## Riego con caudal reducido

Armando Campos R. y Doris Micaela Cruz B.\*



# Avances de investigación

Resultados preliminares
y conclusiones finales
de los proyectos
de investigación científica
y tecnológica
de Cenicaña

#### Introducción

En el valle del río Cauca se cultivan actualmente cerca de 208 mil hectáreas con caña de azúcar para la producción de azúcar y etanol, de las cuales aproximadamente 50 mil hectáreas corresponden a zonas de piedemonte de las cordilleras Central y Occidental ubicadas por encima de la cota de 1050 metros sobre el nivel del mar y en donde la pendiente del terreno varía entre 1% y 7.5%.

Según los registros de la Red Meteorológica Automatizada de la agroindustria azucarera, la precipitación media anual en el período 1994-2009 fue de 1253 mm; el año 2008 fue el más lluvioso (1664 mm) y el 2001, el menos lluvioso (985 mm) (Cenicaña, 2010). El clima en el valle del río Cauca se caracteriza por un régimen bimodal de la precipitación, con dos temporadas lluviosas y dos temporadas secas. Los meses más representativos de las temporadas lluviosas son abril-mayo y octubrenoviembre y de las temporadas secas, enero-febrero y julio-agosto. Marzo, junio, septiembre y diciembre se consideran meses de transición.

De acuerdo con los resultados de la experimentación realizada por Cenicaña se estima que los requerimientos de agua de la caña de azúcar oscilan entre 1050 mm y 1300 mm por un ciclo de cultivo de trece meses (Torres *et al.*, 2004). En el valle del río Cauca cerca del 95% del área cultivada recibe riegos suplementarios, aplicados principalmente por surcos (gravedad o superficie), de modo que la productividad alcanzada ha dependido en buena parte del suministro oportuno de agua al cultivo, especialmente en los períodos secos cuando se presenta déficit de humedad en el suelo. En 2009, en los campos con manejo directo de seis ingenios los riegos representaron el 10% de los costos de campo (incluidos costos de preparación, adecuación, siembra, levantamiento e indirectos) y el 21% de los costos de levantamiento del cultivo.

<sup>\*</sup> Ingeniero Agrícola, M.Sc., Asesor en Manejo de Aguas <acampos@cenicana.org>; Ingeniera Agrícola, Investigadora Temporal en Manejo de Aguas <dmcruz@cenicana.org>. Ambos de Cenicaña.

Durante los últimos treinta años los ingenios azucareros y los cultivadores de caña, a través de Cenicaña, han promovido la investigación y el desarrollo tecnológico en el manejo de las aguas de riego y drenaje en la agroindustria azucarera, de manera que hoy se cuenta con la tecnología necesaria para la producción de caña con fundamentos científicos y criterios prácticos en la gestión eficiente del recurso hídrico y su uso racional.

En este documento se presentan los avances en el desarrollo de la tecnología de riego por surcos con caudales reducidos para el cultivo de la caña de azúcar en el piedemonte, con resultados promisorios en tales zonas y perspectivas de viabilidad en zonas planas. La iniciativa es coordinada por el Programa de Agronomía de Cenicaña y cuenta con el apoyo de los ingenios azucareros y los proveedores de caña y con recursos de cofinanciación otorgados por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR, Convocatoria nacional para la cofinanciación de programas y proyectos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación para el sector agropecuario por cadenas productivas con énfasis en cambio climático, 2008).

La experimentación del riego con caudal reducido tiene como objetivo contribuir a mitigar los efectos del cambio climático a través del uso racional y eficiente del agua en el cultivo de la caña de azúcar en Colombia. Es un complemento de las tecnologías disponibles y transferidas por Cenicaña, las cuales han sido adoptadas progresivamente por los cañicultores del valle del río Cauca, con más énfasis en los últimos años, cuando el cambio climático ha causado la disminución de los caudales de las fuentes de agua superficiales debido a anomalías en la cantidad y frecuencia de las lluvias, y cuando la variabilidad de los caudales ha ido en aumento por efecto de la intervención humana en los ecosistemas de páramo, la tala de bosques en las cuencas y la extracción de agua a lo largo de su recorrido.



Los resultados en zonas del piedemonte son promisorios y señalan que el sistema puede ser viable también en zonas de la parte plana del valle del río Cauca.

#### **Antecedentes**

En Venezuela, en la estación experimental Lara-Barquisimeto, Bohórquez y García (1985), con la idea de lograr un manejo eficiente del agua por parte de los agricultores en zonas donde el agua es escasa, ensayaron una técnica de riego denominada "riego por chorrito", que consiste en la combinación de riego por goteo y gravedad por surcos, en la cual el agua se lleva por tuberías desde la fuente hasta la cabecera del lote por regar, para luego aplicarla en cada surco mediante pequeñas salidas con caudales del orden de L/hora y tiempos de aplicación de 24 horas, es decir, riego permanente.

En Colombia, investigadores del Programa de Agronomía de Cenicaña dirigieron un trabajo de grado de los estudiantes Díaz y Prieto (2000) con el fin de evaluar mediante un ensayo preliminar el riego con caudal reducido en la hacienda El Reporter (Riopaila Castilla, planta Castilla) localizada en el municipio de Miranda, en un suelo de la consociación Porvenir (Typic Argiudoll, franco arcilloso) con contenido de grava del 15% y caracterizado por una tasa de infiltración baja, drenaje interno pobre y pendientes entre 2% y 3%. Se evaluaron caudales (L/s) de 0.025, 0.05 y 0.1. Los resultados mostraron un aumento de las eficiencias de almacenamiento y uso del agua con una disminución de las áreas con déficit de riego. En este trabajo se determinaron los valores de los coeficientes de descarga de Hazen-Williams (Sotelo, 1974) para tuberías de polietileno reciclado según el diámetro de éstas: coeficientes de 80 para diámetros de 3", 116 para 2" y 76 para ½".

En el año 2006 Cenicaña inició la investigación actual que hasta junio de 2010 daba cuenta de cuatro experimentos y una instalación comercial con resultados en plantilla y primera soca en suelos de piedemonte de textura esquelética arcillosa y textura arcillosa sobre esquelética arcillosa. Hasta mayo de 2010 se sumaban 186 hectáreas con instalaciones para el riego con caudal reducido, en tierras vinculadas con siete ingenios azucareros donde los cultivadores de caña y el centro de investigación están comprometidos con el desarrollo de la tecnología. El proceso incluye evaluaciones integradas del sistema a través de pruebas experimentales y comerciales.

#### Descripción del sistema

Según la información disponible en el Sistema de Información Geográfica administrado por Cenicaña, cerca del 25% del área cultivada en caña de azúcar en el valle del río Cauca se localiza en el piedemonte de las cordilleras Occidental y Central.

Los suelos del piedemonte se caracterizan por tener poca profundidad, altos contenidos de grava (entre el 10% y el 32% en volumen) y pendiente del terreno mayor del 1%. Los altos contenidos de piedra disminuyen la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo y su fertilidad, por lo cual es necesario hacer riegos frecuentes, en algunos casos por aspersión, con los altos costos que conlleva esta práctica.

El riego con caudales reducidos consiste en la aplicación permanente de agua en pequeños caudales en la cabecera de los surcos, aprovechando la cabeza hidráulica que provee la pendiente del terreno para su funcionamiento. En este sistema se aprovechan las fuentes de bajos caudales y se utilizan materiales de bajo costo, fácil consecución en los mercados locales y manipulación conocida por los agricultores, como tuberías de polietileno reciclado y PVC, aditamentos de PVC, aluminio fundido, polietileno, hierro galvanizado y llaves de paso para controlar el caudal. El agua se conduce y se aplica a los lotes mediante tuberías, sin pérdidas de agua, con lo cual se consiguen eficiencias de riego altas.

Este sistema de riego se convierte en una opción para la aplicación del agua que facilita el aprovechamiento de los bajos caudales de las fuentes de agua disponibles para la agricultura en el piedemonte.

#### Sitios experimentales y tratamientos

El riego con caudal reducido ha sido probado en áreas experimentales y comerciales de los ingenios Riopaila Castilla (planta Castilla: haciendas Vallecito, La Fría y Los Ranchos), Pichichí (hacienda Lorena) y Providencia (hacienda La Italia Molinares). Los experimentos en Los Ranchos y la Italia Molinares se desarrollan con la cofinanciación del MADR.

En las haciendas Vallecito, La Fría y Lorena se realizaron pruebas para el perfeccionamiento hidráulico del sistema y la evaluación de su eficacia como método de riego para la caña de azúcar en el piedemonte; en los dos últimos sitios se midió la respuesta de la caña ante diferentes formas de aplicación del riego con caudal reducido y se comparó con otros métodos de riego, de forma que se contabilizaron el gasto de agua y el ahorro.

En todos los sitios se caracterizó el área experimental en cuanto a topografía (planimetría y altimetría), cabeza hidráulica disponible, perfil del suelo, textura, densidad aparente, infiltración y contenido de grava. En la Figura 1 se muestra el perfil de un suelo característico del piedemonte. Se determinaron además las pendientes de los surcos, así como el caudal disponible y los caudales por surco. La conducción y distribución del agua se realizó mediante tuberías de polietileno reciclado de diámetros de 3" (75 mm) y 2" (50 mm); la aplicación de agua a los surcos se hizo con tubos de polietileno virgen de 6 mm, 12 mm y 16 mm (Figura 2); también se usaron tubos cortos de PVC de diámetros pequeños.

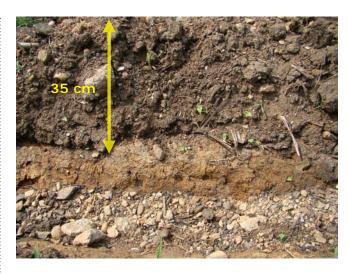


Figura 1. Suelo característico del piedemonte, poco profundo y con altos contenidos de piedra, por lo cual es necesario hacer riegos frecuentes.





Figura 2. Aplicación de agua al surco con tubería de polietileno de 16 mm de diámetro en el sistema de riego con caudal reducido.

- Hacienda Vallecito (Castilla): En la suerte 070, zona agroecológica 29H0, suelo Pichichí (Vertic Argiustolls, familia textural esquelética arcillosa) sembrado con la variedad Co 421 (cuarto corte) se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en aplicar caudales por surco comprendidos entre 0.06-0.12 L/s, mediante tubos de polietileno de 6 mm de diámetro; se dispuso de una cabeza hidráulica de 19.2 m y un caudal del sistema de 1.7 L/s. Las parcelas experimentales estuvieron constituidas por seis surcos de 70-100 m de longitud y pendientes entre 1.7-4.9%.
- Hacienda La Fría (Castilla): En la suerte
  030, zona agroecológica 27H0, suelo Italia
  (Typic Agiustolls, familia textural arcillosa sobre
  esquelética arcillosa), sembrada con la variedad
  CC 84-75 (plantilla) se estableció una instalación
  comercial con cinco sectores de riego, cada uno
  con 30 salidas en riego por surco alterno. Se
  aplicaron caudales por surco de 0.09 L/s con un
  coeficiente de uniformidad de 0.76 y un caudal del
  sistema de 2.75 L/s, para una cabeza hidráulica de
  43 m.
- Hacienda Lorena (Pichichí): En la suerte 16, zona agroecológica 26H0, suelo Esneda (Typic Haplusterts, familia textural arcillosa sobre esquelética arcillosa) con contenidos de grava del 22%, longitud de los surcos de 123 m y pendiente del 3%, en la variedad CC 85-92 se probó el riego con caudal reducido en plantilla y primera soca. En la plantilla, a pesar de haber aplicado caudales por surco hasta de 0.3 L/s, el riego sólo logró cubrir 50 m de la longitud total de los surcos debido a la falta de aporque. En la primera soca, con el aporque adecuado, se probaron tubos cortos de PVC con diámetros desde 16 mm hasta 50 mm para aplicar el agua a los surcos desde la aceguia de cabecera, de modo que se obtuvieron diferentes caudales (desde 0.18 L/s hasta 1.63 L/s) y tiempos de avance entre 3 y 25 horas, con cargas hidráulicas entre 8 cm y 16 cm. Luego de los ensayos se seleccionó el tubo "conduit" de PVC de diámetro interno de ¾" (23.6 mm), que suministra un caudal de 0.30 L/s con una carga hidráulica de 11 cm, un tiempo de avance de 20.4 horas y una lámina aplicada de 128 mm por riego (Figura 3). Se evaluaron tres tratamientos de riego con caudal reducido (al 2x1, al 1x2 y al 1x2 alterno) y un tratamiento de riego convencional con un caudal por surco de 5 L/s en la modalidad al 2x1, en cuatro repeticiones.
- Hacienda Los Ranchos (Castilla): En la suerte 60, zonas agroecológicas 22H0 y 27H1, suelos Acuario (Typic Haplustolls, familia textural

- esquelética francosa) e Italia (Typic Argiustolls, familia textural arcillosa sobre esquelética arcillosa), el experimento fue sembrado el 19 de septiembre de 2008 con la variedad CC 84-75. El agua se tomó de un reservorio situado a 370 m de distancia y una cota de 25.5 m sobre la cabecera del área experimental, con una pendiente del terreno en el sentido de los surcos del 3%. El experimento incluvó cinco tratamientos y cuatro repeticiones: tres tratamientos de caudal reducido (surco continuo, alterno y alterno-alterno), un testigo sin riego y un testigo comercial (con riego por aspersión). En los tratamientos de riego con caudal reducido por surco alterno y surco alternoalterno se buscó establecer alternativas de riego adaptadas a una situación de cambio climático caracterizada por disminución de lluvias y escasez de agua para riego; para ello se utilizaron láminas que son aproximadamente la mitad de las aplicadas en el riego con caudal reducido por surco continuo.
- Hacienda la Italia Molinares (Providencia): En este experimento se tienen los mismos tratamientos descritos antes para la hacienda Los Ranchos pero con un testigo comercial con riego por gravedad, con igual diseño experimental. Está ubicado en la suerte 1 de la Italia Molinares, zonas agroecológicas 26H0 y 27H1, suelos Esneda (Typic Haplusterts, familia textural arcillosa sobre esquelética arcillosa) e Italia (Typic Argiustolls, familia textural arcillosa sobre esquelética arcillosa), donde se sembró la variedad CC 85-92 el 5 de octubre de 2008. La fuente de agua es un reservorio situado a 100 m de distancia y con una cota de 5.12 m sobre la cabecera del área experimental (2.4 ha), con pendiente del 3% en la dirección de los surcos.

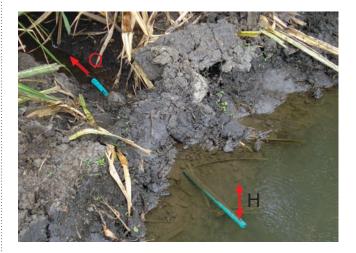


Figura 3. Aplicación de agua al surco en el sistema de riego con caudal reducido. Hacienda Lorena, Ingenio Pichichí.

#### Resultados hídricos y de cosecha

- Hacienda Vallecito (Castilla): Durante el ciclo de cultivo (edad de cosecha: 11.5 meses) se presentaron 1025 mm de precipitación y 1856 mm de evaporación. El tratamiento en el que se logró mayor tonelaje de caña por hectárea (80 TCH) se utilizó un caudal promedio de 0.11 L/s de modo que la caña recibió una lámina por riego de 86 mm y un volumen total de riego de 2329 m<sup>3</sup>/ha aplicado en tres eventos, con tiempo de avance de 24 horas. El resultado de este tratamiento significó un aumento de producción del 42% con relación al testigo sin riego (diferencias estadísticas al 2%). El tonelaje obtenido en el tratamiento comercial fue igual al del testigo sin riego (56 TCH), sin diferencias estadísticas en sacarosa (% caña) (Campos et al., 2009). Caudales pequeños (0.06 L/s y 0.08 L/s) generaron láminas de riego excesivas (203 mm y 239 mm) debido al incremento en los tiempos de avance. Por su parte, caudales muy altos (0.12 L/s) resultaron en láminas de riego insuficientes (68 mm) que finalmente afectaron de forma negativa la producción. La baja producción de la suerte pudo ser debida a una fertilización insuficiente que no compensó el alto contenido de piedra (32%) en el perfil del suelo; puede ser posible lograr aumentos en el tonelaje con una aplicación de fertilizante más generosa.
- Hacienda La Fría (Castilla): En esta instalación el riego con caudal reducido en la modalidad de surco alterno resultó en producciones similares a las conseguidas con el riego por aspersión (84 TCH y 88 TCH, respectivamente).
- Hacienda Lorena (Pichichí): Con 1294 mm de precipitación y 1664 mm de evaporación durante la primera soca, el testigo con riego por surcos convencional al 2x1 recibió siete riegos, de los cuales dos fueron de germinación y cinco fueron de levantamiento. Los tratamientos con caudal reducido recibieron cinco riegos (dos de germinación, un riego de levantamiento que fue necesario aplicar de modo convencional mientras se probaban los tubos cortos y dos riegos de levantamiento con caudal reducido). En estas condiciones las variables TCH y sacarosa % caña no presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Ibid). Sin embargo, el tratamiento de caudal reducido al 1x2 alterno presentó una diferencia de 8 TCH con respecto al riego por surcos convencional al 2x1, lo cual coincide con lo observado en evaluaciones anteriores de riego convencional por surcos, en las cuales el surco alterno-alterno presentó una producción un poco superior a la del surco continuo.

Vale recordar que en este experimento se aplicaron tres tratamientos de riego con caudal reducido (al 2x1, al 1x2 y al 1x2 alterno) y un tratamiento convencional por surcos al 2x1. El volumen aplicado con caudal reducido al 2x1 fue el 55% del aplicado con el riego convencional al 2x1 que, con un caudal por surco de 5 L/s, presentó una eficiencia de aplicación del 38%. La eficiencia de aplicación del riego al 2x1 con caudal reducido fue del 43%. Las eficiencias del riego con caudal reducido al 1x2 y al 1x2 alterno fueron del 49% y el 48%, con un gasto de agua cercano a la mitad del empleado en el riego convencional al 2x1.

Hacienda Los Ranchos (Castilla): Con una precipitación de 1250 mm y una evaporación de 1721 mm durante el ciclo del cultivo, el testigo comercial (aspersión) recibió un menor número de riegos debido al alto costo por riego, aunque con un volumen total de 4527 m<sup>3</sup>/ha, similar al recibido por los tratamientos de surco alterno con caudal reducido (4436 m³/ha y 4458 m³/ha), lo cual pudo ser una causa de la menor respuesta en producción del testigo comercial.

Al comparar las producciones de los tratamientos con riego y del testigo sin riego se encontraron diferencias estadísticas significativas al 2% en TCH; el riego con caudal reducido presentó aumentos de producción del 23% con respecto al testigo sin riego y de 9.3% en relación con el riego por aspersión (Cuadro 1). Los volúmenes de agua aplicados con caudal reducido por surco alterno y alterno-alterno correspondieron al 53% del volumen gastado en surco continuo, con eficiencias de aplicación del orden del 55% y ahorros de agua que superaron los 5000 m<sup>3</sup>/ha durante el ciclo de cultivo, sin que se presentaran diferencias estadísticas en producción entre ellos.

Hacienda la Italia Molinares (Providencia): En el Cuadro 2 se muestran los resultados hídricos y de cosecha obtenidos en este experimento. Con una precipitación de 1156 mm y una evaporación de 1772 mm en el ciclo de cultivo de 15.5 meses, la productividad del tratamiento de riego con caudal reducido en surco continuo superó en 38% al testigo sin riego, en 24% al testigo comercial (riego por gravedad convencional) y en 7% y 6% al riego con caudal reducido por surco alterno y por surco alterno-alterno. En el tratamiento con caudal reducido por surco continuo la caña recibió una cantidad superior de agua de riego durante el ciclo de cultivo, cuatro veces la recibida por el testigo comercial (regado según el criterio del agricultor en condiciones de escasez de agua) y dos veces la recibida por el tratamiento de riego con caudal reducido por surco alterno. El tratamiento de caudal reducido por surco alterno presentó un ahorro de agua cercano a los 5000 m³/ha. En condiciones de escasez de agua por la presencia del fenómeno de El Niño, es indudable que el riego por surco alterno cobra gran importancia por su potencial para regar un área mayor con la misma cantidad de agua o realizar mayor número de riegos al cultivo.

En las haciendas Los Ranchos y la Italia Molinares se realizaron mediciones de escorrentía superficial con resultados que muestran que al final del surco sólo se pierde un volumen de agua menor del 1% del aplicado en la cabecera; así mismo, que el agua no sufre alteración significativa en su calidad en el tránsito a lo largo del surco.

#### Análisis económico

En los experimentos de caudal reducido establecidos en las haciendas Los Ranchos y La Italia Molinares se determinó la relación beneficio-costo del riego con caudal reducido y se comparó con la del riego comercial realizado en cada sitio (gravedad o aspersión), teniendo en cuenta: costos de inversión, costos de operación y mantenimiento, ingresos netos incrementales y costo financiero.

Los costos de inversión sólo se tuvieron en cuenta para el riego con caudal reducido, por cuanto el riego por aspersión se contrata y el riego por gravedad se carga a los costos de operación y mantenimiento.

Cuadro 1. Resultados hídricos y de cosecha. Hacienda Los Ranchos, suerte 60, Riopaila Castilla (planta Castilla). Variedad CC 84-75 (plantilla).

		Volumen			Ahorro de agua <sup>1</sup>				
Tratamiento de riego	Volumen por riego (m³/ha)	total aplicado (m³/ha)	Número de riegos	Eficiencia de aplicación (%)	(m³/ha)	%	тсн	Sacarosa (% caña)	TSH
Testigo sin riego	0	0	0	0	0	0	105c*	14.8	15.5b
Aspersión	1509	4527	3	23	4953	52	118b	15.9	18.72a
Caudal reducido									
Surco continuo	1357	9480	7	26	0	0	131a	15.3	20.07a
Surco alterno	634	4436	7	55	5044	53	127ab	16.0	20.40a
Alterno-alterno	637	4458	7	55	5022	53	129ab	15.8	20.52a
Promedio						122	15.6	19	
Coeficiente de variación						5.8	5.23	9.15	

<sup>1.</sup> Ahorro de agua con respecto al riego con caudal reducido en surco continuo.

Cuadro 2. Resultados hídricos y de cosecha. Hacienda La Italia Molinares, suerte 1, Ingenio Providencia. Variedad CC 85-92 (plantilla).

		Volumen				Ahorro de agua <sup>1</sup>			
Tratamiento de riego	Volumen por riego (m³/ha)	total aplicado (m³/ha)	Número de riegos	Eficiencia de aplicación (%)	(m³/ha)	%	тсн	Sacarosa (% caña)	TSH
Testigo sin riego	0	0	0	0	0	0	52bc*	15.8	8.15b
Gravedad	580	2320	4	47	7121	75	58bc	13.4	7.75b
Caudal reducido									
Surco continuo	944	9441	10	29	0	0	72a	15.9	11.4a
Surco alterno	476	4756	10	57	4685	50	67ab	15.1	10.15a
Alterno-alterno	531	5307	10	51	4134	44	68a	15.6	10.65a
Promedio							63	15.2	9.62
Coeficiente de variación							9.6	8.6	13.19

<sup>1.</sup> Ahorro de agua con respecto al riego con caudal reducido en surco continuo.

<sup>\*</sup> Valores con letras iguales no presentan diferencias significativas (LSM, 5%)

Valores con letras iguales no presentan diferencias significativas (LSM, 5%)

La depreciación del sistema de riego con caudal reducido se consideró lineal (\$1,392,420 por hectárea para una vida útil de 10 años), con una depreciación por año de \$277,443/ha incluidos los intereses (tasa del 15% anual) (Cuadro 3).

En los costos de operación y mantenimiento en los dos sitios y para los tres sistemas (gravedad, aspersión y caudal reducido) se tuvieron en cuenta el costo del agua (fuente superficial: 16 \$/m³), los costos de la mano de obra por evento y el mantenimiento y la construcción de acequias para un ciclo de cultivo. En el riego por aspersión, además de lo anterior, se tuvieron en cuenta el alquiler del equipo y la mano de obra para cada evento de riego realizado (\$165,110/ha por riego).

El ingreso neto se determinó como la diferencia entre el ingreso bruto y los costos de la labor de riego; los demás costos se mantuvieron constantes dado que todos los tratamientos recibieron las mismas labores de campo. La producción se valoró en \$42,500/t de caña (50 kilos de azúcar/tonelada de caña \* \$850/kilo de azúcar). El ingreso neto incremental se determinó como los beneficios obtenidos con el riego con respecto al testigo sin riego de levantamiento.

Cuadro 3. Costos de inversión en el sistema de riego con caudal reducido, por hectárea.

Caudal reducido	Costo de inversión (\$/ha)
Jornales de instalación y acequias	242,420
Materiales	1,000,000
Diseño del sistema y dirección de obra	150,000
Total	1,392,420

- Hacienda Los Ranchos (Castilla): Los costos del riego con caudal reducido fueron inferiores a los costos del riego por aspersión (Cuadro 4). El riego con caudal reducido por surco alterno-alterno presentó la mayor relación beneficio/costo y un beneficio ambiental alto (con la mitad del volumen de agua aplicado se obtuvieron producciones similares, con respecto al surco continuo), y que el riego por aspersión presentó una relación beneficio/costo negativa.
- Hacienda la Italia Molinares (Providencia):
  Al realizar la comparación entre tratamientos
  se observó que la relación beneficio/costo fue
  menor que la unidad e inferior que la del riego
  por gravedad (en el riego con caudal reducido
  se realizó una inversión inicial y se causó un
  costo financiero no contabilizado en el riego por
  gravedad) (Cuadro 5). La baja productividad en
  este sitio experimental fue ocasionada por una baja
  población de tallos, una consecuencia de la falta de
  labores oportunas debido al bloqueo al que se vio
  sometido el ingenio en el año 2008. Sin embargo,
  el ingreso neto incremental del riego con caudal
  reducido en todas las modalidades estuvo por
  encima del registrado en el riego por gravedad.

El riego con caudal reducido por surco alternoalterno presenta una relación beneficio/costo similar a la del surco continuo aunque, por ser menos operativo, es probable que los cultivadores terminen acogiendo el riego por surco alterno que (en comparación con el surco continuo) utiliza la mitad del volumen del agua de riego con respuestas en producción similares y beneficios económicos mayores, factores de gran importancia en condiciones de una aguda escasez de agua como las presentadas recientemente en el valle del río Cauca.

Cuadro 4. Análisis comparativo de costos, ingresos y relación beneficio/costo de los tratamientos evaluados en el experimento de riego con caudal reducido en la hacienda Los Ranchos, suerte 60, Riopaila Castilla (planta Castilla). Edad de corte: 13 meses.

Tratamiento de riego	тсн	Volumen total aplicado (m³/ha)	Costo labor de riego (\$/ha)	Ingreso bruto (\$/ha)	Ingreso neto incremental (\$/ha)	Beneficio/costo
Testigo sin riego	105	0	0	4,462,500	-	-
Aspersión	118	4527	581,762	5,015,000	-29,262	-0.1
Caudal reducido						
Surco continuo	131	9498	466,161	5,567,500	638,839	1.4
Surco alterno	127	4436	385,169	5,397,500	549,831	1.4
Alterno-alterno	129	4458	385,521	5,482,500	634,479	1.6

Cuadro 5. Análisis comparativo de costos, ingresos y relación beneficio/costo de los tratamientos evaluados en el experimento de riego con caudal reducido en la hacienda La Italia Molinares, suerte 1, Ingenio Providencia. Edad de corte: 15.5 meses.

Tratamiento de riego	тсн	Volumen total aplicado (m³/ha)	Costo labor de riego (\$/ha)	Ingreso bruto (\$/ha)	Ingreso neto incremental (\$/ha)	Beneficio/costo
Testigo sin riego	52	0	0	2,210,000	-	-
Gravedad	58	2320	135,120	2,465,000	119,880	0.9
Caudal reducido						
Surco continuo	72	9441	480,999	3,060,000	369,001	0.8
Surco alterno	67	4756	406,039	2,847,500	231,461	0.6
Alterno-alterno	68	5307	414,855	2,890,000	265,145	0.6



El aporque es necesario para controlar la distribución del agua en los surcos.

Se recomienda conformar los entresurcos de forma trapezoidal, con altura entre 10-20 cm y base entre 50-60 cm de ancho.



# Difusión del sistema en áreas experimentales y comerciales

Actualmente se tienen instalaciones para el riego con caudal reducido en quince zonas agroecológicas caracterizadas por suelos de diez familias texturales (Cuadro 6). Son suelos representativos de diez grupos homogéneos de suelos (grupos 2, 6, 10, 11, 18, 22, 26, 27, 29 y 31; Quintero *et al.*, 2008) en donde se presentan las condiciones de déficit o exceso de humedad definidas en los Grupos de Humedad 0, 1, 3, 4 y 5 (Torres *et al.* 2009). Las familias texturales de los suelos son: fina, muy fina, francosa fina, francosa gruesa, esquelética arcillosa, esquelética francosa, arcillosa sobre esquelética francosa, esquelética arcillosa sobre esquelética francosa y esquelética francosa-francosa fina sobre esquelética arenosa.

La tendencia en las instalaciones comerciales es el uso de tubería de PVC debido al menor costo de los materiales y a que las pérdidas de agua son nulas en comparación con las que ocurren con las tuberías de polietileno (Figura 4).



Figura 4. Distribución, llave de paso y elevador en el sistema de riego con caudal reducido. Hacienda El Waco, Ingenio Mayagüez.

Cuadro 6. Difusión del sistema de riego con caudal reducido en áreas experimentales y comerciales en zonas de piedemonte del valle del río Cauca. Mayo de 2010.

	Hasianda	Áwaa		Suelo	7		
Ingenio	Hacienda (suerte)	Área (ha)	Consociación	Subgrupo	Familia textural	Zona agroecol.	Actividad
	Co. J. do.	15.2	Troja	Udic Haplustolls	Fina	31H3	
Incauca	San Judas (15 y 16)		América	Udorthentic Haplustolls	Francosa fina sobre esquelética francosa	6H4	Instalación comercial
La Cabaña	Vallecito (7A)	5.8	Pichichí	Vertic Argiustolls	Esquelética arcillosa	29 H1	Instalación comercial + experimento (fertirriego con RCR¹)
	La Cabaña	24.7	Rio Paila	Fluventic Hapustolls	Francosa gruesa	11H1	Instalación comercial
Manuelita	(4)	21.7	Palmira	Pachic Haplustolls	Francosa fina	18H1	+ experimento (% área regada RCR)
	San Antonio (6B)	3.6	Jordán	Typic Haplustolls	Francosa Fina	11H1	Pruebas de avance
	El Waco (60)	8.3	Santa Helena	Entic Haplustolls	Esquelética arcillosa	22H0	Instalación comercial + experimento (% área regada RCR)
Mayagüez	El Pindo		Cantarina	Pachic Vertic Hapustolls	Fina	6H1	
	(6)	25.4	Pindo	Vertic Argiustolls	Muy fina	2H1	Instalación comercial
	Italia Molinares (1)	2.2	Esneda	Typic Haplusterts	Arcillosa sobre esquelética arcillosa	26H0	
Providencia			Italia	Typic Argiustolls	Arcillo sobre esquelética arcillosa	27 H1	Experimento
	Piedechinche (47)	-	Cerrito-Nima	Entic Haplustolls	Esquelética francosa- francosa fina sobre esquelética arenosa	22H0	Se realizaron pruebas de avance. No funcionó el RCR.
	Los Ranchos (60)		Acuario	Typic Haplustolls	Esquelética francosa	22H0	
			Italia	Typic Argiustolls	Arcillosa sobre esquelética arcillosa	27H1	Experimento
Riopaila	Los Ranchos (30)	20.6	Minga	Typic Haplustolls	Esquelética arcillosa sobre esquelética francosa	29H1	
Castilla (planta Castilla)	Los Ranchos (50)	9.4	Italia	Typic Argiustolls	Arcillosa sobre esquelética arcillosa	27H1	
	La Fría (30)	10.8	Italia	Typic Argiustolls	Arcillosa sobre esquelética arcillosa	27H0	Instalación comercial
	Oriente (10)	10.2	Troja	Udic Haplustolls	Fina	6H3	
	Las Brisas (10)	12.3	Argelia	Vertic Argiustolls	Fina	11H4	
Riopaila Castilla	Zanjón Hondo (3)	4.5	Villa	Typic Haplustepts	Francosa fina	11H0	Instalación as
(planta Riopaila)	Valparaíso (41 a 44)	38.0	Juanchito	Vertic Endoaquepts	Fina	10H5	Instalación comercial
Total		185.7					

<sup>1.</sup> Riego con caudal reducido.

#### Conclusiones

- El riego con caudal reducido es promisorio para las condiciones del piedemonte por los bajos costos iniciales y de operación y las mayores eficiencias de riego.
- 2. Los caudales por surco entre 0.1–0.3 L/s se muestran como los más convenientes para el piedemonte porque no son erosivos y se adaptan a diferentes pendientes (1.9–4.7%); además, con estos caudales se logran avances en longitudes de surco de 100–120 m y se aplican láminas no excesivas ni deficitarias (100–130 mm por riego) en tiempos de avance de 20–24 horas.
- 3. El riego con caudal reducido por surco alterno presenta ventajas ambientales frente al surco continuo puesto que el gasto de agua se reduce aproximadamente a la mitad y se obtienen tonelajes de caña por hectárea similares.

#### Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a Guillermo Ramírez, Gustavo Barona, Miller Vélez, Higinio Mina y Diógenes Arango, de Riopaila Castilla; a Eliseo Nossa y Alejandro Durán, del Ingenio Pichichí; a Luis Guillermo Molinares, de Agropecuaria El Japón y Molinares y Cía. S.C.A.; al personal técnico y de campo de Cenicaña; al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y en general al personal de los ingenios azucareros y a los cultivadores de caña de azúcar donantes de Cenicaña.

#### Referencias bibliográficas

- Bohórquez, C.; García G.A. 1985. El riego por chorrito. FONAIAP Divulga. Vol. 2 (18): 14-15.
- Campos Rivera, A.; Cruz Bermúdez, D.M.; Torres., J.S. 2009. Riego con caudal reducido. p.280-288. En: Congreso de la Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar, 8. Memorias. Cali. Colombia. 16-18 septiembre de 2009. Tecnicaña, Cali, Colombia.
- Cenicaña (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia). 2010. Informe anual 2009. Cenicaña, Cali, Colombia. 118 p.
- Díaz Ospina, D.; Prieto Paternina, C.A. 2000. Diseño y evaluación de un sistema de riego por surcos con caudal reducido. Tesis Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional-Universidad del Valle. Palmira. 115 p.
- Quintero Durán, R.; García Sánchez, A.; Cortés Lombana, A.; Muñoz Arboleda, F.; Torres, J.S.; Carbonell González, J.; 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). Cenicaña, Cali, Colombia. 106 p. (Serie Técnica, no.37)
- Sotelo G. 1974. Hidráulica General. Vol I. Fundamentos. Limusa. México. 551 p.
- Torres, J.S.; Cruz Valderrama, R.; Gómez, A.; Londoño, J.D.; Campos Rivera, A.; Caicedo Ángel, J.H. 2009. Afinamiento y validación de los grupos de humedad usados en la zonificación agroecológica. Cenicaña, Cali, Colombia. 12 p. (Documento de Trabajo, 696)
- Torres, J.S.; Cruz Valderrama, R.; Villegas T., F. 2004. Avances técnicos para la programación y el manejo del riego en caña de azúcar. Segunda edición. Cenicaña, Cali, Colombia. 66 p. (Serie Técnica, no.33)

### Nuestro gran compromiso es cuidar el agua, regalo de la naturaleza esencial para la vida





#### Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia - Cenicaña

Agroindustria unida en la investigación y el desarrollo

Cenicaña es una institución privada de carácter científico y tecnológico, sin ánimo de lucro, fundada en 1977 por iniciativa de la agroindustria azucarera localizada en el valle del río Cauca. Su misión es contribuir por medio de la investigación, evaluación y divulgación de tecnología y el suministro de servicios especializados al desarrollo de un sector eficiente y competitivo, de manera que éste juegue un papel importante en el mejoramiento socioeconómico y en la conservación de un ambiente productivo, agradable y sano en las zonas azucareras.

Las actividades de investigación y desarrollo son financiadas por los ingenios azucareros y los cultivadores de caña a través de donaciones directas definidas cada año como un porcentaje del valor de la producción de azúcar.

Las áreas de investigación se enmarcan en tres programas: Variedades, Agronomía y Procesos de Fábrica. Los servicios de apoyo son: Información y documentación, Economía y Estadística, Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología y Tecnología Informática. El Centro Experimental está ubicado a 3°13′ latitud norte, a 1024 metros de altura sobre el nivel del mar. En este sitio la temperatura media anual es de 23.5 °C, la precipitación de 1160 mm y la humedad relativa de 77%.

La *Carta Trimestral* es una publicación periódica, editada por Cenicaña con el propósito de difundir información y conocimientos científicos y tecnológicos relacionados con el desarrollo de la agroindustria azucarera colombiana. Ofrece documentación resumida sobre los resultados generados por el centro de investigación y las experiencias de ingenios y cañicultores con las nuevas tecnologías, al tiempo que provee las referencias bibliográficas complementarias sobre cada tema. El primer volumen fue editado en 1978, y los cambios más significativos de diseño y concepto editorial se dieron en 1997 cuando la versión impresa comenzó a publicarse también en Internet.

Título: Riego con caudal reducido

Autores: Armando Campos R. y Doris Micaela Cruz B.

Publicado en: Carta Trimestral. Cenicaña, 2010. v.32, nos. 1 y 2. p.13-22

© Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia, 2010.

Centro Experimental: vía Cali-Florida, km 26
Tel: (57) (2) 6876611 – Fax: (57) (2) 2607853w
Oficina de enlace: Calle 58 norte no.3BN-110
Apartado aéreo: 9138
Cali, Valle del Cauca – Colombia

www.cenicana.org buzon@cenicana.org