los elementos de protección del sistema y sus funciones.
5. Realizar la limpieza de los filtros, las tuberías y los elevadores (lateral) antes y después del riego.
6. Seleccionar y organizar los elementos que componen un cabezal de campo en el riego con elevadores.
7. Operar adecuadamente una instalación de riego con elevadores de caudal reducido.
8. Realizar el mantenimiento preventivo y la puesta a punto de un sistema de riego con elevadores.

Actividades

La jornada de campo se desarrolla en un sitio adecuado a los objetivos de aprendizaje. La dinámica consiste en recorrer una instalación de riego con caudal reducido, comenzando en el sitio de captación del agua y terminando en los sectores de riego.

Los participantes trabajan en grupos de tres a cuatro personas; antes de iniciar el recorrido reciben los materiales necesarios y las instrucciones del caso para el buen desarrollo de las actividades: 1. Describir el sistema de riego; 2. Realizar la limpieza previa al riego y operar el sistema.

Documentos adjuntos

- 📄 Resumen técnico (unidad 1): “Conozcamos el sistema de riego con caudal reducido: componentes, operación y mantenimiento”
- 📄 Plano topográfico de las suertes, preferible a escala 1:2000, con la ubicación del sistema de riego.
- 📄 Mapa de suelos con información acerca del perfil (estudio detallado)
- 📄 Instrucciones (pasos) para las actividades y formularios para el registro de datos.

Consejos prácticos



Haga parte de un equipo

Intégrese con dos o tres personas más y acuerden cómo van trabajar



Revise los documentos

Identifique los materiales antes de comenzar las actividades



Comente y aclare

Participe con confianza y exprese sus inquietudes oportunamente.

NUESTRO EQUIPO ¿Quiénes somos?

Nombre del equipo:

.....

Integrantes:

.....

.....

.....

.....

Actividad 1. Describir el sistema de riego

PASOS

1 Interpretar el plano topográfico y el mapa de suelos



Siga las indicaciones del facilitador para definir la pendiente del terreno y las características del perfil del suelo en las suertes por regar:

- Utilice el plano topográfico y la regla escala para definir la pendiente del terreno y la longitud de los surcos.
- Revise el mapa de suelos y la descripción del perfil para identificar la textura y la profundidad efectiva.

2 Representar en un esquema los componentes de un sistema de riego con caudal reducido



Dibuje un sistema de riego con caudal reducido y señale los nombres de los componentes, sus partes y los materiales utilizados.

3 Completar la descripción de la instalación visitada



A medida que avanza el recorrido, registre las características del sistema de riego y las observaciones del caso en el formulario para la descripción del sistema de riego con caudal reducido.

Descripción del sistema de riego con caudal reducido

Información básica

Fecha:	Hacienda:		
Ingenio:	Suerte:		
Sector de riego			
Área (m ²)			
Longitud de surcos (m)			
Distancia entre surcos (m)			
Pendiente (%)			
Textura del suelo (estudio detallado)			
Profundidad efectiva (cm)			
Descripción del perfil:	A	B	C
- Profundidad de horizontes (cm)			
- Textura de cada horizonte			

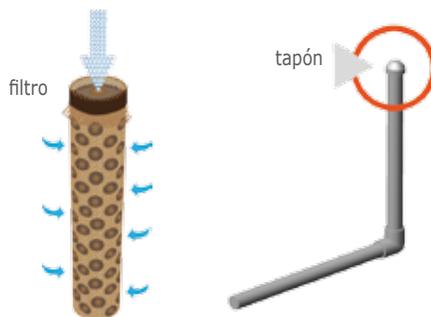
Sistema de riego con caudal reducido

COMPONENTE	PARTES Y MATERIALES	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
CAPTACIÓN	Fuente de agua (tipo)		
	Válvula principal (Si/No)		
FILTRADO	Estación de filtrado (Si/No)		
	Tipo de filtro		
CONDUCCIÓN	Válvula de alivio de aire (Si/No)		
	Tipo de tubería (material)		
	Diámetro de la tubería (pulgada)		
DISTRIBUCIÓN	Válvula de purga (Si/No)		
	Tipo de tubería (material)		
	Diámetro de la tubería (pulgada)		
APLICACIÓN	Tubería lateral con elevadores		
	Válvula de control del riego (Si/No)		
	Tipo de cabezal de campo (material)		
	Diámetro del cabezal (pulgadas)		
	Tipo de tubería lateral (material)		
	Diámetro de la tubería lateral (pulgada)		
	Tapones de lavado (Si/No)		
	Tapones de lavado por sector de riego (N.º)		
	Tubería con ventanas		
	Hidrante (Si/No)		
	Tipo de tubería (material)		
	Diámetro de la tubería (pulgada)		

Actividad 2.
Realizar la limpieza previa al riego y operar el sistema

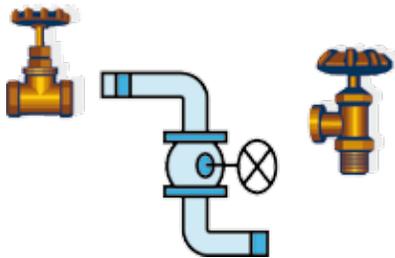
PASOS

1 Limpiar los filtros y las tuberías antes y después de cada evento de riego



- **Para lavar los filtros** utilice agua abundante y un cepillo de cerdas suaves.
- **Para lavar las tuberías** retire uno a uno los tapones de lavado del sector de riego. Abra lentamente el paso del agua al lateral y déjela fluir hasta cuando salga cristalina.

2 Verificar el caudal del sistema y la entrada de agua a los surcos



Abra lentamente la válvula principal y luego, una por una, las válvulas de control del riego; verifique y destape los elevadores.

3 Registrar los datos de la actividad



Complete el formulario de limpieza, operación y mantenimiento del sistema de riego.

Limpieza, operación y mantenimiento del sistema de riego

Información básica

Ingenio:
Hacienda:
Suerte:
Forma de riego:
Modalidad de riego:

Registro de limpieza y mantenimiento

ACTIVIDAD	RESULTADO	OBSERVACIONES
Limpieza de filtros:		
- Antes del riego (Si/No)		
- Tipo de material encontrado		
- Frecuencia de lavado de filtros		
Limpieza de tuberías:		
- Retiro de tapones (Si/No)		
- Tipo de material drenado		
- Frecuencia de lavado de tapones		
Revisión de elevadores:		
- Antes del riego (Si/No)		
- Elevadores tapados (N.º)		
Revisión de pérdidas de agua:		
- En las tuberías (Si/No)		
- En las conexiones con aditamentos (Si/No)		
- En los elevadores (Si/No)		

Registro de la operación

ACTIVIDAD	RESULTADO	OBSERVACIONES
Caudal del sistema (l/s)		
Válvulas abiertas permitidas (N.º)		
Válvulas abiertas (N.º)		
Caudal del sector (l/s)		

Unidad 2

Conozcamos el entorno diagnóstico de la condición del suelo y el terreno



Instalación de riego con tubería lateral y elevadores

Introducción

El desarrollo actual de la tecnología de riego con caudal reducido se basa en distintas pruebas y evaluaciones realizadas en plantaciones de caña de azúcar establecidas en el piedemonte de las cordilleras Occidental y Central (pendiente >3%) y en algunas zonas del valle del río Cauca de pendiente media (1-3%) y pendiente baja (<1%) donde se encuentran suelos con texturas y perfiles favorables para el avance del agua.

La conveniencia de establecer el riego con caudal reducido en un sitio determinado debe definirse de acuerdo con las características del suelo, la topografía del terreno, el diseño de campo (distancia entre surcos y longitud de los mismos), la disponibilidad de agua y las expectativas de la empresa productora de caña en cuanto a la calidad de las operaciones, la seguridad ambiental y la rentabilidad derivada del cultivo.

En esta unidad de aprendizaje se presentan los aspectos del entorno relativos a la topografía, los suelos, los aforos y la calidad del agua, la escorrentía y la erosión que deben ser objeto de reconocimiento para decidir si es conveniente o no implementar el método de riego con caudal reducido en un sitio específico dedicado al cultivo de la caña de azúcar.

Objetivos

Luego de participar en las actividades propuestas para el conocimiento del entorno (primer paso en las decisiones de instalación de un sistema de riego con caudal reducido) se espera que los participantes estén en capacidad de:

- Decidir acertadamente acerca de la viabilidad de establecer un sistema de riego con caudal reducido con base en el reconocimiento de las condiciones locales y la realización de las evaluaciones pertinentes.
- Diseñar una prueba de avance e infiltración en surcos y realizarla para determinar el caudal reducido por surco como información necesaria para planificar el sistema de riego y la lámina de agua que se debe aplicar (de acuerdo con el tiempo de avance establecido).
- Determinar el contenido de piedra en el sector de riego y realizar las correcciones necesarias en las determinaciones de la capacidad de retención de humedad y la lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA) en el suelo de interés.

Estructura de aprendizaje

Las prácticas de campo propuestas en esta unidad de aprendizaje corresponden a las pruebas y a las observaciones necesarias para determinar las condiciones del sitio donde se espera establecer un sistema de riego con caudal reducido y para evaluar la viabilidad de adoptar esta tecnología en los cultivos de caña de azúcar.



- La prueba de avance e infiltración en surcos permite determinar (en las condiciones particulares en que se realiza la prueba) la tasa de infiltración del suelo y el tiempo de avance del agua, con lo cual se consigue definir de manera simultánea el valor del caudal reducido por surco y la lámina aplicada con ese caudal.
- La determinación del contenido de piedra siguiendo la metodología indicada aporta un dato clave para la corrección de los valores definidos acerca de la capacidad de retención de humedad del suelo y, en consecuencia, de la lámina de agua rápidamente aprovechable por la caña de azúcar.

Preguntas iniciales

1. ¿Cuál de los factores siguientes es el que más influye en el buen funcionamiento del riego con caudal reducido: la textura del suelo; el caudal aplicado por surco; o la pendiente del terreno?
2. ¿Cuáles son las condiciones que se requieren en un sitio dedicado a la producción de caña de azúcar para que el método de riego con caudal reducido sea viable y adecuado en relación con el desarrollo del cultivo?
3. Al comparar dos suelos, uno de perfil homogéneo y otro de perfil estratificado ¿cómo influyen las características del perfil en el buen desempeño del riego con caudal reducido?
4. En las condiciones actuales de la agroindustria de la caña de azúcar en Colombia ¿cómo se sopesan los factores ambientales y los factores económicos relacionados con el manejo del agua en el cultivo?
5. El concepto de agricultura específica por sitio (AEPS) ¿tiene cabida en el riego de la caña de azúcar?

Condiciones del sitio

Para considerar el establecimiento de un sistema de riego con caudal reducido es necesario analizar el conjunto de variables físicas que caracterizan el entorno, algunas de ellas de difícil modificación y sobre las cuales, en algunos casos, no hay control o este es mínimo.

Topografía

Una topografía regular garantiza mayores eficiencias de aplicación de riego que una topografía irregular, cuando se trata de riego superficial; en los casos donde los terrenos han sido sometidos a nivelación de precisión, se cuenta con un factor favorable; por esta razón, debe disponerse de mapas actualizados con curvas de nivel (ojalá cada 20 cm y en escalas mayores de 1:5000).

- 1. PENDIENTE:** el gradiente se refiere a la pendiente de la superficie del terreno (**tabla 2.1**) y se determina a partir de las curvas de nivel presentes en el plano topográfico del sitio o sector de riego. Es importante realizar un registro apropiado de las variaciones mínimas del grado de pendiente, especialmente para identificar las condiciones de erosión, riego y drenaje. El riego con caudal reducido se ha probado con éxito en zonas de piedemonte con pendientes mayores del 3%, en zonas de pendientes medias entre 1 y 3% y en zonas planas con pendientes menores del 1% en la dirección de los surcos y en presencia de suelos de textura fina.

Tabla 2.1

Clases de gradiente de la pendiente (Fuente: FAO, 2009)

Clase	Descripción	Pendiente (%)
1	Plano	0 - 0.2
2	Nivel	0.2 - 0.5
3	Cercano al nivel	0.5 - 1.0
4	Muy ligeramente inclinado	1 - 2
5	Ligeramente inclinado	2 - 5
6	Inclinado	5 - 10
7	Fuertemente inclinado	10 - 15
8	Moderadamente escarpado	15 - 30
9	Escarpado	30 - 60
10	Muy escarpado	> 60

2. **ENTRESURCO:** la forma del entresurco afecta tanto la velocidad de avance del agua a lo largo del mismo como su humedecimiento transversal. Así, en pendientes altas debe preferirse un entresurco ancho y poco profundo en forma de "u" con el fin de retardar el avance del agua. En las zonas planas los entresurcos en "v" facilitan el movimiento del agua pero pueden resultar inefectivos desde el punto de vista del riego; esta forma del entresurco también puede hacer que el suelo sea susceptible a la erosión donde la pendiente es alta. En algunos ingenios azucareros del valle del río Cauca se utiliza el implemento denominado "arañita" (escardillo) para dar forma de trapecio poco profundo al entresurco, desterronar el suelo y facilitar el humedecimiento capilar y el avance del agua (**galería de imágenes 2.1**).

3. **FORMA DE LOS TABLONES:** los tablones se deben configurar de forma rectangular para facilitar las operaciones de riego y cosecha y para mejorar el rendimiento de las labores. Sin embargo, en muchos casos esto no se logra debido a la existencia de linderos y obstáculos naturales, a la falta de un diseño de campo o a imprevisiones en el diseño; en esas situaciones se presentan los denominados "serruchos" o formas irregulares que exigen tramos mayores de acequias o tuberías, incrementan los recorridos de las máquinas y los equipos agrícolas y aumentan los costos de las diferentes labores.

Galería de imágenes 2.1

Conformación de entresurcos mediante el uso del implemento "arañita"



Antes de conformar el entresurco



Entresurco conformado con el implemento "arañita"



Implemento "arañita"

Suelos

El riego con caudal reducido ha mostrado ser aplicable en terrenos de pendiente diversa, siempre que los suelos presenten texturas finas; es el caso de los suelos Corintias, Manuelita y Palmira entre otros, donde se ha registrado buen comportamiento hidráulico para el riego con caudal reducido (ver unidad 1, tabla 1.1).

Los cultivadores de caña de azúcar del valle del río Cauca cuentan con estudios detallados de suelos que son de consulta obligada antes de emprender la instalación del sistema de riego. Cenicaña ha incorporado en el Servidor de Mapas (www.cenicana.org/aeps.php) la cartografía de los suelos identificados (por ingenio, hacienda y suerte de caña) y su descripción: nombre común, clasificación taxonómica, la área que cubre, grupo textural, características del perfil y propiedades físicas y químicas; esta información y la pendiente del terreno proporcionan elementos de juicio muy valiosos para la toma de decisiones acerca de la conveniencia de implementar el sistema de caudal reducido en un sitio determinado.

1. **FAMILIA TEXTURAL:** la familia textural está definida por los porcentajes de arcilla, limo y arena que se encuentran en la sección control del perfil, complementados con la presencia de fragmentos más gruesos que la arena como constituyentes del suelo. En los estudios detallados efectuados en áreas dedicadas al cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca se detectaron 35 familias texturales, de las cuales 13 correspondieron a clases de familias texturales homogéneas y 22 a familias mezcladas o contrastantes (Quintero *et. al.*, 2008).
2. **DENSIDAD APARENTE:** la densidad aparente es la relación entre la masa y el volumen total de una muestra de suelo seco. La densidad puede ser alterada por procesos de compactación resultantes del laboreo del suelo con equipos pesados, fenómeno conocido como densificación; en esas condiciones el suelo puede ser más susceptible a la erosión porque disminuye la tasa de infiltración y aumenta la escorrentía superficial.
3. **PROFUNDIDAD EFECTIVA:** se define como la profundidad hasta donde pueden penetrar las raíces de las plantas sin obstáculo físico ni químico; en este caso se refiere a la profundidad disponible para el normal desarrollo de las raíces de la caña de azúcar, las cuales pueden profundizar hasta 100 cm (1 m). La profundidad efectiva es una consecuencia de las condiciones del suelo referidas al drenaje natural, la presencia de horizontes argílicos o compactos, la ocurrencia de cambios texturales abruptos, la presencia de fragmentos gruesos y de contenidos excesivos de sales, sodio y aluminio, entre otros aspectos (Quintero *et. al.*, 2008). La **figura 2.1** muestra la distribución de las raíces de la caña de azúcar (variedad Cenicaña Colombia: CC 84-75) en un suelo de piedemonte (consociación Italia).
4. **PERFIL:** en los suelos de textura gruesa se dificulta el avance del agua en los entresurcos y en algunos casos se imposibilita; en tanto en los suelos estratificados (con horizontes superficiales de texturas finas que reposan sobre horizontes de texturas gruesas) que presentan condiciones favorables de pendiente se logran avances del agua que permiten su recorrido en la longitud total del entresurco.

La **figura 2.2** ilustra el modo en que “los cambios en la textura del suelo actúan como una barrera temporal al movimiento del agua en el suelo” (USDA, 1997). Para explicar este fenómeno se recurre a la Segunda Ley de Movimiento del Agua en el Suelo que expresa:

“el agua fluirá a través de una interfase aire-agua sólo cuando el potencial de presión sea suficientemente mayor que cero como para superar la tensión superficial del fluido”.

Figura 2.1

Distribución de raíces de caña de azúcar en un suelo de piedemonte

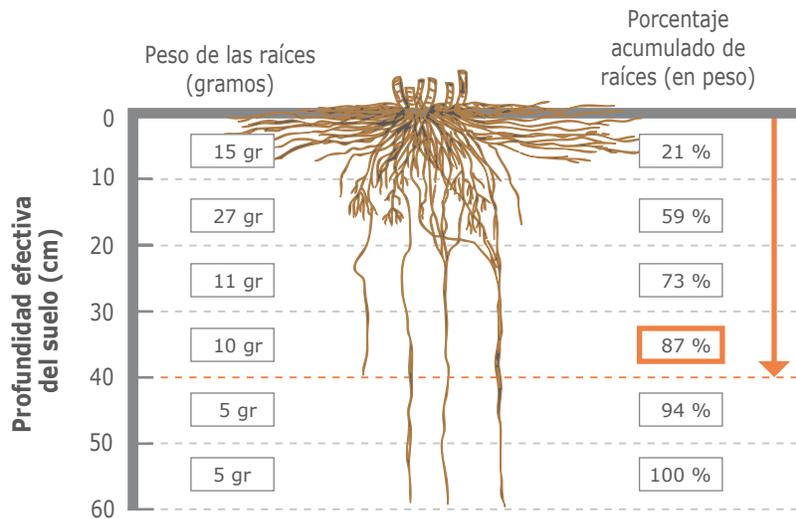
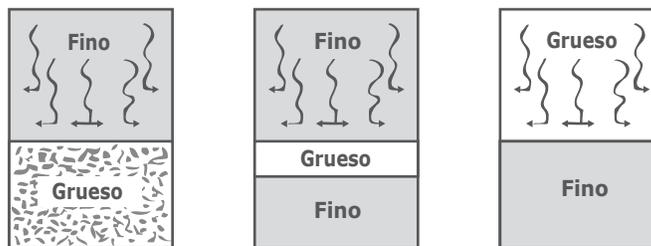


Figura 2.2

Movimiento del agua en suelos estratificados (adaptado de USDA, 1997)



Los cambios en la textura del suelo actúan como una barrera temporal al movimiento del agua en el suelo: un suelo fino reposando sobre suelo grueso, o viceversa, tiene que estar muy húmedo antes de que el agua se mueva hacia abajo a través del subsuelo. En estas condiciones, el horizonte superior del suelo llega a contener hasta tres veces más agua que la que pudiera contener en suelos más uniformes.

Si los suelos tienen distintos horizontes se debe monitorear la humedad de cada horizonte separadamente

- 5. PROFUNDIDAD DEL HORIZONTE SUPERIOR:** la profundidad del horizonte superior es importante para el almacenamiento del agua y la provisión de nutrimentos para el crecimiento de las plantas. En general, la remoción del horizonte superficial es determinante en la pérdida de la fertilidad del suelo y su capacidad de retención de agua, el contenido de carbono orgánico y la productividad de los cultivos. La medición continua en el tiempo de la profundidad del horizonte superficial permite estimar la pérdida de suelo, es decir, la erosión (USDA, 1999). La labranza vertical es la operación de campo que más afecta las propiedades hidráulicas de este horizonte. En las investigaciones realizadas por Cenicaña en la hacienda Vallecito (suelo Nima, de textura francosa fina sobre esquelética arenosa, donde se hicieron pruebas de la infiltración en los surcos durante riegos sucesivos con caudal reducido, se detectaron cambios en las propiedades hidráulicas del suelo con el paso del tiempo. Los cambios se muestran en términos de la lámina infiltrada en cada uno de los seis riegos realizados durante un ciclo de cultivo.
- 6. CONTENIDO DE PIEDRA:** los suelos de piedemonte, formados por deposiciones sucesivas de materiales provenientes de las cordilleras, poseen altos contenidos de piedra que afectan directamente su capacidad de retención de humedad e indirectamente, otros parámetros como la frecuencia de riego. Por estas razones es necesario evaluar el contenido de piedra de los suelos y descontar su volumen del volumen total de suelo.
- La presencia de fragmentos rocosos, su origen y su estado de desarrollo influye en la disponibilidad de nutrimentos, en el movimiento del agua y en el manejo del suelo. La **tabla 2.2** muestra la clasificación elaborada por la FAO (2009) acerca de los fragmentos rocosos en el suelo de acuerdo con su abundancia.

Tabla 2.2

Abundancia (%) de fragmentos rocosos en el suelo,
en volumen (Fuente: FAO, 2009)

Descripción	Abundancia (%)
Ninguno	0
Muy pocos	0 - 2
Pocos	2 - 5
Común	5 - 15
Muchos	15 - 40
Abundante	40 - 80
Dominante	> 80
Línea rocosa	cualquier contenido, pero concentrado a distinta profundidad del horizonte

7. CONSTANTES DE HUMEDAD: las definiciones a continuación fueron tomadas del Boletín de suelos de la FAO, N.º 79 (Shaxson y Barber, 2005):

- **Saturación:** contenido de agua del suelo cuando prácticamente todos los poros están llenos de agua. En los suelos bien drenados es un estado temporal puesto que el exceso de agua drena de los poros grandes para ser reemplazada por aire, por influencia de la gravedad.
- **Capacidad de campo (CC):** cantidad relativamente constante de agua que contiene un suelo saturado después de 48 horas de drenaje. Aunque el drenaje ocurre por la transmisión del agua a través de los poros de diámetro >0.05 mm, la capacidad de campo puede corresponder a poros de diámetro entre 0.03 mm y 1 mm. El concepto de capacidad de campo designa únicamente suelos bien estructurados, donde el drenaje del exceso de agua es relativamente rápido. Si el drenaje ocurre en suelos pobremente estructurados, por lo general continúa durante varias semanas; por esta situación es raro que este tipo de suelos (de estructura tan pobre) tengan una capacidad de campo claramente definida. La mejor alternativa para determinar la capacidad de campo es saturando el suelo directamente en el campo, donde se mide el contenido de agua después de 48 horas de drenaje. El suelo que se encuentra "a capacidad de campo" se siente muy húmedo al tacto con las manos.
- **Punto de marchitez permanente (PMP):** contenido de agua de un suelo que ha perdido toda su agua a causa del cultivo y, por lo tanto, el agua que permanece en el suelo no está disponible para el mismo. En esa condición, la planta de cultivo está permanentemente marchita y no puede revivir aun cuando se coloque en un ambiente saturado de agua. El suelo que se encuentra en su "punto de marchitez permanente" se siente casi seco o muy ligeramente húmedo al tacto con las manos.
- **Capacidad de retención de humedad:** en el Boletín de suelos de la FAO, es la cantidad de agua disponible para el crecimiento de las plantas y se encuentra entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente.

Infiltración

De acuerdo con la Guía para la evaluación de la calidad del suelo (USDA, 1999), la infiltración es el paso vertical del agua al interior del suelo a través de su superficie. La velocidad a la cual el agua entra en el suelo es la velocidad de infiltración, que depende de la textura, de la estructura o grado de agregación del suelo y del contenido de humedad (Lowery *et al.*, 1996). Cuando el suelo ha estado en contacto con el agua durante un tiempo largo, la velocidad de infiltración se aproxima al valor conocido como tasa básica de infiltración, valor importante en el diseño de sistemas de riego superficial y de aspersión.

El contenido inicial de agua del suelo, al momento de la medición, afecta la capacidad del suelo de absorber agua adicional, por esto la velocidad de infiltración es mayor cuando el suelo está seco que cuando está húmedo. Este factor es importante al comparar mediciones de infiltración de suelos diferentes por lo cual los suelos deberían tener un contenido de humedad similar cuando se realizan las mediciones.

La labranza afecta la velocidad de infiltración; inmediatamente después de la labranza puede manifestarse una mayor infiltración, debido al aflojamiento de costras superficiales o de zonas compactadas. La labranza afloja el suelo (**figura 2.3**); sin embargo, a su vez rompe agregados y deteriora la estructura del suelo, de modo que crea el potencial para el desarrollo de compactación, encostramiento superficial y pérdida de poros continuos conectados con la superficie. Los suelos compactados poseen menos espacio poroso, lo que determina menores velocidades de infiltración. Los suelos que tienden a formar costras que sellan la superficie pueden presentar velocidades de infiltración fuertemente aminoradas.

El régimen de infiltración es sensible a condiciones cercanas a la superficie y está sometido a un cambio significativo debido al uso del suelo, el manejo y el tiempo. Está afectado por el desarrollo de las raíces de las plantas, huecos de lombrices, agregación del suelo y por un incremento general de la materia orgánica estable (Sarantonio *et al.*, 1996). La infiltración es rápida en grandes poros continuos; en la superficie, la infiltración decrece cuando el tamaño o cantidad de espacios porosos son aminorados por condiciones tales como destrucción de la estructura, taponamiento de poros por partículas o movimientos más lentos de aguas más profundas cuando llegan a subsuelos más densos (Donahue *et al.*, 1997).

La textura o porcentaje de arena, limo y arcilla, afecta el régimen de infiltración; usualmente, los suelos arenosos presentan regímenes de infiltración rápidos.

Los valores pueden ser más bajos si existe encostramiento superficial (Hillel, 1982). La estructura del suelo influye fuertemente el movimiento del agua hacia la profundidad del suelo. La **tabla 2.3** muestra las velocidades y las clases de infiltración; estas clases son las usadas en el reconocimiento edafológico por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales (*soil survey*) (USDA, 1997). Las clases son estimadas a partir de propiedades del suelo y se refieren a una velocidad de infiltración estable.

Figura 2.3

Lámina infiltrada y número de riegos recibidos por el cultivo

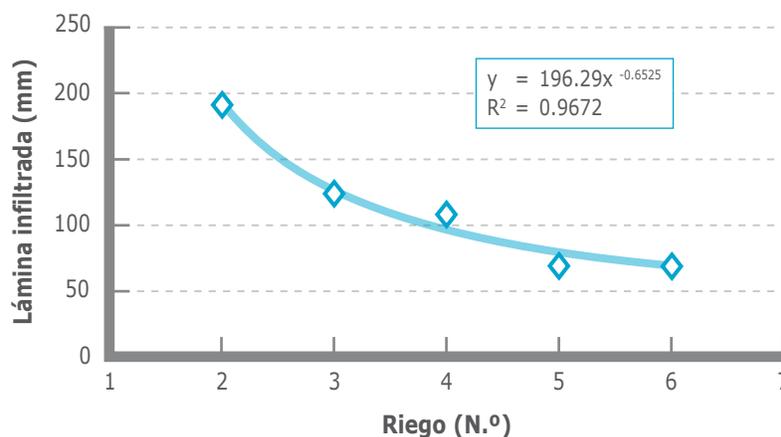


Tabla 2.3

Velocidad de infiltración del agua en el suelo y su descripción de clase (Fuente: USDA, 1997)

Velocidad de infiltración (cm/hora)	Clase* de infiltración
> 50.8	Rápida
50.8 – 15.24	Moderadamente rápida
15.24 – 5.08	Moderada
5.08 – 1.52	Moderadamente lenta
1.52 – 0.51	Lenta
0.51 – 0.0038	Muy lenta
< 0.0038	Impermeable

* Las clases son estimadas a partir de propiedades del suelo y se refieren a una velocidad de infiltración estable.

Aforos

En este aparte se presenta el método volumétrico sugerido para la medición del caudal aplicado en los entresurcos y las consideraciones principales para tener en cuenta acerca de la calidad del agua utilizada en el riego con caudal reducido.

- 1. AFORO VOLUMÉTRICO:** la medición del caudal se puede realizar de forma manual utilizando un cronómetro y un recipiente aforado, generalmente un balde. El procedimiento consiste en recoger un volumen de agua cualquiera, *Vol*, midiendo el tiempo transcurrido, *t*, desde que el recipiente se coloca en el punto de descarga hasta que se retira de él; la relación entre los dos valores permite conocer el caudal, *Q*, en ese lapso. Se debe tener un cuidado especial en el registro del tiempo para asegurar la precisión del aforo. Se deben realizar al menos tres mediciones y calcular el promedio con base en ellas. La fórmula para calcular el caudal es la siguiente:

$$Q = \frac{\text{Vol}}{t}$$

Donde:

Q caudal, en litros por segundo (l/s)

Vol volumen, en litros (l)

t tiempo, en segundos (s)

El método volumétrico tiene la ventaja de ser sencillo; es confiable siempre y cuando se garantice que todo el volumen de agua que entrega la descarga llega al recipiente de aforo.

2. CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO: la calidad del agua varía según la fuente de captación y el propósito de uso, de modo que puede requerir tratamiento y adecuación según se destine al consumo doméstico, agrícola o industrial. Una forma común de establecer el grado de calidad del agua dulce es determinando la cantidad total de sólidos disueltos (TSD) o midiendo la conductividad eléctrica (CE). Se puede afirmar que la CE es un indicador del TSD en el agua; la relación CE:TSD puede variar dependiendo de la distribución de los principales constituyentes disueltos. El uso de sondas electrónicas que miden ambos indicadores exige que se considere una relación constante entre la conductividad y el total de sólidos disueltos.

- **Conductividad eléctrica (CE) y salinidad:** la conductividad eléctrica expresa la capacidad de una sustancia (en términos de resistencia) para conducir una corriente eléctrica a través de los sólidos disueltos. La salinidad es una medida de la cantidad de sales disueltas en agua. La salinidad y la conductividad están relacionadas porque la cantidad de iones disueltos aumentan los valores de ambas

En el agua de riego, la concentración de determinadas sales minerales puede afectar el desarrollo de las plantas y, si la concentración es alta, puede causar daños en las tuberías por corrosión y taponamiento.

A manera de ejemplo, en la **tabla 2.4** se muestran las consideraciones generales indicadas desde 1973 por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, sigla en inglés) acerca de la calidad del agua de riego en regiones áridas y semi-áridas. En estas zonas el agua es el principal factor limitante de la producción biológica; con una precipitación anual entre 200–1000 mm/año, se reconocen como áreas ambientalmente marginales.

Tabla 2.4

Lineamientos de orden general acerca de la salinidad en agua de riego en regiones áridas y semi-áridas (Fuente: US EPA, 1973)

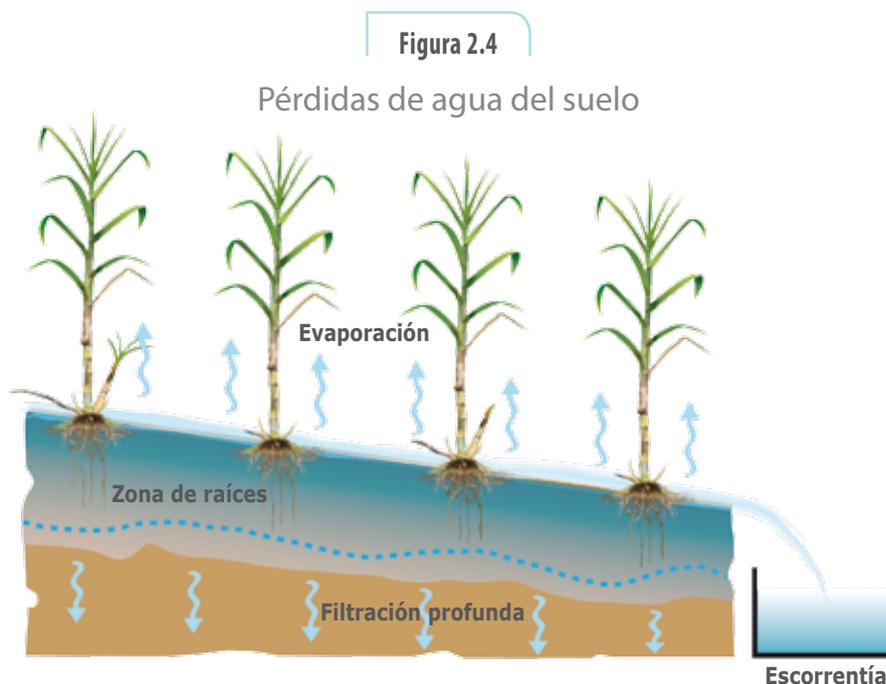
Lineamientos generales acerca del agua de riego	Conductividad eléctrica* (dS/m)	Total de sólidos disueltos (mg/l)
Usualmente no se notan efectos	0.75	500
Puede tener efectos negativos en cultivos sensibles	0.75 - 1.50	500 - 1000
Puede tener efectos adversos sobre muchos cultivos: requiere manejo cuidadoso	1.50 - 3.00	1000 - 2000
Puede ser usada para plantas tolerantes sobre suelos permeables, con un manejo cuidadoso	3.00 - 7.50	2000 - 5000

* La unidad de medida de la conductividad es: deci-Siemens por metro (dS/m)

- Nitratos y nitritos en el agua:** estas sales que contienen nitrógeno pueden afectar la calidad del agua. La concentración de nitritos en fuentes de agua es generalmente muy baja, lo cual es una ventaja. En aguas superficiales y subterráneas los nitratos se encuentran con más frecuencia y se reconoce que los escurrimientos y lixiviados urbanos y agrícolas contribuyen para ello. Los nitratos en aguas superficiales pueden llevar a un incremento en el estado de nutrientes de las aguas naturales, el cual se conoce con el nombre de eutroficación. El nivel de nitrógeno que puede inducir la eutroficación varía dependiendo de la relación con el fósforo; se ha comprobado que en agua donde el fósforo total (mayormente fosfatos) es mayor que 0.10 ppm (partes por millón) se produce un crecimiento acelerado y excesivo de algas y plantas acuáticas que provocan el agotamiento de oxígeno disuelto, incremento de la turbidez y, progresivamente, la degradación general de la calidad del agua (Pierzynski *et al.*, 1994 en USDA, 1999).

Escorrentía

Representa la cantidad de agua de lluvia o riego que cae en la superficie del suelo pero que no puede infiltrarse y por lo tanto corre sobre la superficie sin ser aprovechada por el cultivo (**figura 2.4**). Esta cantidad puede ser grande en algunos sistemas de riego por superficie (principalmente riego por surcos) y es poco frecuente que se produzca en riegos por aspersión bien diseñados y bien manejados. En el riego localizado, particularmente en el caudal reducido, por lo general no hay escorrentía o es mínima. En las evaluaciones realizadas por Cenicaña en suelos de la consociación Italia se determinaron pérdidas de agua de escorrentía al final de los surcos menores que 1% de la cantidad aplicada en la cabecera (**cuadro 2.1; galería de imágenes 2.2**)



Cuadro 2.1

Pérdidas de agua por escorrentía en riego superficial con caudal reducido
(suelos Italia, fincas Los Ranchos e Italia-Molinarie)

Modalidad de riego	Volumen aplicado en la cabecera de los surcos (litros)	Volumen medido al final de los surcos (litros)	Pérdidas de agua por escorrentía (%)
Surco alterno-alterno	2,736	17	0.64
Surco alterno-alterno	3,247	31	0.96
Surco alterno	15,921	7	0.05
Surco continuo	13,248	32	0.24
Surco continuo	13,248	30	0.20

Galería de imágenes 2.2

Aforo de escorrentía del riego con caudal reducido



Erosión

La erosión es el desgaste de la superficie terrestre por la acción de agentes externos como el agua (erosión hídrica) o el aire (erosión eólica), aunque también puede ocurrir por el desplazamiento de hielos. Ocurre principalmente en suelos secos y desprovistos de vegetación, donde los agentes erosivos causan el desprendimiento de partículas y organismos individuales de la masa de suelo y luego les sirven de medio de transporte. La erosión reduce la fertilidad del suelo, provocando la pérdida de minerales y materia orgánica.

Los cambios en el espesor del horizonte superior del suelo (capa arable) son usualmente el resultado de erosión por viento, agua, deposición de material o nivelación del terreno. Los suelos erosionados comúnmente presentan una capa arable rebajada. Aunque también puede ocurrir erosión natural (en ausencia de alteraciones antrópicas), de acuerdo con el USDA (1999) es la erosión acelerada, causada por las aradas, quemas, sobrepastoreo y otras prácticas de manejo, la que remueve la cubierta vegetal protectora y determina la pérdida de calidad del suelo. En general, los factores siguientes influyen en la erosión: la lluvia, el escurrimiento superficial y sus características; la topografía; el tipo de suelo y la cubierta vegetal. El flujo de sedimentos a cauces de agua, producto de la erosión por riego, ha sido identificado como uno de los principales contaminantes de aguas superficiales. A continuación se describen los efectos del riego superficial y del riego por aspersión en la erosión del suelo.

- 1. RIEGO SUPERFICIAL:** en este sistema de riego el agua es aplicada directamente sobre la superficie del suelo y la mayor parte de la erosión ocurre cuando el flujo se concentra en los entresurcos. Los factores principales de erosión hídrica por riego superficial son la tasa de infiltración, la pendiente del terreno y el tipo de suelo. El control de esta forma de erosión es relativamente simple desde el punto de vista técnico; los efectos del riego se pueden aminorar controlando el caudal del agua a aplicado en los entresurcos, construyendo estructuras superficiales en las acequias de riego o manteniéndolas permanentemente con vegetación. En el riego con caudales altos aplicados en la superficie se debe manejar en forma adecuada la entrega del agua a los entresurcos mediante el control apropiado del tiempo de avance, que permita satisfacer las necesidades hídricas del suelo de acuerdo con los requerimientos del cultivo.
- 2. RIEGO POR ASPERSIÓN:** en este sistema de riego el agua es arrojada al aire con un aspersor y cae sobre la superficie del suelo en forma de lluvia. La erosión ocurre cuando la tasa de aplicación de agua es mayor que la tasa de infiltración del suelo, lo que generalmente ocurre en el extremo de un sistema de pivote central (**galería de imágenes 2.3**).

Galería de imágenes 2.3

Escorrentía en riego por aspersión



Orientaciones para el facilitador

Práctica 2.1. Prueba de avance e infiltración en surcos

A continuación se presentan las orientaciones para desarrollar esta práctica de campo. Los objetivos de aprendizaje y la secuencia de la actividad se presentan en las instrucciones para los participantes. Como parte de las orientaciones para el facilitador, se incluyen algunas recomendaciones para la dinámica de retroinformación que debe llevarse a cabo una vez finalizan las actividades de campo.

El facilitador puede seguir estas orientaciones o ajustar la práctica según su criterio, siempre que se logren los objetivos de aprendizaje propuestos. El tiempo previsto para la actividad son tres horas.

Sugerencias para organizar la práctica

- 1. Seleccionar un sitio** donde se cuente con una instalación de riego con caudal reducido; la forma de aplicación del agua puede ser: tubería lateral con elevadores; tubería (politubular o PVC) con ventanas o compuertas; o acequia de cabecera con tubos cortos.
- 2. Recopilar la información básica** de las suertes, incluidos el plano topográfico y el mapa de suelos con la descripción del perfil: www.cenicana.org/aeps/servidor_mapas.php



Tubería con ventanas

- 3. Preparar un plan de acción** para el desarrollo de la práctica. Recorrer la instalación para ubicar los puntos de trabajo de cada grupo (tres surcos por grupo; cada grupo de cinco personas); se sugiere contar con el apoyo de otros facilitadores para acompañar a cada grupo en el sitio asignado.
- 4. Garantizar el agua necesaria** en los sectores de riego: al menos 5 l/s.
- 5. Consultar información técnica** para dirigir la práctica con seguridad y para responder las inquietudes de los participantes. Tener disponible el video elaborado por Cenicaña con las indicaciones para realizar la prueba de avance e infiltración en surcos; se encuentra en: www.cenicana.org/pat

RECURSOS NECESARIOS

Para el facilitadores:

- Equipos móviles de comunicación
- Cronograma de actividades
- Datos de la persona que apoyará a cada grupo de trabajo en el sitio asignado para la prueba (si es necesario)
- Recursos didácticos (video) para apoyar la demostración del procedimiento de prueba en caso necesario.

Cada cada participante:

- Plano topográfico de las suertes y los sectores de riego, preferible a escala 1:2000
- Mapa de suelos con información del perfil (estudio detallado)
- Resumen técnico (unidad 2)
- Instrucciones para los participantes
- Formulario de registro de datos
- Hojas de papel en blanco y lápiz.

Para cada grupo:

- Una regla escala
- Un borrador, un sacapuntas y un marcador de tinta permanente
- Seis botellas de un litro de capacidad (plásticas, limpias y con tapa)
- Seis mimbres para marcar las botellas
- Un cronómetro (o un reloj con segundero)
- Un balde aforado para 10 litros
- Una probeta de 1000 mililitros
- Una cinta métrica (al menos de 20 m)
- 20 estacas de 50 cm de longitud
- Un mazo
- Una pala
- Un nivel de mano
- Tres láminas perforadas (aforo en surco)
- Tres tubos cortos de PVC de 1 m de longitud y de diferente diámetro (pulgadas): (1/2"), (3/4") y (1")

Deben estar disponibles oportunamente:

- Equipo de nivelación de precisión con mira
- Medidor de humedad portátil.

Orientaciones para la dinámica de retroinformación

Al finalizar la prueba de avance e infiltración por surcos se lleva a cabo el cierre de la práctica, invitando a los participantes para que compartan sus experiencias y comenten sus observaciones acerca de los resultados obtenidos. Las siguientes preguntas pueden ser formuladas por el facilitador para motivar la participación y conducir la dinámica:

1. ¿Encontró alguna relación entre los resultados y la familia textural del suelo objeto de la prueba?
2. ¿Considera que la pendiente del terreno influyó en la tasa de infiltración?
3. ¿Cuál es el valor del caudal por surco que usaría para diseñar el sistema de riego con caudal reducido?
4. ¿Cómo explica el valor de la lámina infiltrada (hasta 40 m) que resultó de la prueba?

Práctica de campo

Instrucciones para los participantes

Prueba de avance e infiltración en surcos



Recurso digital

www.cenicaña.org/pat

Objetivos

Al finalizar la práctica de campo los participantes tendrán destreza para:

1. Realizar aforos por el método volumétrico
2. Establecer la tasa de infiltración del suelo
3. Evaluar el efecto erosivo del caudal aplicado
4. Encontrar el caudal requerido según el tipo de suelo, la pendiente del terreno, la longitud de los surcos y la distancia entre ellos
5. Determinar la aplicabilidad del sistema de riego con caudal reducido en sitios específicos

Actividades

La jornada de campo se desarrolla en un sitio adecuado a los objetivos de aprendizaje.

La dinámica consiste en realizar una prueba de avance e infiltración en surcos en un sector de riego con caudal reducido. Esta prueba es necesaria para conocer la aplicación potencial del riego con caudal reducido en un sitio en particular; a través de ella se puede conocer la tasa básica de infiltración del suelo y estimar el caudal por surco que resulta más apropiado; además,



Instalación de tubos cortos en acequia de riego

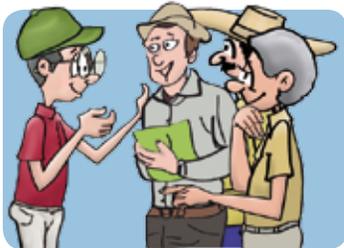
es indicada para realizar observaciones acerca de: la pendiente de los entresurcos y su uniformidad; la presencia de depresiones en el terreno, las cuales demoran o imposibilitan el avance del agua; la localización de zonas con piedra o inclusiones de suelos de textura gruesa en suelos de textura fina; la forma del aporque más conveniente; y el modo en que ocurre la distribución capilar de la humedad transversal a los surcos.

Los participantes trabajan en grupos de cinco personas y deben contar con tres entresurcos de riego para realizar la prueba.

Documentos adjuntos

- 📄 Resumen técnico (unidad 2): "Conozcamos el entorno"
- 📄 Plano topográfico del sector de riego y mapa de suelos con información del perfil
- 📄 Formulario para el registro de datos

Consejos prácticos



Haga parte de un equipo

Intégrese con cuatro personas más y acuerden cómo van trabajar



Revise los documentos

Identifique los materiales antes de comenzar las actividades



Descargue el video

Aprenda cómo realizar la prueba de avance desde: www.cenicana.org/pat

NUESTRO EQUIPO ¿Quiénes somos?

Nombre del equipo:

.....

Integrantes:

.....

.....

.....

Pasos preparatorios

1 Ubicar tres surcos para la prueba

- Siga las indicaciones del facilitador para identificar el sitio designado (tres surcos) y los cuidados que deben tener quienes participan en la prueba.

2 Marcar cuatro estaciones de medición en cada surco

- Necesita 15 estacas (cinco por cada surco), un mazo y una cinta métrica.
- En cada surco: clave la primera estaca en posición vertical en la cabecera del surco (estación N.º 1) y continúe con las cuatro restantes, ubicándolas cada 10 metros y hasta cubrir 40 m del surco (estación N.º 5). Vale aclarar que en lotes comerciales la prueba abarca un área mayor y por tanto las estaciones quedan más distanciadas y llegan hasta el final del surco

3 Determinar la cota (altura) de cada estación y la pendiente entre ellas

- Necesita un equipo de nivelación de precisión y el formulario de registro de datos.
- En cada surco: determine la cota de cada estación y la pendiente del surco entre una estación y la siguiente. Registre los datos en el formulario.

4 Completar los datos básicos del sector de riego en el formulario

- Necesita el plano topográfico, la regla escala, el mapa de suelos, la información del perfil y el formulario.
- Siga las indicaciones del facilitador para completar la información básica acerca del sector de riego.

Pasos para la prueba de avance e infiltración

1 Ajustar el caudal en cada surco de evaluación y registrar la hora de inicio del riego

Necesita un reloj con segundero, un balde aforado (10 l), una probeta (1000 ml) y tres tubos cortos de diferente diámetro (opcional). Siga las indicaciones para el aforo (resumen técnico: unidad 2) y registre los resultados en el formulario.

- Para la prueba de avance e infiltración es necesario que cada uno de los surcos evaluados conduzca un caudal diferente, así:
 - Surco 1: caudal bajo < 0.1 l/s
 - Surco 2: caudal medio entre 0.1 – 0.4 l/s
 - Surco 3: caudal alto > 0.4 l/s
- En la tubería de PVC y politubular se debe graduar la apertura de las compuertas para regular el caudal por surco. Si se utilizan tubos cortos de PVC en una acequia, se ubican en posición horizontal y sumergidos 10 cm; utilice en cada surco un tubo de diámetro diferente para regular el caudal (alto, medio o bajo)

2 Medir el caudal de entrada en cada surco y registrar los datos precisos en el formulario. Anote los valores del volumen recogido (*Vol*) y el tiempo requerido (*t*) para calcular el caudal (*Q*) mediante la fórmula:

$$Q = \frac{Vol}{t}$$

3 Apuntar la hora en que llega el agua a cada estación y la hora de salida al final del surco. Anote en el formulario el momento preciso de llegada a cada estación (hora: minuto: segundo). En esta práctica, la estación N.º 5 simula el "final del surco" y por tanto el registro de tiempo corresponde a la "hora de salida del agua".**4 Determinar la tasa básica de infiltración.** Coloque una lámina perforada a manera de aforador en la estación N.º 5 para determinar el "caudal de salida al final del surco".

- Mida el caudal de salida con diversos intervalos (de tiempo) hasta que el caudal sea constante. Registre en el formulario este valor constante.

Continúa

Continuación. Prueba de avance e infiltración en surcos

- Determine la tasa de infiltración del agua en cada surco como la diferencia entre el caudal de entrada (Q_e) y el caudal de salida (Q_s) dividida entre el área de cada surco; exprese el valor en términos de la altura del agua en tiempo (milímetros por hora: mm/h). Utilice la fórmula siguiente y registre el resultado en el formulario (tenga presente estas equivalencias: 1 hora = 3600 segundos; y 1 mm = 1 l/m²)

$$\text{Tasa de infiltración (mm/h)} = \frac{(Q_e - Q_s) * 3600}{S * L}$$

Donde:

Q_e caudal de entrada al surco (l/s)

Q_s caudal de salida constante al final del tramo evaluado (l/s)

S distancia entre surcos (m)

L longitud de surco (m)



Lámina perforada para aforo

- 5 Determinar la lámina de agua aplicada de acuerdo con el caudal y el área regada.** Realice el cálculo como se indica a continuación y registre el resultado en el formulario.

$$\text{Lámina aplicada (mm)} = \frac{Q * t}{A} * 3600$$

Donde:

Q caudal aplicado por surco (l/s)

t tiempo de riego (horas)

A área regada (m²), producto de la distancia entre surcos por la longitud de surco (tramo evaluado en esta práctica: 40 m)

- 6 Establecer la calidad del agua (arrastre de sedimentos) tomando muestras para llevarlas al laboratorio.** Necesita seis botellas limpias y con tapa (dos por surco), rótulos suficientes y un marcador de tinta permanente.

- Realice el muestreo de agua en cada surco llenando una botella con el 'agua de entrada' y otra con el 'agua de salida'; tome el agua de salida sólo cuando el caudal que pasa por la lámina perforada sea constante.
- Verifique la información que identifica cada muestra.
- Lleve las muestras al laboratorio para el análisis de calidad de agua.

Prueba de avance e infiltración en surcos

Información básica

Fecha:	Hacienda:				
Ingenio:	Suerte:				
Fuente de agua:	Forma de aplicación:				
Aporque (Si/No):	Modalidad de riego:				
Sector de riego					
Suelo	Textura	Profundidad efectiva (cm)	Pendiente (%)	Longitud de surcos (m)	Distancia entre surcos (m)
Estado de humedad del suelo antes del riego:					

COTA (m)		Surco 1	Surco 2	Surco 3
	Estación N.º 1 (0 m)			
	Estación N.º 2 (10 m)			
	Estación N.º 3 (20 m)			
	Estación N.º 4 (30 m)			
	Estación N.º 5 (40 m)			

PENDIENTE ENTRE ESTACIONES (%)		Surco 1	Surco 2	Surco 3
	Estación N.º 1 – N.º 2			
	Estación N.º 2 – N.º 3			
	Estación N.º 3 – N.º 4			
	Estación N.º 4 – N.º 5			

Continúa

Continuación. Prueba de avance e infiltración en surcos

PRUEBA DE AVANCE E INFILTRACIÓN		Surco 1	Surco 2	Surco 3
Hora de inicio del riego (hh:mm:ss)				
Caudal de entrada (Qe) en la Estación N.º 1 (l/s)				
Volumen recogido (litros)				
Tiempo requerido (segundos)				
Descripción del caudal (alto, medio o bajo)				
Hora en que llega el agua a cada estación (hh:mm:ss)	Estación N.º 1 (0 m)			
	Estación N.º 2 (10 m)			
	Estación N.º 3 (20 m)			
	Estación N.º 4 (30 m)			
	Estación N.º 5 (40 m)			
Hora de salida del agua (hh:mm:ss)				
Caudal de salida (Qs) en la estación N.º 5 (l/s)				
Volumen recogido (litros)				
Tiempo requerido (segundos)				
Tasa de infiltración en surcos (mm/hora)				
Lámina aplicada en el surco (mm)				
Muestreo de calidad de agua (Si/No)				
Observaciones:				

Orientaciones para el facilitador

Práctica 2.2. Determinación del contenido de piedra del suelo

A continuación se presentan las orientaciones para desarrollar esta práctica de campo. Los objetivos de aprendizaje y la secuencia de la actividad se presentan en las instrucciones para los participantes. Como parte de las orientaciones para el facilitador, se incluyen algunas recomendaciones para la dinámica de retroinformación que debe llevarse a cabo una vez finalizan las actividades de campo.

El facilitador puede seguir estas orientaciones o ajustar la práctica según su criterio, siempre que se logren los objetivos de aprendizaje propuestos. El tiempo previsto para la actividad son dos horas.

Sugerencias para organizar la práctica

1. **Seleccionar una suerte y ubicar los sitios de muestreo.** En cada sitio excavar una calicata para que los participantes tomen las muestras necesarias.
2. **Recopilar la información básica de la suerte,** incluidos el plano topográfico y el mapa de suelos con la descripción del perfil: www.cenicana.org/aeps/servidor_mapas.php
3. **Preparar un plan de acción para el desarrollo de la práctica.** Explicar previamente la metodología que se llevará a cabo.
4. **Consultar información técnica para dirigir la práctica** con seguridad y para responder las inquietudes de los participantes.
5. **Preparar los materiales y la logística para el evento de capacitación.** Las calicatas deben estar listas antes de la práctica.



Suelo de la consociación El Alto, de textura arcillosa sobre esquelética arcillosa

RECURSOS NECESARIOS

Para el facilitador:

- Cronograma de actividades
- Datos de la persona que apoyará a cada grupo de trabajo en cada sitio de muestreo (si es necesario)
- Recursos didácticos para apoyar la demostración del procedimiento.

Para cada participante:

- Mapa de suelos con información del perfil (estudio detallado)
- Resumen técnico (unidad 2)
- Instrucciones para los participantes
- Formulario para registro de datos
- Hojas de papel en blanco y lápiz.

Para cada grupo:

- Un borrador y un sacapuntas
- Un marcador de tinta permanente
- Agua suficiente para el procedimiento
- Guantes y monogafas
- Bolsas plásticas para muestras de suelo
- Membretes para marcar las muestras
- Un balde aforado (10 litros)
- Una probeta de 1000 mililitros
- Una cinta métrica (al menos de 20 m)
- Una pala o un palín
- Un tamiz de 3.2 mm (para separar el suelo de la piedra)
- Un equipo con GPS para georreferenciar los sitios de muestreo

Orientaciones para la dinámica de retroinformación

Al finalizar la jornada de campo el facilitador invita a los participantes para que compartan sus experiencias y comenten sus observaciones acerca de los resultados obtenidos. Para conducir la dinámica les formula las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es el tipo de suelo y la zona agroecológica que caracterizan el sitio donde se hicieron las determinaciones del contenido de piedra?
- De acuerdo con los resultados que obtuvo ¿Cuál es la capacidad de retención de humedad de ese suelo en los primeros 60 cm de profundidad?
- ¿Cuál es el valor de LARA? Exprese la equivalencia en mm y en m³/ha
- ¿Cuál es la frecuencia de riego que propone para el cultivo de caña de azúcar en el sitio de la práctica?

Práctica de campo

Instrucciones para los participantes

Determinación del contenido de piedra del suelo



Recurso digital

www.cenicana.org/pat

Objetivo

Al finalizar la práctica de campo los participantes estarán en capacidad de:

- Utilizar los datos del contenido de piedra de un suelo para ajustar la lámina útil y la lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA) en la planeación del riego.

Actividades

Organizados en grupos de cinco integrantes, los participantes trabajarán en una calicata (que ha sido excavada con anterioridad) con el propósito de tomar muestras de suelo y piedra para luego calcular el volumen de agua que mejor se aproxima al contenido presente en el suelo.



Perfil de un suelo de piedemonte

En gran parte de los suelos del piedemonte y en ciertos sitios de la zona plana se presentan altos contenidos de piedra que, en algunos casos, alcanzan valores cercanos al 50% en volumen y disminuyen en esa proporción la capacidad de retención de humedad del suelo; por esta razón es necesario conocer su valor, para descontarlo de los valores estimados de la LARA y tomar las precauciones en el ajuste de la frecuencia en los procesos de planificación y operación del riego.

Pasos para determinar el contenido de piedra del suelo

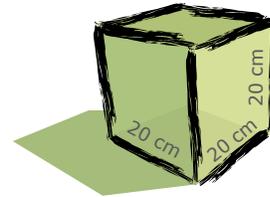
Al llegar al campo de práctica el facilitador le indica a cada grupo su sitio de trabajo y le hace entrega de los materiales necesarios para llevar a cabo el procedimiento de muestreo. Cada grupo debe registrar los resultados de las mediciones en el formulario adjunto.

1 Identificar los horizontes del perfil y los puntos de muestreo en la calicata

- Registre las coordenadas geográficas del sitio de la calicata utilizando preferiblemente un sistema de posicionamiento global (GPS).
- Observe los horizontes y demarque hasta seis puntos de muestreo que sean representativos del perfil.

2 Tomar las muestras y marcarlas debidamente

- Cada grupo debe tomar entre cuatro y seis muestras de suelo y piedra en los distintos horizontes del perfil.
- Utilice la cinta métrica y el palín para tomar una muestra de suelo y piedra que corresponda al volumen de un cubo de aproximadamente 8 litros (20 cm en todas sus aristas). Revise con cuidado las medidas para asegurarse de tomar el volumen indicado.
- Coloque la muestra en una bolsa adecuada y márkela anotando la profundidad del suelo donde la tomó y el número de la muestra.
- Siga el mismo procedimiento hasta completar las muestras necesarias. Utilice números consecutivos para diferenciarlas. Registre en el formulario el volumen de cada muestra.



Voumen
8000 cm³
= 8 litros

3 Tamizar la muestra para separar la piedra y el suelo

- Utilice un tamiz o seleccione manualmente la piedra que se encuentra en cada muestra.
- No mezcle las muestras.

Continúa

Continuación. Determinación del contenido de piedra del suelo

4 Medir el volumen de piedra contenido en cada muestra

- Necesita agua, un recipiente aforado y el formulario de registro de datos. Debe realizar la medición de cada muestra individualmente.
- Agregue agua al recipiente aforado hasta llenarlo en tres cuartas partes de su volumen. Registre en el formulario el volumen inicial de agua.
- Introduzca la piedra en el recipiente con agua; lea el volumen de agua + piedra y registre en el formulario el volumen final de agua.
- Calcule el volumen de agua desplazado por la piedra como la diferencia entre el volumen inicial y el volumen final y registre el resultado en el formulario.



5 Calcular el contenido de piedra de cada muestra y del sitio

- Utilice las ecuaciones indicadas para calcular el porcentaje de piedra y registre los datos en el formulario.

Contenido de piedra en una muestra (%)

$$= \frac{\text{Volumen desplazado por la piedra} * 100}{\text{Volumen total de la muestra}}$$

Contenido de piedra en un sitio (%)

$$= \frac{\text{Contenido de piedra muestra 1} + \text{Contenido piedra muestra 2} + \text{Contenido piedra muestra n}}{\text{n número de muestras}}$$

Determinación del contenido de piedra en el suelo

Información básica

Fecha:	Hacienda:		
Ingenio:	Suerte:		
Coordenadas de la calicata o sitio de muestreo:			
Suelos (estudio detallado)			
Nombre (consociación)			
Textura del suelo			
Profundidad efectiva (cm)			
Descripción del perfil:	A	B	C
- Profundidad de horizontes (cm)			
- Textura de cada horizonte			

Contenido de piedra

DESCRIPTOR	Muestra N.º 1	Muestra N.º 2	Muestra N.º 3	Muestra N.º 4	Muestra N.º 5	Muestra N.º 6
Profundidad de muestreo (cm)						
Volumen de la muestra: piedra + suelo (cm ³)						
Volumen inicial del agua en el recipiente aforado (litros)						
Volumen final del agua en el recipiente aforado (litros)= volumen agua inicial + piedra (litros)						
Volumen del agua desplazada por la piedra						
Contenido de piedra en la muestra (%)						
Contenido de piedra en el sitio (%)						

Unidad 3

Planifiquemos el sistema parámetros de riego y diseño agronómico



Tubería lateral y elevadores

Introducción

En algunas ocasiones se emprenden proyectos agrícolas que involucran el riego sin realizar antes una evaluación de la disponibilidad de agua en el predio. En esta unidad de aprendizaje se presenta la secuencia de los pasos de cálculo que llevan a establecer el caudal que es necesario tener disponible con el fin de atender oportunamente y en cantidad suficiente las necesidades de agua del cultivo.

Objetivo

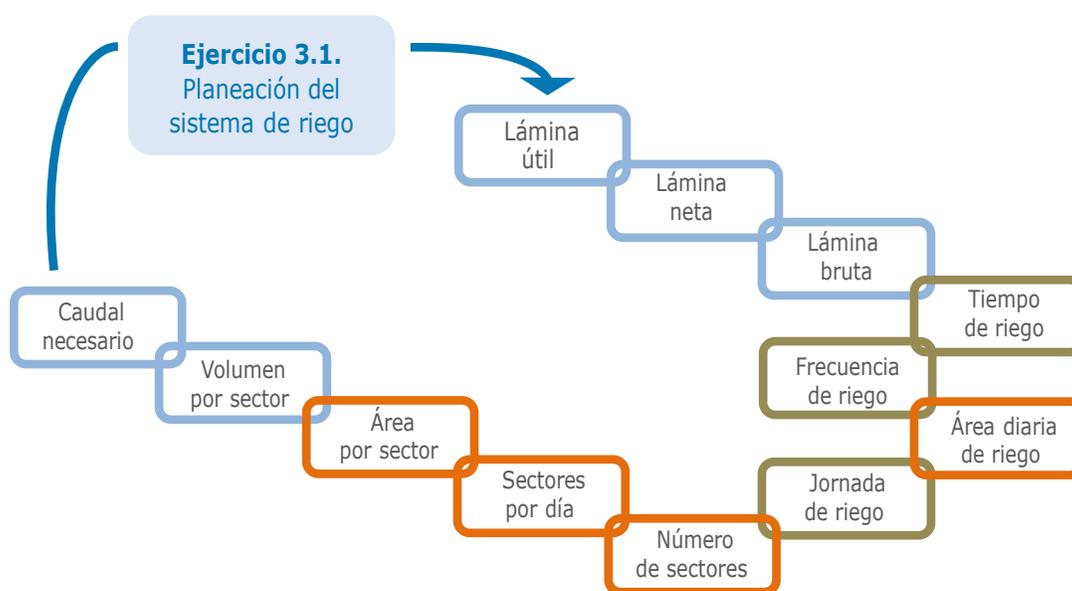
Después del ejercicio de planificación del riego los participantes estarán capacitados para:

- Integrar las características físicas del suelo, el cultivo y el clima para realizar en orden lógico el cálculo de las variables que constituyen la planeación del sistema de riego y concluyen con la definición del caudal necesario para el proyecto.

Estructura de aprendizaje

Planifiquemos el sistema

El aprendizaje está estructurado sobre un ejercicio de diseño agronómico dirigido a planificar un sistema de riego con caudal reducido para caña de azúcar en un área de interés, a partir de información recopilada por los participantes.



Preguntas iniciales

1. ¿En su finca dispone del caudal suficiente para regar los cultivos de caña oportunamente?
2. ¿Sabe cada cuántos días debe regar?
3. ¿Cuál es la información que debe tenerse disponible para realizar de manera expedita el diseño agronómico de un sistema de riego con caudal reducido?
4. ¿A qué edad, en meses, experimenta el cultivo de caña de azúcar su máxima evapotranspiración?
5. En el valle del río Cauca ¿cuáles son los meses del año es más alta evaporación?



El riego al 4x1 con caudal reducido representa un ahorro potencial de agua del 20% frente al surco continuo

Parámetros utilizados en el diseño agronómico

En el diseño agronómico de un sistema de riego se calculan los siguientes parámetros:

Lámina útil, L_u

La lámina útil es aquella que el suelo es capaz de retener y es aprovechable por el cultivo; corresponde a la capacidad de retención de humedad del suelo o agua contenida en un perfil de suelo de profundidad (D) entre los puntos de humedad de capacidad de campo (C_c) y marchitez permanente (Pmp). La unidad preferida para expresar la lámina útil es el milímetro y se obtiene al expresar la profundidad de suelo en mm.

$$L_u = (C_{cw} - P_{mpw}) * d * S_b$$

Donde:

- C_{cw} capacidad de campo gravimétrica, adimensional
- P_{mpw} punto de marchitez permanente gravimétrico, adimensional
- d profundidad efectiva del suelo (m)
- S_b relación entre la densidad aparente del suelo y la densidad del agua; se denomina gravedad específica aparente o densidad aparente relativa del suelo y es adimensional

Cuando los puntos de humedad se expresan en porcentaje, se debe dividir entre cien el valor del término entre paréntesis.

Lámina neta, L_n

La lámina neta es la fracción de la lámina útil que es necesario reponer en el suelo al ser consumida por el cultivo; corresponde a la lámina de agua rápidamente aprovechable por el cultivo ($LARA$); se define mediante un coeficiente de agotamiento (CA) o umbral de riego, que expresa la disminución admisible en el contenido de humedad del suelo, la cual depende de la sensibilidad del cultivo al déficit de humedad; varía entre 0.3 (para cultivos sensibles a la sequía) y 0.6 (para cultivos tolerantes). Cenicaña ha determinado un valor de 0.5 para ser utilizado en caña de azúcar.

$$LARA = CA * L_u$$

Teniendo en cuenta que los suelos de piedemonte presentan altos contenidos volumétricos de piedra (C_p) que afectan de manera significativa su capacidad de retención de humedad, es necesario corregir por este factor la lámina neta; así, en estos casos, la L_n o $LARA$ se determina con la siguiente fórmula:

$$LARA = CA * (1 - C_p) * L_u$$

Lámina bruta, L_b

La lámina bruta (L_b) corresponde a la cantidad de agua aplicada para reponer el agua consumida por el cultivo y compensar las pérdidas por escorrentía al final del lote y la percolación, principalmente. Se calcula dividiendo la $LARA$ entre la eficiencia de aplicación (Efa), la cual corresponde a la relación entre el agua almacenada en la zona de raíces y el agua aplicada.

$$L_b = \frac{LARA}{Efa}$$

En el riego con caudal reducido se han alcanzado eficiencias de aplicación del 63% en la modalidad de riego por surco alterno.

Tiempo de riego, T

Es el tiempo durante el cual es necesario aplicar agua al terreno para reponer el agua consumida por el cultivo más las pérdidas; depende de las características de infiltración del suelo. En el manejo del riego por surcos en caña de azúcar en el valle del río Cauca se acostumbra cortar el riego cuando el flujo se aproxima al final del surco, razón por la cual se asume que el tiempo de riego es igual al tiempo de avance; éste último se determina mediante pruebas de avance e infiltración en surcos.

Frecuencia de riego, FR

La frecuencia de riego se refiere al número de días transcurridos entre riegos, al cabo de los cuales se considera que la $LARA$ ha sido consumida por el cultivo y es necesario reponerla; se calcula como la relación entre la $LARA$ y la evapotranspiración máxima diaria del cultivo ($Etmáx$). En la planificación del sistema de riego, el valor de la $Etmáx$ se refiere a la evapotranspiración diaria del cultivo esperada en el mes de máximo consumo.

$$FR = \frac{LARA}{Etmáx}$$

Área diaria de riego, Ad

Es el área que es necesario regar en un día para cumplir con la frecuencia demandada por el cultivo; se estima como la relación entre el área total (At) y la frecuencia de riego (FR). Para el cálculo del área de riego se debe ajustar la FR al número de días laborales de riego; así por ejemplo, si la frecuencia es de 14 días pero no se riega los domingos, la FR ajustada (FR') es de sólo 12 días y por tanto el Ad (ajustado) debe ser mayor.

$$Ad = \frac{At}{FR'}$$

Jornada de riego, Jd

Corresponde al número de horas diarias en que se ejecuta la labor de riego y depende de la duración de la jornada laboral, la operatividad del sistema, el pago de horas extras, entre otros.

Número de posiciones o sectores, N_s

Es el número de unidades de riego en que se debe dividir el campo para lograr regarlo en la frecuencia de riego ajustada (FR')

$$N_s \leq \frac{FR' * Jd}{T}$$

Número de sectores por día, N_d

Es el número de unidades o sectores que se deben regar diariamente para lograr regar todo el campo con la frecuencia requerida.

$$N_d = \frac{Jd}{T}$$

Área por posición o área del sector, A_s

Es el área de cada unidad de riego en que se divide el campo y que debe ser regada simultáneamente para cumplir con la frecuencia requerida (FR); en la mayoría de los casos, pero no siempre, el área del sector corresponde al área del módulo de riego o puede estar compuesta de varios módulos.

$$A_s = \frac{A_t}{N_s}$$

El área del sector debe relacionarse con el área de los tablonos de caña y puede ser descompuesta en un número de módulos que permita utilizar tuberías de diámetro menor en el lateral (por ejemplo: 2"), con lo cual es posible disminuir los costos del proyecto.

Volumen por posición, V_p

Cuando el área del sector se expresa en unidad de hectárea (ha) y la lámina bruta se expresa en milímetros (mm, teniendo en cuenta que $1 \text{ mm} = 10 \text{ m}^3/\text{ha}$) se utiliza la siguiente expresión para calcular los metros cúbicos por aplicar en un sector de riego.

$$V_p = 10 * A_s * L_b$$

Caudal necesario, Q

Es el caudal requerido por el sistema para cumplir las metas de riego en las condiciones más exigentes del cultivo.

$$Q = \frac{V_p}{T}$$

El facilitador debe coordinar la celebración del Ejercicio 3.1 sobre planeación del sistema de riego; se necesitan dos horas.

Ejercicio

Instrucciones para los participantes

Planeación del sistema de riego



Recurso digital

www.cenicana.org/pat

Objetivo

Al finalizar este ejercicio los participantes tendrán la destreza para:

- Realizar el diseño agronómico de un sistema de riego con caudal reducido.

Recursos necesarios

Los participantes formarán grupos de tres personas como máximo, a fin de garantizar la interlocución y el trabajo individual. Cada participante debe tener al momento del ejercicio:

- Plano topográfico del predio a escala 1:2000 con curvas de nivel cada 50 cm, preferiblemente con el diseño de campo existente (disposición de tablones y su dimensión, fuentes de agua, caudales disponibles y posibles sitios de toma de agua)
- Mapa de suelos a escala 1:2000 con información del perfil (estudio detallado)
- Calculadora científica o computador; regla escala; hojas de papel en blanco y lápiz
- Resumen técnico de la unidad 3 y secuencia de cálculo para el diseño agronómico.
- Para desarrollar con éxito esta actividad es indispensable tener disponibles los datos de los parámetros de riego definidos en un sitio específico; el facilitador habrá informado a los participantes con anterioridad acerca de este requerimiento.



La productividad de la caña de azúcar depende del suministro oportuno y suficiente del agua que demanda el cultivo, por lo cual es necesario realizar una planificación cuidadosa que lleve a determinar el caudal que será requerido por el proyecto y cotejar este valor con el caudal disponible.

Actividades

1 Utilice el diagrama con la secuencia de cálculo de los parámetros que definen el caudal requerido para el establecimiento de riego con caudal reducido

El propósito de este ejercicio de cálculo es entender la lógica del procedimiento más que memorizarlo, utilizando criterios derivados de la experiencia para evaluar los resultados de la planificación. Utilice los conceptos descritos en la unidad 3.

2 Prepare las siguientes respuestas para participar en la dinámica de retroinformación

- Caudal necesario para el predio analizado, área del sector de riego, jornada de riego y frecuencia de riego. Conserve estos resultados para usarlos en el ejercicio diseño hidráulico (unidad 4 de aprendizaje)

Secuencia de cálculos para el diseño agronómico del riego con caudal reducido



Unidad 4

Diseñemos el sistema diseño hidráulico y uniformidad de aplicación



Tuberías de distribución, lateral y elevadores

Introducción

En todas sus formas de aplicación, el riego con caudal reducido requiere un diseño hidráulico que garantice la uniformidad de los caudales aplicados en los surcos.

En las aplicaciones con tubos cortos desde una acequia de cabecera o con politubulares o tubería con compuertas debe tomarse como criterio que el coeficiente de uniformidad de los caudales aplicados a los surcos sea del orden del 90% o mayor.

En el caso del riego con elevadores conectados a un lateral y ante la posibilidad de transformar este sistema en riego por goteo deben utilizarse, en el diseño, los estándares del riego por goteo, en el cual, el coeficiente de uniformidad del 90% debe ser aplicado a todo el sector de riego, tomando en cuenta que la diferencia de presión del sector está compuesta por la diferencia de presión a lo largo del múltiple y por la diferencia de presión a lo largo del lateral.

En los casos en que el sistema se diseñe como una unidad presurizada, la tubería de conducción y las tuberías de distribución a los diferentes tablonos deben ser de un diámetro tal que garantice la uniformidad de la presión en todos los puntos de la red; para ello debe buscarse que la línea de alturas piezométricas sea paralela al terreno, hasta donde sea posible.

Objetivos

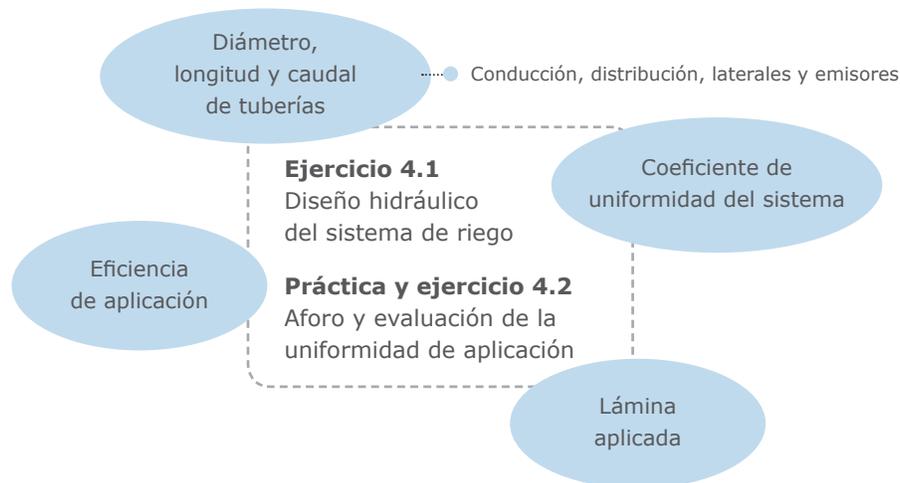
Al participar en las actividades de aprendizaje, se espera tener capacidad de:

- Determinar los diámetros de las tuberías que componen un sistema de riego con caudal reducido
- Calcular la altura piezométrica en cualquier punto del sistema de riego
- Establecer los puntos más convenientes para instalar las llaves que controlan el paso de agua a los tablonos, con el fin de lograr la uniformidad de los caudales aplicados en los surcos
- Manejar las rutinas de cálculo de los laterales en terreno plano y en pendiente
- Seleccionar tuberías teniendo en cuenta su resistencia a la presión.

Estructura de aprendizaje

Esta unidad final del programa de aprendizaje está soportada en un ejercicio de diseño hidráulico, una práctica de aforo en campo y un último ejercicio en el que se evalúa la uniformidad de aplicación del riego. El ejercicio de diseño hidráulico consiste en la determinación de los diámetros de todas las tuberías que componen un sistema de riego con caudal reducido, de tal forma que se logre la distribución uniforme de las presiones en la red de tuberías y por tanto, la aplicación de caudales y láminas uniformes en los distintos sectores de riego. A partir de este diseño hidráulico, el ejercicio debe continuar para elaborar el listado de los materiales necesarios y el presupuesto de la instalación.

Diseño hidráulico del sistema de riego con caudal reducido



Es deseable que el ejercicio de diseño hidráulico esté basado en los resultados del ejercicio de diseño agronómico de la unidad 3 anterior, con lo cual los participantes en la capacitación tendrán una imagen más completa de los conceptos inherentes al riego en general y al riego con caudal reducido en particular.

Se debe estimular en los participantes el interés por las herramientas de cálculo disponibles, incluido el uso de calculadoras (programables) y rutinas de Excel® y de programas especiales de hidráulica; se espera que los participantes adquieran destreza en su manejo.

Preguntas iniciales

1. La relación diámetro-tubería (RDE) está relacionada con la resistencia de una tubería a la presión ¿directamente? ¿inversamente? ¿no está relacionado?
2. Las pérdidas de energía por fricción dependen de: ¿la rugosidad absoluta de la tubería? ¿la rugosidad relativa? ¿el diámetro interno de la tubería? ¿el diámetro externo?
3. Para determinar el diámetro de una tubería con la ecuación de Hazen-Williams se debe conocer: ¿el caudal y la pérdida unitaria de carga? ¿el caudal y el coeficiente de descarga de Hazen-Williams? ¿la pérdida de carga unitaria y el coeficiente de descarga? ¿el área por regar y la RDE de la tubería?
4. Para el mismo caudal e igual longitud y diámetro, se producen mayores pérdidas de energía: ¿en una tubería continua? ¿en una tubería de salida múltiple?
5. Para la misma área por regar, un sistema de riego es más costoso: ¿en terreno plano? ¿en ladera?

Ecuaciones utilizadas en el diseño hidráulico

Una tubería es un conducto (independiente de su forma) por donde se transporta a presión un fluido. Hidráulicamente, las tuberías se clasifican en tuberías continuas (TC) y tuberías de salida múltiple (TSM).

Las TC se caracterizan porque el caudal se mantiene constante a lo largo de su recorrido. Las TSM, porque el caudal disminuye por efecto de las salidas; esta situación se presenta en tuberías laterales de goteo, aspersión, compuertas y en sistemas de aplicación de agua en surcos mediante elevadores como los usados en riego con caudal reducido.

En el cálculo de tuberías se utilizan las ecuaciones descritas a continuación.

Ecuación de continuidad o Principio de Conservación de la Masa

En una tubería continua, establece que el caudal (producto del área de la sección, A , y la velocidad del flujo, V) se mantiene constante a lo largo de su recorrido.

$$Q = V * A$$

Ecuación de Bernoulli o Principio de Conservación de la Energía

Establece que la energía por unidad de peso en un fluido que circula por una tubería continua se mantiene constante a lo largo de su recorrido.

$$z^1 + \frac{p^1}{\gamma} + \frac{v^1^2}{2g} = z^2 + \frac{p^2}{\gamma} + \frac{v^2^2}{2g} + h_p$$

Donde:

z energía potencial o de posición

$\frac{p}{\gamma}$ energía de presión

$\frac{v^2}{2g}$ energía de velocidad

Cálculo de las pérdidas de energía por fricción o rozamiento (h_f)

Ocurren a lo largo de la tubería; para el cálculo normalmente se utiliza la ecuación de Darcy-Weisbach.

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

- f coeficiente de rozamiento o fricción
- L longitud de la tubería
- D diámetro interno de la tubería
- g aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

Calculo de las pérdidas de energía por aditamentos (*hk*)

Se ubican en la línea de la tubería tales como codos, conexiones en T, válvulas, etcétera. La pérdida por adimento se expresa como el producto de un factor propio del aditamento y la energía de velocidad ($v^2/2g$)

$$hk = K \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

En la ecuación de Bernoulli, *hp* representa las pérdidas de energía totales, que son la suma de las pérdidas por fricción (Σhf) y las pérdidas por aditamentos (Σhk)

$$hp = \Sigma hf + \Sigma hk$$

Ecuación de Hazen-Williams

Esta ecuación es muy usada en ingeniería para resolver problemas de tuberías; expresa el caudal (*Q*) transportado por una tubería circular, como:

$$Q = 0.2785 * C * D^{2.63} * J^{0.54}$$

Donde:

- Q caudal en m³/s
- J pérdida de carga unitaria (dada por el cociente entre las pérdidas por fricción y la longitud de la tubería)
- D diámetro interno de la tubería en metros
- C es el coeficiente de descarga de Hazen-Williams, que para tuberías lisas de plástico toma el valor de 150.

Diseño hidráulico de la red de tuberías

Se presenta el modo de diseñar la red aplicando las ecuaciones indicadas para definir las características del sistema de riego con caudal reducido en sitios específicos de cultivo.

Tubería de conducción

La tubería de conducción transporta el agua desde la fuente y en su recorrido la entrega a las diferentes tuberías de distribución; conocido el caudal, se puede realizar una primera aproximación a su diámetro con la ecuación de Hazen-Williams, suponiendo una pérdida de carga unitaria (J) igual a la pendiente del terreno (S); con este valor conocido se realiza un cálculo detallado con la ecuación de Bernoulli con pérdidas y se revisa el valor estimado.

El cálculo de pérdidas por fricción con la ecuación de Darcy-Weisbach exige conocer el factor de fricción (f), para lo cual se puede utilizar la ecuación de Blasius (para tuberías lisas como las plásticas, PVC o polietileno)

$$f = \frac{0.3164}{Re^{0.25}}$$

Donde:

Re número de Reynolds = $(V * D / \nu)$, donde ν es la viscosidad cinemática del agua (m^2/s);
 $\nu \simeq 1 * 10^{-6} m^2/s$

Tuberías de salida múltiple (TSM)

Una tubería de salida múltiple se caracteriza, entre otros aspectos, por causar menores pérdidas de energía que una tubería continua del mismo diámetro y longitud, cuando ambas conducen igual caudal; así, el procedimiento de cálculo de las pérdidas de energía en una TSM se realiza para una tubería continua (TC) del mismo material, diámetro y longitud que transporta el mismo caudal y se afecta por un factor de reducción de pérdidas.

En el caso de TSM de diámetro constante se utiliza el factor de reducción de pérdidas de Christiansen (F), función del exponente m de la velocidad en la fórmula utilizada para calcular las pérdidas de energía y del número de salidas (N). Cuando se utiliza la ecuación de Hazen-Williams, $m=1.85$; y cuando se utiliza la ecuación de Darcy, $m=2$.

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2}$$

Diseño del lateral

El diseño del lateral es de gran importancia en el diseño hidráulico general del sistema y para ello se seguirá el criterio utilizado en el riego por aspersión para el diseño del lateral, según el cual la diferencia de caudal admisible no debe ser mayor que el 10% del caudal medio de las salidas a lo largo del lateral.

Teniendo en cuenta que los diferentes tipos de salida del agua desde una tubería de salida múltiple (aspersores, elevadores, compuertas, goteros, orificios, etcétera) básicamente obedecen a la misma ecuación que relaciona la presión y el caudal, de la forma:

$$Q = k * h^x$$

Donde: Q es el caudal de la salida; k es una constante; h es la presión interna en la tubería en el sitio de la salida; y , x es el exponente de la presión (que para los casos mencionados en régimen de flujo turbulento es igual a 0.5), se obtiene la variación de presión admisible a lo largo del lateral –se deja como ejercicio para los participantes–, que es del 20% de la presión media (hm) en el lateral; debe tenerse en cuenta que aquí la presión media no es el promedio de las presiones a lo largo del lateral, sino la presión que produce el caudal medio de las salidas (Qm), es decir:

$$Qm = k * hm^x$$

Este caudal y la presión media se presentan al 40% de la longitud del lateral, contando a partir de su conexión a la tubería de distribución; hasta ese punto se acumula aproximadamente el 75% de las pérdidas que ocurren en el lateral.

Un lateral de caudal reducido puede estar colocado en terreno plano o en terreno en pendiente que sube o que baja; en cada caso existen unas relaciones entre las diferencias de presión admisibles y las pérdidas de energía a lo largo del lateral.

Para el diseño del lateral se parte de la condición de que la diferencia de presión entre sus extremos (diferencia de presión admisible en el lateral, dpl) sea menor o a lo sumo igual al 20% de la presión media en el lateral, con lo cual se pretende que la diferencia de caudal sea menor o a lo sumo igual al 10% del caudal medio de las salidas del lateral.

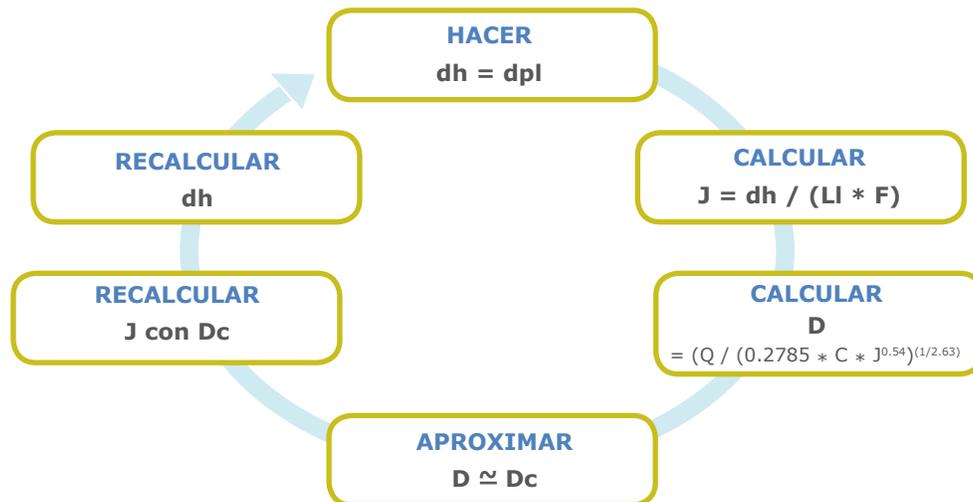
$$dpl \leq 0.20 * hm$$

Conocida la dpl y la diferencia de elevación entre los extremos del lateral (dz) se puede obtener el valor de las pérdidas de energía (dh) admisibles en su longitud, dependiendo de si el lateral está en terreno plano o en pendiente.

- **LATERAL EN TERRENO PLANO:** se debe conectar a la tubería de distribución por su punto medio, con lo cual su longitud y el caudal se dividen en partes iguales; las pérdidas de energía son iguales a la diferencia de presión en el lateral, a partir de lo cual se puede determinar su diámetro comercial siguiendo la rutina de cálculo descrita en la **figura 4.1**.

Figura 4.1

Rutina de cálculo de una tubería lateral en terreno plano



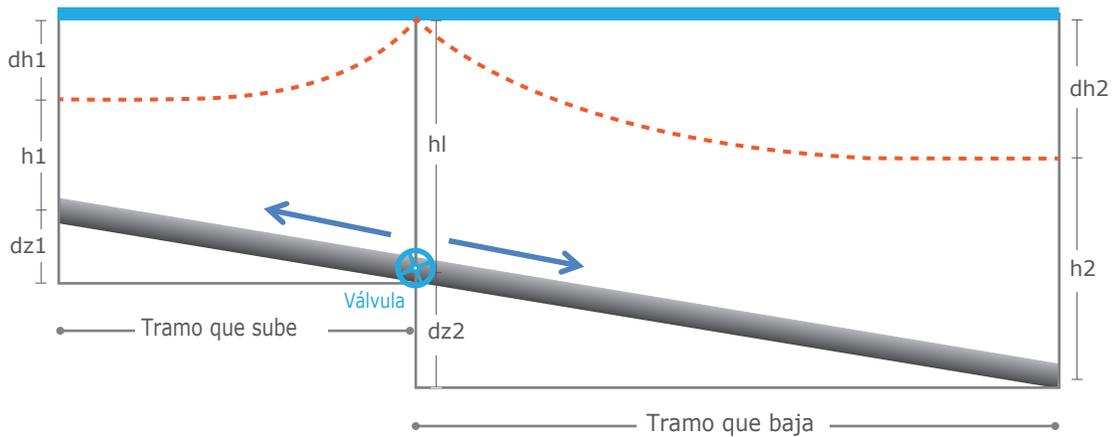
- LATERAL EN PENDIENTE:** cuando el lateral se encuentra en una pendiente (**figura 4.2**) la tubería se divide en dos tramos: uno que sube y el otro que baja a partir de la conexión del lateral a la tubería de distribución. En los casos en que el lateral reposa en una pendiente que baja es posible que sea necesario realizar la conexión en su extremo superior o incluso recurrir al diseño de un lateral telescópico para lograr la uniformidad de los caudales aplicados.
 - En el tramo que baja, las pérdidas de energía admisibles son iguales a la diferencia de presión admisible más la diferencia de nivel entre la conexión del lateral y su extremo (**figura 4.2**, derecha); lo cual constituye una ventaja económica puesto que la energía para perder es mayor y por lo tanto el diámetro de la tubería para un caudal dado es menor. La rutina de cálculo de una tubería en bajada se muestra en la **figura 4.3**.
 - En el tramo que sube, las pérdidas de energía admisibles son iguales a las diferencias de presión admisibles menos la diferencia de nivel entre la conexión del lateral y su extremo (**figuras 4.2 y 4.4**)

Elevadores

En la hacienda Los Ranchos se realizaron evaluaciones hidráulicas para establecer la relación entre presión y caudal para elevadores de 16 mm de diámetro y 1.5 m de longitud; esta relación puede ser utilizada para estimar el caudal suministrado a un surco por un elevador de esas dimensiones (**figura 4.5**)

Figura 4.2

Distribución de presiones en la tubería lateral (en pendiente)



Para el tramo que sube

$$dz_1 + h_1 + dh_1 = h_l$$

$$dpl = h_l - h_1$$

$$dpl = dz_1 + dh_1$$

$$dh_1 = dpl - dz_1$$

Para el tramo que baja

$$h_l + dz_2 = h_2 + dh_2$$

$$dpl = h_l - h_2$$

$$dpl = dh_2 - dz_2$$

$$dh_2 = dpl + dz_2$$

Donde:

dh pérdida de energía

h presión interna tubería

dz diferencia de nivel entre extremos del lateral

hl presión de entrada al lateral

Figura 4.3

Rutina de cálculo de una tubería lateral en pendiente para el tramo que baja

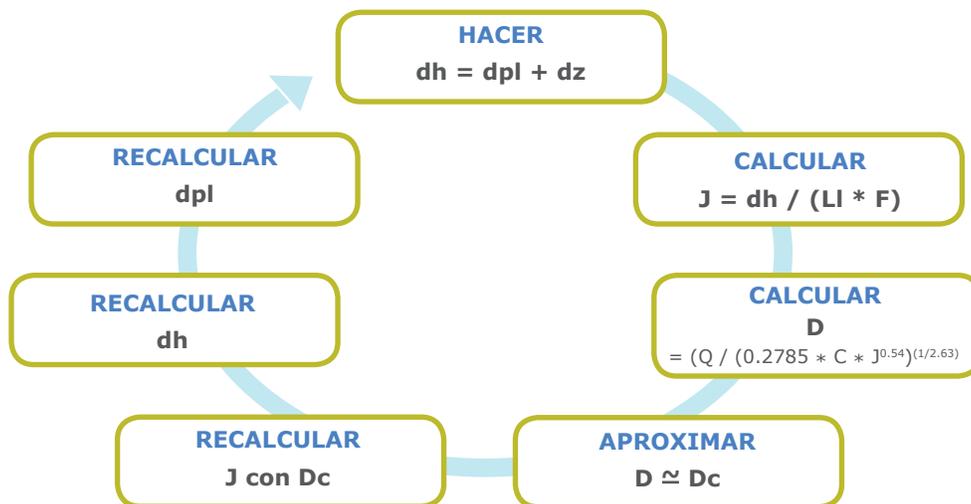


Figura 4.4

Rutina de cálculo de una tubería lateral en pendiente para el tramo que sube

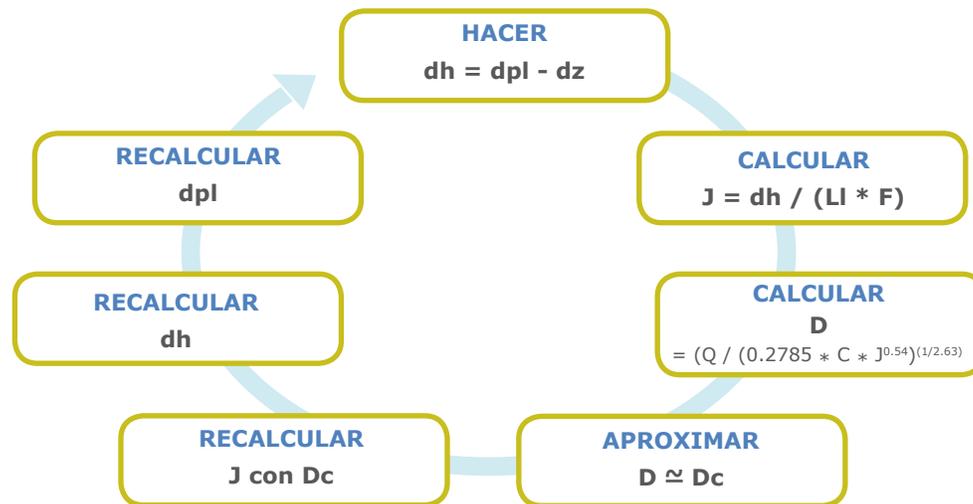
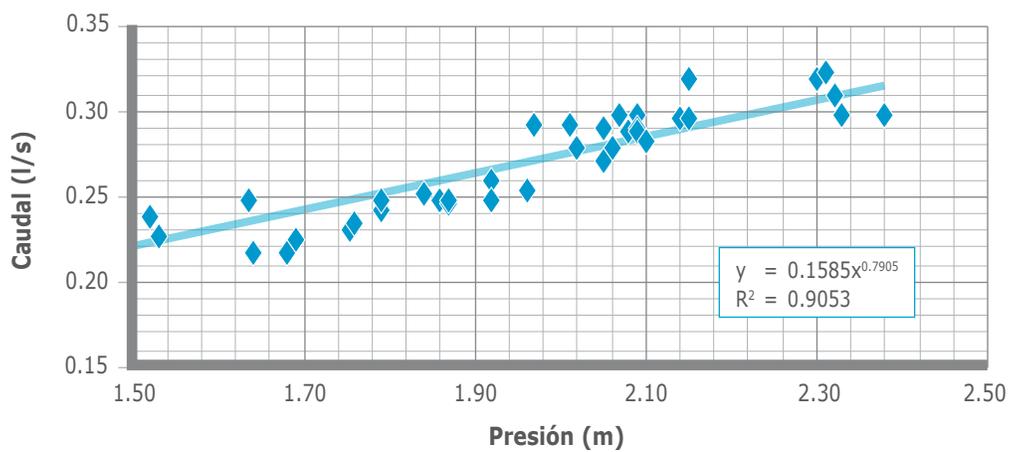


Figura 4.5

Relación entre presión y caudal en elevadores determinada en campo



Orientaciones para el facilitador

Ejercicio 4.1. Diseño hidráulico del sistema de riego

Para desarrollar este ejercicio se sugiere trabajar grupos de tres integrantes, procurando que sean las mismas personas que conformaron los grupos en el ejercicio anterior sobre diseño agronómico; los participantes continuarán con el diseño hidráulico del sistema de riego para el predio. El tiempo previsto para la actividad son tres horas. Se necesita un salón.

Sugerencias para conducir el ejercicio

1. Fijar el alcance de la actividad, es decir el nivel de detalle del diseño que harán los grupos. Se sugiere que incluya la determinación de los diámetros de las diferentes tuberías que componen el sistema; los distintos aditamentos; el listado de materiales; la cantidad de obra (incluidas zanjas e instalación de tuberías) y aun el presupuesto.
2. Asegurar que los participantes hayan revisado los catálogos de tuberías y materiales para riego disponibles en el mercado y que tengan algunos consigo; ver enlaces sugeridos en el sitio web del PAT: www.cenicana.org/pat

Recursos necesarios

- Plano topográfico a escala 1:2000 con curvas de nivel cada 50 cm (el mismo predio que en el ejercicio 3.1 anterior), más datos de la distancia entre surcos y su longitud
- Calculadora científica o computador; regla escala; hojas de papel en blanco y lápiz
- Catálogos de tuberías de PVC y PE (polietileno) y manuales para consultar el valor de los coeficientes de pérdidas de energía en los aditamentos de riego
- Resultados del diseño agronómico elaborado por el grupo en el ejercicio anterior, indispensable el valor del caudal necesario
- Resumen técnico de la unidad 4 y lista de abreviaturas.

Orientaciones para la dinámica de retroinformación

Al finalizar el diseño hidráulico, los participantes estarán en capacidad dar la siguiente información acerca del sistema de riego con caudal reducido:

- Diámetro de la tubería de conducción (en diámetros comerciales)
- Longitud de los laterales
- Caudal del lateral (l/s)
- Diámetro del lateral (en diámetros comerciales)

Ejercicio

Instrucciones para los participantes

Diseño hidráulico del sistema de riego



Recurso digital

www.cenicaña.org/pat

Objetivos

Al finalizar este ejercicio, los participantes estarán en capacidad de:

- Replicar el diseño hidráulico de un sistema de riego con caudal reducido en otros sitios y situaciones
- Seleccionar las tuberías más favorables desde el punto de vista técnico y económico para el establecimiento del sistema de riego.
- Manejar con suficiencia los catálogos comerciales y la información digital disponible sobre tuberías y aditamentos.
- Elaborar el listado de los materiales para el establecimiento del sistema y su presupuesto.

Procedimiento general de diseño hidráulico

Este ejercicio de diseño hidráulico se realiza luego de la planificación del sistema de riego (diseño agronómico), por lo cual es conveniente que los integrantes de los grupos de trabajo sean las mismas personas en ambos ejercicios (hasta tres personas por grupo). Antes de comenzar, el facilitador dará las indicaciones correspondientes y se asegurará que todos los grupos cuenten con los materiales necesarios para el diseño hidráulico.

- 1 Realizar la distribución de los sectores de riego.** Sobre un plano con curvas de nivel, hacer la distribución del número de sectores y el área de cada uno, según fueron determinados en la planeación.
- 2 Calcular el diámetro de la conducción (D) y aproximarlo al diámetro comercial más cercano (D_c).** Con el caudal del sistema determinado en la planeación y con la pendiente del terreno (S) estimada en el plano topográfico, realice los cálculos mediante la ecuación de Hazen-Williams considerando $S=J$.
- 3 Calcular la longitud del lateral (L_l).** Utilice el área del sector (A_s) y la longitud de surco.

Continúa

Continuación. Diseño hidráulico del sistema de riego.

4 Estimar el número de salidas. Para riego por surco continuo estime el número de salidas como la relación entre la longitud del lateral y la distancia entre surcos; en el riego por surco alterno el número de salidas se reducirá a la mitad y en el riego al 2x1 debe ser ajustado.

5 Definir el caudal del lateral (Ql) y su longitud (LI). Tenga en cuenta que:

$$Ql = N * qa$$

$$LI = N * Se$$

Dónde:

Ql caudal del lateral (l/s)

N número de salidas en el lateral

qa caudal promedio por surco en el lateral (l/s)

LI longitud del lateral (m)

Se Separación entre salidas (m)

6 Determinar las diferencias de presión admisibles en el lateral (dpl). Tenga en cuenta la presión media (hm); ($dpl=0.2 * hm$)

7 Determinar las pérdidas de energía admisibles en el lateral (dh), según se encuentre en terreno plano o en pendiente

8 Hallar el valor de pérdida de carga unitaria en el lateral (Jl), así

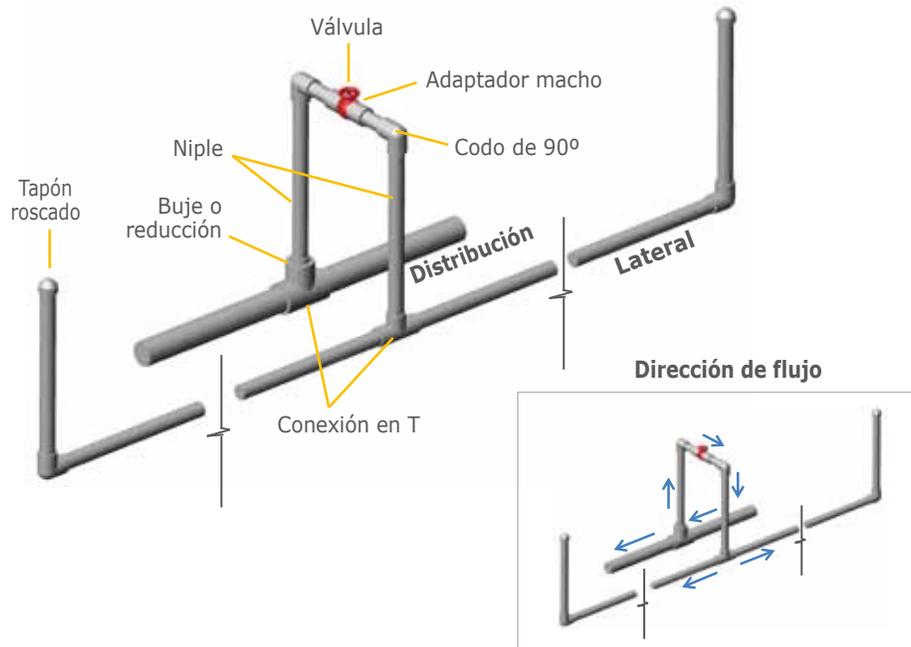
$$Jl = \frac{dh}{(LI * F)}$$

9 Hallar el diámetro del lateral (DI). Aproxime el resultado al diámetro comercial superior más próximo (Dc) si el lateral se encuentra en terreno plano o en subida.

10 Recalcular Jl y dh con el diámetro comercial seleccionado.

11 Elaborar la lista de materiales de acuerdo con el diseño. Relacione los materiales y el diámetro de la conducción, los laterales y los cabezales de campo. Utilice el esquema del cabezal de campo como referencia.

Esquema de un cabezal de campo



Tubería de distribución, cabezal de campo, lateral y elevadores

Orientaciones para el facilitador

Práctica y ejercicio 4.2. Aforo y evaluación de la uniformidad de aplicación

El facilitador puede seguir estas orientaciones o ajustar la práctica según su criterio; se le recomienda, en todo caso, que celebre el evento en instalaciones que sean operativas. El tiempo previsto para las actividades son cuatro horas en campo y dos horas en sala.

Sugerencias para organizar la actividad

- 1. Seleccionar un sitio donde se cuente con dos instalaciones para el riego con caudal reducido:** una con tubería lateral y elevadores y la otra con tubería (politubular o PVC) con ventanas o con acequia de riego y tubos cortos. Seleccionar los sectores para la evaluación.
- 2. Recopilar la información básica del sitio de práctica:** plano topográfico, plano de las instalaciones, mapa de suelos con la descripción del perfil y la LARA.
- 3. Preparar un plan de acción para el desarrollo de la práctica.** Garantizar que las instalaciones operen correctamente para la evaluación. Los participantes conformarán grupos de tres personas; la mitad de los grupos trabajarán en el sistema presurizado y los demás grupos en el otro sistema.
- 4. Garantizar el agua necesaria para el riego en los sectores escogidos.**
- 5. Consultar información técnica** para dirigir la práctica con seguridad y para responder las inquietudes de los participantes.
- 6. Preparar los materiales** y la logística para el evento de capacitación.

RECURSOS NECESARIOS

Para cada participante:

- Plano topográfico de las suertes, preferible a escala 1:2000, con la ubicación del sistema de riego
- Mapa de suelos de las suertes con información acerca del perfil (estudio detallado)
- Valor de la LARA
- Resúmenes técnicos (unidades 2, 3 y 4)
- Instrucciones para los participantes
- Formulario para registro de datos
- Hojas de papel en blanco y lápiz.

Para cada grupo:

- Una regla escala
- Un borrador y un sacapuntas
- Un reloj con segundero o un cronómetro
- Una cinta métrica (al menos de 20 m)
- Un balde aforado (10 l) o una probeta de 1000 ml
- Una pala.

Para el facilitador:

- Equipos móviles de comunicación
- Cronograma de actividades
- Datos de la persona responsable en cada sitio de evaluación.

Orientaciones para la dinámica de retroinformación

Modere una sesión de preguntas con el fin de estimular el análisis de los resultados en las distintas instalaciones donde los grupos de participantes evaluaron la uniformidad de aplicación del riego con caudal reducido. Tenga presente que esta es la última actividad de la capacitación:

1. Estimule a los participantes para que discutan acerca del coeficiente de uniformidad de Christiansen observado en cada instalación:
 - ¿el C_u se aproxima al 100%?
 - ¿qué recomienda para incrementar la uniformidad de los caudales aplicados?
2. Una vez conocida la lámina de riego aplicada:
 - ¿en cuántos días debería volver a regar si se presume una evapotranspiración del cultivo de 3.5 mm/día?
3. En el caso de que la eficiencia de aplicación de los dos sistemas presente valores menores que 0.5:
 - ¿qué propone para aumentar dicha eficiencia?
4. Proponga una dinámica para comparar los resultados de la eficiencia de aplicación de la instalación presurizada y la instalación convencional.

Práctica y ejercicio

Instrucciones para los participantes

Aforo y evaluación de la uniformidad de aplicación



Recurso digital

www.cenicana.org/pat

Objetivos

Al finalizar las actividades en el campo y luego de realizar el ejercicio de evaluación, los participantes tendrán destreza para:

- Determinar el coeficiente de uniformidad del sistema de riego
- Establecer la lámina aplicada
- Definir la eficiencia de aplicación.

Actividades

Los participantes conformarán grupos de tres personas; los grupos se distribuirán en dos instalaciones de riego: un sistema presurizado y un sistema convencional (tuberías con ventanas o acequia con tubos cortos). La jornada inicia en el campo donde se hace el aforo del caudal en surcos y se registran los resultados; una vez colectados los datos se llevará a cabo el ejercicio de evaluación.



El coeficiente de uniformidad (C_u) es una medida de la uniformidad de los caudales aplicados en la cabecera de los surcos e indica con que grado de cuidado se realizó el diseño hidráulico del lateral y su instalación. No se debe confundir la uniformidad de los caudales aplicados con la uniformidad en los tiempos de avance, aunque estén relacionados, puesto que en el avance del agua en los surcos influyen factores como el grado de pendiente y su uniformidad, la presencia de obstáculos al avance del agua y los cambios texturales del suelo a lo largo del surco. El buen desarrollo del cultivo depende en gran parte del agua recibida como lluvia y riego; solo podemos controlar la cantidad que se aplica y por lo tanto es necesario evaluar la cantidad que recibe el cultivo para hacer las correcciones del caso.

Actividad 1. Aforo del caudal en surcos

1 Ubicar el sector de riego y esperar la llegada del agua

- Siga las indicaciones del facilitador para ubicarse con su grupo en el módulo donde realizarán la práctica. En la instalación se colocan caudales reducidos, menores que 0.5 l/s.

2 Realizar el aforo en los surcos y registrar la información en el formulario

- Realice la medición del agua en 16 surcos (ver resumen técnico de la unidad 2, aparte sobre aforos). Apunte claramente los resultados en el formulario.

Actividad 2. Ejercicio de evaluación de la uniformidad de aplicación

En el salón de reuniones, con base en los datos colectados en el campo determine la uniformidad de los caudales aplicados en el sector de riego y registre los resultados.

1 Determinar el coeficiente de uniformidad (C_u) con la ecuación de Christiansen:

$$C_u = \left(1 - \frac{\sum (\text{Absd})}{\bar{m} * n} \right) * 100$$

Donde:

C_u valor del coeficiente de Christiansen en porcentaje (%)

$\sum (\text{Absd})$ sumatoria de los valores absolutos de las desviaciones (d) de las observaciones individuales en relación con la media

\bar{m} valor promedio de las observaciones

n número total de observaciones.

2 Determinar la lámina aplicada. Presuma un tiempo de riego para la operación.

3 Determinar la LARA. Defina el valor de la lámina de agua rápidamente aprovechable como se indica en el resumen técnico de la unidad 3.

4 Hallar la eficiencia de aplicación (E_{fa}). Encuentre la E_{fa} como se describe en el resumen técnico, unidad 3.

Uniformidad de la aplicación en surcos

Información básica

Fecha:	Hacienda:
Ingenio:	Suerte:
Sector de riego (N.º):	LARA inicial:
Forma de aplicación:	Modalidad de riego:

Registro de aforo

Surco (N.º)	Volumen (ml)	Tiempo (segundos)	Caudal (l/s)	Abs * d
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
Caudal promedio, \bar{m} (l/s):				-----
				Σ (Abs * d):

Continúa

Continuación. Uniformidad de la aplicación en surcos.

Evaluación de la uniformidad de aplicación

Caudal promedio, \bar{m} (l/s):	
N.º total de observaciones, n :	
Desviación, d	
Coefficiente de uniformidad, C_u (%)	
Tiempo de riego (presumir un dato) (horas)	
Lámina aplicada, L_b (mm)	
Lámina neta, L_{ARA} (mm)	
Eficiencia de aplicación, E_{fa}	

Contenido

- 103** Recursos didácticos en www.cenicana.org/pat
- 104** Autoevaluación final
- 106** Evaluación de la capacitación



Riego con politubulares

Recursos didácticos en 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

Autoevaluación final

Riego con caudal reducido en cultivos de caña de azúcar

Apreciado participante: el siguiente cuestionario ha sido elaborado con el fin de medir el grado de aprovechamiento de la capacitación acerca de la tecnología de riego con caudal reducido y la nivelación del conocimiento en el grupo de participantes. No tiene carácter calificativo ni es necesario que escriba su nombre.

Instrucciones: la autoevaluación no tiene carácter calificativo. Cada pregunta del cuestionario tiene una respuesta única: marque con 'X' la opción que considere correcta en cada caso. Registre los datos en la hoja de respuestas y espere las indicaciones del facilitador para continuar. El tiempo para responder son 15 minutos.

1. **En caso de que estén todas disponibles ¿por cuál opción de fuente de agua se inclinaría para realizar una instalación de caudal reducido?**
 - A. pozo profundo
 - B. bombeo desde una fuente superficial
 - C. reservorio con cabeza hidráulica disponible
 - D. hidrante.

2. **En cuáles de las siguientes texturas de suelos resulta más beneficioso el establecimiento de un sistema de riego con caudal reducido:**
 - A. arenosa
 - B. arcillosa
 - C. franca.

3. **El riego con caudal reducido se ve limitado por:**
 - A. la estratificación del suelo
 - B. la presencia de horizontes de textura gruesa sobre texturas finas
 - C. la presencia de horizontes de textura fina sobre texturas gruesas
 - D. la presencia de suelos que se agrietan.

4. **Antes de decidir sobre el establecimiento de un sistema de riego con caudal reducido ¿qué prueba recomienda realizar?**
 - A. prueba de bombeo
 - B. aforo del caudal
 - C. prueba de avance e infiltración en surcos
 - D. prueba de infiltración con anillos.

5. **Qué medida práctica recomienda para el manejo de los elevadores al momento de la cosecha:**
 - A. enterrarlos
 - B. doblarlos
 - C. taponarlos
 - D. cortarlos a ras de piso.

6. **En condiciones de terrenos con pendientes pronunciadas ¿cuál opción de riego con caudal reducido es preferible?**
 - A. tubos cortos
 - B. con elevadores
 - C. politubulares
 - D. tubería rígida de PVC con compuertas.

7. **Qué estrategia de riego adoptaría en presencia de suelos de textura gruesa:**
 - A. lámina altas y frecuencias bajas
 - B. láminas bajas y frecuencias bajas
 - C. láminas bajas y frecuencias altas
 - D. láminas altas y frecuencias altas.

8. **En condiciones de buen manejo y mantenimiento ¿cuánta vida útil espera de los elevadores?**
 - A. entre 1 y 2 años
 - B. entre 2 y 5 años
 - C. entre 5 y 10 años
 - D. más de 10 años.

9. **En condiciones de buen manejo y mantenimiento ¿cuánta vida útil espera de las tuberías de PVC enterradas que componen el sistema?**
 - A. menos de 10 años
 - B. entre 10 y 20 años
 - C. entre 20 y 30 años
 - D. más de 30 años.

10. **En una instalación de riego con caudal reducido de baja presión ¿cuál valor de RDE seleccionaría?**
 - A. 13.5
 - B. 21
 - C. 41
 - D. 51

Hoja de respuestas

Pregunta	Mi respuesta	Respuesta correcta
1		
2		
3		
4		
5		

Pregunta	Mi respuesta	Respuesta correcta
6		
7		
8		
9		
10		



El facilitador debe realizar una dinámica de retroinformación con las respuestas correctas

Respuestas correctas a la autoevaluación final: 1=A; 2=B; 3=C; 4=C; 5=D; 6=B; 7=C; 8=C; 9=C; 10=D

Evaluación de la capacitación

Apreciado participante: al finalizar la capacitación en la tecnología de riego con caudal reducido deseamos conocer sus opiniones sobre diversos aspectos del proceso pedagógico. 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:

0	1	2	3	NA
Inadecuado, muy deficiente	Regular, deficiente	Buena, aceptable	Muy buena, satisfactorio	No aplica

Logro de objetivos y satisfacción de expectativas

En qué medida cree que la capacitación le sirvió para lograr los siguientes objetivos generales:	0	1	2	3	NA
<ul style="list-style-type: none"> Tener una imagen del sistema de riego con caudal reducido que integre sus partes y le permita al participante replicarlo en otros sitios y condiciones 					
<ul style="list-style-type: none"> Interpretar las condiciones ambientales que determinan la aplicabilidad en un sitio determinado del sistema de riego con caudal reducido para caña de azúcar 					
<ul style="list-style-type: none"> Realizar la planificación de un sistema de riego con caudal reducido 					
<ul style="list-style-type: none"> Entender los criterios por seguir para realizar un diseño hidráulico del sistema 					
En qué medida cree que la capacitación le sirvió para llenar los vacíos de conocimiento que usted tenía antes del evento:	0	1	2	3	NA
<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. En general, fue suficiente para lograr los objetivos de aprendizaje 					

Continúa

Desempeño de los facilitadores

Facilitador

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					

Continúa

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					
<ul style="list-style-type: none"> • El contenido está dividido en segmentos que siguen una secuencia ordenada y clara 					
<ul style="list-style-type: none"> • El contenido se presenta de manera objetiva: respeta principios y métodos comúnmente aceptados en la práctica 					
<ul style="list-style-type: none"> • El contenido es fácil de leer y comprender 					
Contenido didáctico					
<ul style="list-style-type: none"> • Los objetivos de las actividades de aprendizaje están claramente establecidos 					
<ul style="list-style-type: none"> • Las estructuras de aprendizaje ayudan a que el participante entienda cada componente presentado 					
<ul style="list-style-type: none"> • Las preguntas al iniciar cada unidad orientan a los participantes acerca del tema por desarrollar 					
<ul style="list-style-type: none"> • Los ejercicios y prácticas realmente ayudan a desarrollar las capacidades necesarias para usar la tecnología presentada 					
Diseño visual y presentación					
<ul style="list-style-type: none"> • El tamaño y tipo de las letras hace el texto fácil de leer 					
<ul style="list-style-type: none"> • Las figuras y cuadros son fáciles de entender 					
<ul style="list-style-type: none"> • Las ilustraciones facilitan la comprensión del texto escrito 					
Recursos digitales asociados					
<ul style="list-style-type: none"> • La versión digital de los materiales de capacitación se encuentra disponible 					
<ul style="list-style-type: none"> • Es fácil ubicar el material requerido por los participantes para la celebración de ejercicios y prácticas 					
<ul style="list-style-type: none"> • Los materiales se pueden consultar y descargar rápidamente 					

Día
 Mes
 Año

Gracias por participar en esta evaluación, sus opiniones nos ayudan a mejorar la capacitación.

Referencias bibliográficas

- Campos R., A. y Cruz B., D.M. 2011. Riego con caudal reducido. Cali, Cenicaña. 12 p. (Serie Divulgativa N.º 13)
- FAO. 2009. Guía para la descripción de suelos. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>; consultada 03/23/2013
- Quintero Durán, R.; García Sánchez, A.; Cortés Lombana, A.; Muñoz Arboleda, F.; Torres Aguas, J.S.; Carbonell González, J.A.; Osorio, C.A. 2008. Grupos homogéneos de suelos del área dedicada al cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca (segunda aproximación) Colombia. Cenicaña. 106 p.
- Shaxson, F. y Barber, R. 2005. Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. El significado de la porosidad del suelo. (Boletín de suelos de la Fao, N.º 79). Disponible en <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/sb79s.pdf> y en <http://www.fao.org/docrep/008/y4690s/y4690s00.htm>; consultadas 03/23/2013
- US EPA. 1973. Water quality criteria 1972. PB-236 199/6BE. National Academy of Sciences – National Academy of Engineers. US Environmental Protection Agency, Washinton, D.C.
- USDA. Natural Resources Conservation Service. 1997. NRCS. Irrigation Guide. Natural Resources Conservation Service. Washington. D.C. 702 p.
- USDA. 1999. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Disponible en http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf; consultada 03/23/2013

Abreviaturas

A:	área de la sección (tubería)	g:	aceleración de la gravedad
Abs:	valor absoluto	H:	carga hidráulica
Ad:	área diaria de riego	h:	presión interna en una tubería
As:	área por posición o área del sector	hf:	pérdidas de energía por fricción
At:	área total con riego en la hacienda	hk:	pérdidas de energía por aditamentos
CE:	conductividad eléctrica	hl:	presión de entrada al lateral
C:	coeficiente de descarga de Hazen-Williams	hm:	presión media en un lateral
CA:	coeficiente de agotamiento o umbral de riego	hp:	pérdidas totales de energía
Ccw:	capacidad de campo gravimétrica	J:	pérdida de carga unitaria en una tubería
Cp:	contenido volumétrico de piedra	Jd:	jornada de riego
Cu:	coeficiente de uniformidad	Jl:	pérdida de carga unitaria en el lateral
d:	profundidad efectiva del suelo	K:	coeficiente de pérdida por aditamento
D:	diámetro interno de una tubería	L:	longitud (distancia entre dos puntos)
Dc:	diámetro interno de una tubería comercial	LARA:	lámina de agua rápidamente aprovechable
dh:	pérdidas de energía en un lateral	Lb:	lámina bruta
dpl:	diferencia de presión en un lateral	Ll:	longitud del lateral
dz:	diferencia de nivel o elevación entre los extremos de un lateral	Ln:	lámina neta
Etmáx:	evapotranspiración máxima diaria del cultivo	Lu:	lámina útil
Efa:	eficiencia de aplicación	\bar{m} :	valor medio de un conjunto de datos
F:	factor de reducción de pérdidas por salida múltiple de Christiansen	n:	número de datos medidos
F':	factor de Christiansen corregido	N:	número de salidas en una TSM
FR:	frecuencia de riego	Nd:	número de sectores por día
FR':	frecuencia ajustada	Ns:	número de sectores o posiciones
f:	coeficiente de rozamiento o factor de fricción	p:	posición (sector, módulo)
		Pmpw:	punto de marchitez permanente gravimétrico
		$\frac{p}{\gamma}$:	energía de presión por unidad de peso

Q:	caudal del sistema o caudal necesario	T:	tiempo de riego
qa:	caudal promedio por surco en lateral	TC:	tubería continua
Qa:	caudal medio en un lateral	TSD:	sólidos totales disueltos
Qe:	caudal de entrada	TSM:	tubería de salida múltiple
Ql:	caudal de entrada a una TSM o caudal del lateral	V:	velocidad del flujo
Qm:	caudal medio de las salidas	Vol:	volumen
Qo:	caudal remanente	Vp:	volumen de riego por sector o volumen por posición
Qs:	caudal de salida	$\frac{v^2}{2g}$	energía de velocidad por unidad de peso
r:	relación entre el caudal remanente y el caudal de entrada a una TSM	v:	viscosidad cinemática del agua
RDE:	relación entre el diámetro y el espesor de una tubería	x:	exponente de la presión
Re:	número de Reynolds (relación entre las fuerzas de inercia y las viscosas en una tubería)	z:	energía potencial o de altura por unidad de peso
S:	pendiente del terreno		
Sb:	gravedad específica aparente del suelo o densidad aparente relativa		
Se:	separación entre salidas		

Siglas

Cenicaña: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

EPA: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (sigla en inglés)

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (sigla en inglés)

USDA: Departamento de Agricultura de Estados Unidos (sigla en inglés)



Recurso digital

www.cenicana.org/pat

Títulos publicados

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

Sistema de producción agrícola

Herramientas AEPS

- Manejo agronómico del cultivo de la caña de azúcar con enfoque de agricultura específica por sitio, AEPS®

Manejo de aguas

- Control administrativo del riego, CAR
- Balance hídrico para la programación de los riegos en caña de azúcar
- Riego con caudal reducido en cultivos de caña de azúcar

Esta guía metodológica sobre riego con caudal reducido 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, edición de textos y diagramación

Victoria Carrillo C.

Diseño gráfico, ilustraciones y artes finales

Alcira Arias V.

Fotografías

Banco de imágenes Cenicaña

Impresión

Feriva 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).

PAT

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.

La presente guía metodológica está dirigida a los facilitadores del PAT, quienes se encargarán de lograr que el personal técnico, administrativo y operativo ocupado en las fincas productoras de caña se apropie de la tecnología de riego con caudal reducido, conozca sus limitaciones y aproveche sus beneficios económicos y ambientales. Como herramientas para el aprendizaje se proponen una serie de prácticas y ejercicios para que los participantes entren en contacto directo con los componentes del sistema de riego y tengan la ocasión de manipular los materiales, introducir modificaciones en la instalación y desarrollar nuevas propuestas para adaptar el caudal reducido en distintas condiciones de producción agrícola. Este contacto directo con la tecnología es una oportunidad para que los participantes en la capacitación sean sujetos activos de su propio aprendizaje.



www.cenicana.org/pat



cenicana

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

Calle 58N No. 3BN-110 Cali, Colombia

www.cenicana.org

ISBN: 978-958-8449-13-5



9 789588 449135