

**Efecto de dos descargas y dos
distanciamientos entre surcos y cuatro
láminas de riego en caña de azúcar**

**Amelio Alejandro Chi Serrano
Saúl Edgardo Bautista Delcid**

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2011

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Efecto de dos descargas y dos distanciamientos entre surcos y cuatro láminas de riego en caña de azúcar

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingenieros Agrónomos en el Grado
Académico de Licenciatura

Presentado por

Amelio Alejandro Chi Serrano
Saúl Edgardo Bautista Delcid

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2011

Efecto de dos descargas y dos distanciamientos entre surcos y cuatro láminas de riego en caña de azúcar

Presentado por:

Amelio Alejandro Chi Serrano
Saúl Edgardo Bautista Delcid

Aprobado:

Francisco Álvarez, MAE.
Asesor Principal

Abel Gernat, Ph.D.
Director
Carrera Ingeniería Agronómica

Carlos Morales, Ing.
Asesor

Raúl Espinal, Ph.D.
Decano Académico

Alfredo Rueda, Ph.D.
Asesor

RESUMEN

Chi Serrano, A.A.; Bautista Delcid, S.E. 2011. Efecto de dos descargas y dos distanciamientos entre surcos y cuatro láminas de riego en caña de azúcar. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería Agronómica. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 20 p.

El objetivo del estudio fue comparar el efecto en la producción de azúcar en dos ensayos, usando dos descargas y dos distanciamientos entre surcos para el primer ensayo, y cuatro láminas de riego aplicadas al cultivo en el segundo ensayo. En ambos se evaluó la relación costo beneficio. Los ensayos se realizaron en la finca Palo Verde de la Compañía Azucarera Tres Valles (CATV) usando la variedad CP722086 y mangueras autocompensadas de la marca Netafim, evaluando variables agronómicas y de producción. Para el ensayo de descargas y distanciamientos se usaron descargas de 0.6 y 1.0 L/h respectivamente, los surcos fueron separados a 1.8 y 2.4 m. En el ensayo de láminas de riego se probaron láminas de 50, 80, 100 y 120%, tomándose como testigo la de 100% de acuerdo a los datos de la evapotranspiración de referencia obtenidos de una estación climatológica y coeficientes de cultivo (Kc). Se utilizó un diseño de Bloques Completos al Azar con cuatro repeticiones para ambos ensayos. En el ensayo de descargas y distanciamientos se realizó un arreglo factorial. La separación de medias se realizó con la prueba Least Significant Difference (LSD). No hubo diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en las variables agronómicas al evaluar las descargas y distanciamientos, pero el distanciamiento de 1.8 m mostró un aumento de 17% más en toneladas de azúcar por hectárea comparado con el de 2.4 m. Económicamente el distanciamiento de 1.8 m con descargas de 1.0 L/h obtuvo una tasa de retorno marginal de 1,622%. En el análisis de varianza para rendimiento, no se observó efecto de la interacción descarga \times distanciamiento entre surco, solamente mostraron diferencia significativa los tratamientos con distanciamiento de 1.8 m y descargas de 0.6 y 1.0 L, con respecto al distanciamiento de 2.4 m y descarga de 0.6 L en la producción de toneladas de azúcar por hectárea. En el ensayo de cuatro láminas de riego no hubo diferencia significativa ($P \leq 0.05$) para variables agronómicas ni de producción. Los beneficios netos más altos y costos variables totales más bajos se obtuvieron con la lámina de 50%, bajo las condiciones donde se realizó el ensayo y donde se aplicó solamente una lámina de 211 mm en las primeras 15 semanas del cultivo.

Palabras clave: Autocompensadas, coeficiente de cultivo, evapotranspiración de referencia, Netafim, riego por goteo.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos.....	v
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	7
4 CONCLUSIONES.....	14
5 RECOMENDACIONES.....	15
6 LITERATURA CITADA.....	16
7 ANEXOS.....	18

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Fraccionamiento de nutrientes durante el ciclo de la caña de azúcar.....	4
2. Descripción de los tratamientos en el ensayo de descarga y distanciamientos.....	5
3. Efecto de dos descargas y dos distanciamientos entre surcos en término agronómicos.....	8
4. Efecto de dos descargas y dos distanciamientos entre surcos en términos de producción.....	9
5. Presupuesto parcial para el ensayo de dos descargas y dos distanciamientos entre surcos (CIMMYT 1988).....	10
6. Análisis marginal y de dominancia para el ensayo de dos descargas y dos distanciamientos entre surco (formato CIMMYT 1988).....	11
7. Efecto de cuatro láminas de riego en caña de azúcar para las variables agronómicas.....	11
8. Efecto de cuatro láminas de riego en caña de azúcar en las variables de producción.....	12
9. Presupuesto parcial para el ensayo de cuatro láminas de riego (formato CIMMYT 1988).....	13
10. Análisis marginal y de dominancia para el ensayo de cuatro láminas de riego (formato CIMMYT 1988).....	13
Figuras	Página
1. Comportamiento de precipitación, Evapotranspiración (ETc) y riego mensual durante diciembre del 2009 a noviembre del 2010 en San Juan de Flores, Francisco Morazán, Honduras.....	8
Anexos	Página
1. Sistema de siembra a doble hilera con manguera de goteo entre dos surcos enterrados a 20 cm.....	18
2. Diseño experimental para el ensayo de dos descargas y dos distanciamientos entre surcos.....	18
3. Diseño experimental para el ensayo de lámina de riego.....	19
4. Coeficiente del cultivo (Kc) utilizados para el cálculo de la lámina de agua.....	19
5. Precipitación, evapotranspiración y suministro de riego, CATV, diciembre 2009 - noviembre 2010.....	20

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de caña de azúcar es una de las más importantes actividades agrícolas en Honduras y representa un importante rubro en la economía centroamericana. La Compañía Azucarera Tres Valles S.A. de C.V. (CATV) tiene como objetivo aprovechar al máximo la capacidad instalada de la empresa, por lo cual y ante los retos de la globalización se hace necesario producir con eficiencia (Reynerio 2004).

El suministro artificial del agua en caña de azúcar, riego, es una actividad que se emplea para obtener el máximo beneficio de los recursos hídricos y elementos tecnológicos de tal forma que permita hacer la actividad agrícola más rentable, competitiva y sostenible (Vargas 2008). El riego por goteo, a pesar de tener un alto costo de instalación, ha demostrado ser el más eficiente, pues permite la aplicación del agua localizada en la zona radicular, minimizando pérdidas por evaporación con la cual se logra obtener hasta un 40% de ahorro de agua. Además de la eficiencia, el suministro de fertilizantes a través del sistema de riego, fertirrigación, permite un aprovechamiento del 100% de la nutrición y así mismo una uniformidad en el desarrollo de la caña de azúcar (Wiedenfeld 2003).

Aunque la caña de azúcar se puede producir en seco, se han obtenido resultados en los cuales el aumento de la productividad se deriva del uso de riego por goteo estableciendo un promedio de 14.2 mm de agua para producir una tonelada de caña (Glauber *et al.* 2011). Según el departamento de agricultura de la CATV, el riego por goteo es una tecnología relativamente nueva en la caña de azúcar, que permite ahorrar agua y energía. De este modo, puede ayudar a resolver dos de los mayores problemas de la caña de azúcar regada: la escasez de agua y los crecientes costos de bombeo.

La CATV tiene su producción en los departamentos de Francisco Morazán y El Paraíso, usando como fuente principal de agua el río Choluteca, el cual provee alrededor del 90% de agua necesaria para el riego con un rango aproximado de 300 mm a 600 mm de lámina de agua, dependiendo de la época lluviosa. Es por esto que, el establecer el nivel óptimo de lámina a utilizar incide directamente en los costos del cultivo. Así mismo, tiene un efecto marcado en el cultivo. Si el suministro de agua es óptimo se logra un auge en los rendimientos, una función de incrementar tonelaje de caña de azúcar y concentración de sacarosa. Si existe un desbalance en el suministro de agua esto incide directamente en deficiencias por estrés hídrico y en un aumento en el costo de producción (Wiedenfeld 1995)

Otro aspecto de gran importancia es el caudal de los goteros utilizados, ya que los mismos pueden depositar el agua en menor o mayor tiempo y a su vez aumentar o disminuir el

tamaño del área a ser regada, aumentando o disminuyendo el costo de dicha operación. Además, si el suministro de agua se hace a un caudal muy elevado y la capacidad de suelo en drenar el exceso de agua es baja, esto causa un estrés en la caña, retrasando su desarrollo (Ah Koon *et al.* 2003). Por lo anteriormente expuesto, se da la importancia de evaluar la lámina aplicada y el caudal de los goteros, en los sistemas de riego utilizados en este cultivo.

Se usó la variedad CP 722086 que representa el 33% del área de producción de caña de azúcar dentro de CATV y el resto es complementado por las variedades Mex 69290, Mex 79431 y CB 3822. El uso de esta variedad radica en la capacidad de la misma en adaptarse en condiciones climáticas centroamericanas, resistencia a enfermedades y su alto rendimiento de azúcar producido por tonelaje de caña. Del mismo modo, es de suma importancia el suministro de agua en las cantidades adecuadas y en el tiempo oportuno debido a que la caña de azúcar es sensible a estrés por anegamiento.

Ambas variables, caudal de gotero en dos distanciamientos y lámina de riego fueron evaluados independientemente con el fin de determinar el efecto en la producción en términos de rendimiento y la relación costo beneficio de emplear sus resultados. El objetivo de este estudio fue comparar el efecto de dos descargas y dos distanciamientos para el primer ensayo y comprar el efecto de cuatro láminas de agua en caña de azúcar en en el otro.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación. Ambos ensayos se llevaron a cabo en la finca Palo Verde, en el lote 22 dentro de la CATV en San Juan de Flores, departamento de Francisco Morazán, Honduras (14° 13' N). La finca Palo Verde está a una elevación de 600 msnm, con una temperatura promedio anual de 25 °C y precipitación de 800 mm anuales distribuidos en los meses de mayo a octubre por lo general¹. Se encontró dos tipos de suelo; franco arcilloso y franco arenoso con 30% de grava. El ensayo se llevó a cabo en diciembre del 2009 a noviembre del 2010.

Descripción de la variedad. La variedad utilizada fue CP 722086 introducida por el Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (FONAIAP), seleccionada de una progenie proveniente de un cruce entre CP 62374 y CP 63588 realizado en 1967. CP 722086 es de origen estadounidense desarrollada en Canal Point (CP) a través de la investigación cooperativa entre USDA-ARS, la Universidad de Florida y la Liga de Cañicultores de Florida, cuya liberación a la industria azucarera se hizo en 1982. Además, CP 722086 reúne características deseables como: rendimiento, facilidad de amacollar, rápido cierre de área entre surco disminuyendo incidencia de maleza, buen comportamiento como soquera y una alta relación caña-azúcar. Otro aspecto a considerar en la CP 722086 es de floración media, de este modo emplea poca energía para realizar este proceso metabólico (Rea *et al.* 1994).

Prácticas agronómicas. Los ensayos se llevaron a cabo en una plantación de dos años (segunda soca), por lo que no se especifican las prácticas de mecanización. El sistema de siembra usado se llama doble piña que consiste en una siembra a doble hilera con una manguera de goteo en medio a una profundidad de 0.2 m (Anexo 1). Se realizó un control de malezas químico y manual en la séptima semana después de cosecha, previo al cierre del área entre surcos. Durante el ensayo, no se encontraron problemas de plagas a niveles dañinos, excepto en el caso de ratas. El daño de las ratas se notó en las mangueras debido a que ésta perfora la manguera en busca de agua. Para su control, se empleó un rodenticida Storm[®], ingrediente activo Flocoumafán, a una dosis de 2 kg/ha cuando las poblaciones sobrepasaban un 5% de infestación.

¹ Morales, C. 2011. Temperatura y precipitación en el departamento de agricultura, CATV. Francisco Morazán, Honduras (comunicación personal).

Se aplicaron 161 kg/ha de N, 23 kg/ha de P, 84 kg de K, 5 kg/ha de Mg, 3kg/ha de Mn, 63 kg/ha de S, 8 kg/ha de Zn, 1 kg/ha de B y 2 kg/ha de Na y respectivos fraccionamientos según la recomendación del análisis de suelo realizada en el Laboratorio de Suelos de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano (Cuadro 1).

Cuadro 1. Fraccionamiento de nutrimentos durante el ciclo de la caña de azúcar.

Aplicación	Semana	N	P	K	Mg	Mn	S	Zn	B	Na
		(% del total)								
1	7	76	56	36	43	46	75	55	32	32
2	12	22	32	39	36	10	21	6	45	45
3	15	2	12	25	21	44	4	39	23	23

Lateral de riego. Se usó manguera de la marca Netafim. Una característica exclusiva de esta manguera es que mantiene caudales similares a lo largo del tramo dentro de un rango de presiones de 6 a 20 psi, por eso se le conoce como autocompensada; posee goteros modelo Dripnet PC 16125 con descargas de 1.0 y 0.6 L/h espaciados a 0.5 m. El sistema mantiene un caudal similar a diferentes presiones de entrada en el rango establecido, lo que asegura un riego uniforme.

Sistema de riego. El sistema de riego se instaló dos años antes y fue diseñado para regar dos hectáreas. El agua fue alimentada de una laguna artificial cuya capacidad es de 1500 m³, que se obtuvo de la precipitación y por bombeo desde el río Choluteca. La bomba que impulsaba el agua hacia el sistema, trabaja con potencias de hasta doce caballos de fuerza. Esta potencia generaba un caudal de entrada de 35 m³/h operando a una presión de 15 psi con mangueras auto compensadas. Se utilizaron filtros de arena en las entradas del sistema. El sistema de riego consistió de mangueras laterales de goteo separadas a 1.8 y 2.4 m, con un diámetro interno de 16 mm, emisores de 0.6 y 1.0 L/h, separados a 50 cm. El sistema de riego constaba de doce válvulas que se operaban individualmente para hacer los fraccionamientos del riego y fertilización de acuerdo a las variables que se habían establecido. A cada válvula se le asignó diferentes parcelas asegurándose la correcta distribución del caudal, y el manejo de las presiones, pues se necesitaban las mismas condiciones en el caso de las repeticiones. El suministro de riego se realizó basado en la evapotranspiración acumulada semanalmente corregido por un coeficiente de cultivo.

Diseño Experimental.

Ensayo 1. Efecto de dos descargas y dos distanciamientos entre surcos en la producción de caña de azúcar.

Para eliminar la variabilidad posible, se le dio el mismo manejo agronómico a todos los tratamientos: uso de la misma variedad y prácticas culturales iguales, a excepción de lo implícito dentro de cada tratamiento. Se usó un diseño de Bloques Completos al Azar con cuatro repeticiones por tratamiento distribuidos en cuatro bloques, por considerar que existen variaciones en el factor suelo (Anexo 2).

Ensayo 2. Efecto de cuatro láminas de riego en caña de azúcar.

Para eliminar la variabilidad posible, se le dio el mismo manejo agronómico a todos los tratamientos: uso de la misma variedad y prácticas culturales iguales, a excepción de lo implícito dentro de cada tratamiento. Se usó un BCA con cuatro repeticiones por tratamiento distribuido en cuatro bloques, por considerar que existen variaciones en el factor suelo (Anexo 3). La lámina a aplicar del 100% fue obtenida de la evaporación diaria acumulada semanalmente y usando un coeficiente de cultivo (K_c) según el estado fenológico de la planta. Los datos de evaporación diaria se obtuvieron de una estación meteorológica automática DAVIS situada cerca del ensayo. A partir de la lámina del 100% se calcularon láminas de 50, 80 y 120%.

Lámina (100%) = Evaporación diaria acumulada semanalmente $\times K_c$

Tratamientos.

Ensayo 1. Efecto de dos descargas y dos distanciamientos entre surcos en la producción de caña de azúcar.

La unidad experimental fue constituida por cinco surcos de 45.0 m de longitud y distanciamientos de 1.8 y 2.4 m entre los mismos de acuerdo al tratamiento evaluado. Los tratamientos 18-10 y 18-06 estuvieron en parcelas de 7.2 m \times 45.0 m, y los tratamientos 24-10 y 24-06 en parcelas de 9.6 m \times 45.0 m. Los distanciamientos entre surcos y descargas de los goteros fueron establecidos por la CATV según los parámetros de producción comercial y fueron arreglados en el factorial 2 \times 2 generando cuatro tratamientos (Cuadro 2). A nivel comercial, la CATV utiliza distanciamientos entre surcos de 1.8 m con descargas de 1.0 L/h.

Cuadro 2. Descripción de los tratamientos en el ensayo de descarga y distanciamientos.

Tratamiento	Distanciamiento entre surcos (m)	Descarga (L/h)
18-10	1.8	1.0
24-10	2.4	1.0
18-06	1.8	0.6
24-06	2.4	0.6

Ensayo 2. Efecto de cuatro láminas de riego en caña de azúcar.

La lámina testigo se aplicó de acuerdo a la evapotranspiración diaria (ET_c) que se calculó multiplicando la evapotranspiración potencial semanal (registrada en la estación meteorológica DAVIS) por el K_c de acuerdo a su estado fenológico (Anexo 4). La decisión de evaluar estas cuatro láminas de riego fue exclusivamente del personal de campo de Netafim. Los tratamientos fueron establecidos en una unidad experimental que mide 7.2 m × 45.0 m.

Análisis estadístico: Al final del ciclo de doce meses, las unidades experimentales fueron cosechadas por separado y sometidas al proceso de extracción de azúcar. Durante la cosecha de la caña se contaron el número y longitud de tallos en las diferentes unidades experimentales. El conteo se hizo en un metro lineal de un surco doble y posteriormente promediado y extrapolado a una hectárea. Este proceso se realizó para ambos ensayos. Además, las variables agronómicas y de producción se transformaron en unidades estándares (t/ha, kg/t), antes del análisis de varianza, con 5% de probabilidad y la separación de medias con la prueba de Least Significant Difference (LSD).

Las variables agronómicas analizadas fueron:

- Longitud de tallos (m).
- Cantidad de tallos por hectárea.

Las variables de producción analizadas fueron:

- Producción de caña de azúcar por unidad de área (t/ha).
- Concentración de sacarosa por tonelada de caña de azúcar (kg/t).
- Total de azúcar producido por unidad de área (t/ha).

Finalmente, se realizó un presupuesto parcial para cada uno de los tratamientos evaluados.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayo 1. Efecto de dos descargas y dos distanciamientos entre surcos en la producción de caña de azúcar.

Variables agronómicas. El análisis de varianza para descargas no mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) (Cuadro 5). Esto fue debido a que el periodo lluvioso en el 2010 fue muy intenso, pues únicamente se aplicó una lámina de 211 mm durante todo el ciclo, lo cual no se considera suficiente para influir en el crecimiento de las plantas y notar el efecto en el desarrollo provocado por los tratamientos (Figura 1). La demanda hídrica en las etapas más críticas de la caña de azúcar, crecimiento y desarrollo, fue suministrada de forma natural, así reduciendo el porcentaje de lámina a reponer de forma artificial a lo largo de todo el ciclo. Los suelos franco arcillosos encontrados mantuvieron el suelo a capacidad de campo con las altas precipitaciones en las semanas donde hubo superávit y no se suministró riego.

El número y longitud de tallo, directamente afectados por el espaciamiento entre surco, no presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$). El aumento en el distanciamiento no causó ningún efecto significativo. En promedio, el distanciamiento de 1.8 m, el cual se emplea en la CATV, presentó 12% más tallos que el distanciamiento de 2.4 m (Cuadro 5). Los datos obtenidos en número de tallos por hectárea fueron similares al de Pérez *et al.* (2006); a medida que aumentó el distanciamiento entre surco disminuyó el número de tallos. Esto está influenciado por la cantidad de surcos por hectárea, 55.6 surcos en 1.8 m comparado con 41.67 surcos a 2.4 m de distancia. La altura de tallos fue de 2.75 m con el distanciamiento de 1.8 m la cual se asemeja a 2.72 m sembrados a 1.75 m en el ensayo de Pérez *et al.* (2006). El aumento de 7 cm en longitud de tallos al utilizar el distanciamiento de 1.8 m fue debido a la competencia por luz.

En el análisis de varianza no se observó efecto de la interacción descarga \times distanciamiento entre surcos en la altura y número de tallos.

Cuadro 3. Efecto de dos descargas y dos distanciamientos entre surcos en términos agronómicos.

Variable	Tratamiento	Variable Agronómica	
		No. de tallos (miles tallos/ha)	Longitud de tallo (m)
Distanciamiento (m)	1.8	994 a [§]	2.8 a [§]
	2.4	848 a	2.7 a
Descarga (L/h)	0.6	959 a	2.7 a
	1.0	884 a	2.7 a
Distanciamiento × Descarga	18-06	1,007 a	2.6 a
	18-10	982 a	2.9 a
	24-06	910 a	2.8 a
	24-10	785 a	2.6 a

[§] Los datos seguidos con diferente letra en la misma columna para cada grupo de variable son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Least Significant Difference (LSD) al 5%.

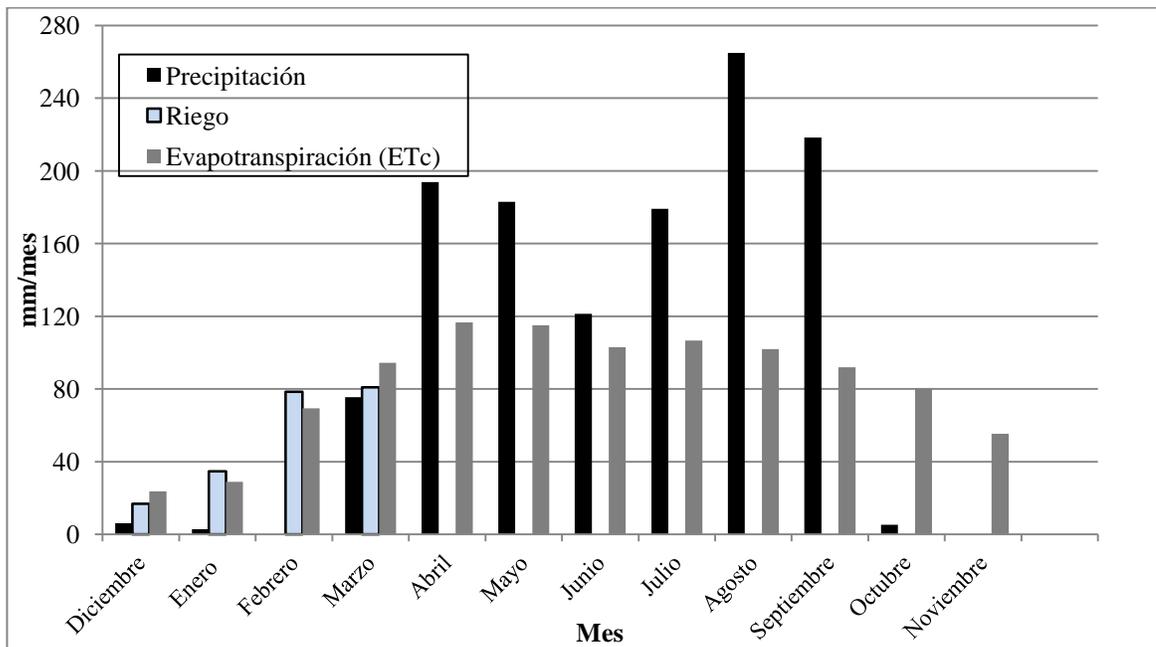


Figura 1. Comportamiento de precipitación, Evapotranspiración (ETc) y riego mensual durante diciembre del 2009 a noviembre del 2010 en San Juan de Flores, Francisco Morazán, Honduras.

Variables de producción. Los valores de las variables de producción para las dos descargas no presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$). Factores ambientales, como la alta precipitación (Figura 1), interfirieron en la validez de los tratamientos. La temporada lluviosa fue irregular, pues las precipitaciones superaron las del año anterior así permitiendo la aplicación de una lámina de agua de 211 mm en 15 semanas en comparación a 765 mm del año anterior que se aplicaron en 38 semanas.

Hubo diferencias significativas para el distanciamiento entre surcos para el rendimiento en producción de caña ($P \leq 0.05$). El distanciamiento de 1.8 m entre surco obtuvo 14% más toneladas de caña por hectárea que el de 2.4 m. El incremento de caña por hectárea se atribuye al 12% más de tallos por hectárea y al aumento del 3% en peso promedio por tallo en el distanciamiento de 1.8 m cuyo número de surcos por hectárea es mayor (Cuadro 6). Esto justifica la teoría de Garside *et al.* (2009), la cual indica que la caña tiene una capacidad compensatoria en número de tallos y peso promedio por tallo con configuraciones de distancia entre surcos arriba de 1.5 m y efectos negativos al sobrepasar 2.0 m.

El distanciamiento de 1.8 m obtuvo 17% más toneladas de azúcar por hectárea que el de 2.4 m. La diferencia en rendimiento se debió al 14% más de toneladas de caña por hectárea y al 3% más en kilogramos de azúcar por tonelada de caña (Cuadro 6). Los datos en kilogramos de azúcar por hectárea obtenidos se asemejan al de Pérez *et al.* (2006) la cual demuestra que hay un efecto negativo al incrementar la distancia entre surcos por arriba de 1.8 m.

En el análisis de varianza para rendimiento no se observó efecto de la interacción descarga \times distanciamiento entre surco, solamente mostraron diferencias los tratamientos 18-06, 18-10 con respecto al 24-06 (Cuadro 4) en la producción de toneladas de azúcar por hectárea. El efecto se atribuye a un incremento en rendimiento de toneladas de caña por hectárea en el tratamiento 18-06, pues el rendimiento de azúcar por tonelada de caña no mostró diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

Cuadro 4. Efecto de dos descargas y dos distanciamientos entre surcos en términos de producción.

Variable	Tratamiento	Variable de Producción		
		Caña por área (t/ha)	Azúcar por área (t/ha)	Azúcar por caña (kg/t)
Distanciamiento (m)	1.8	160.2 a	21.3 a	133.4 a
	2.4	140.3 b	18.2 b	129.9 a
Descarga (L/h)	0.6	148.5 a	20.0 a	128.3 a
	1.0	152.0 a	19.5 a	135.0 a
Distanciamiento \times Descarga	18-06	158.7 a	21.4 a	135.2 a
	18-10	161.7 a	21.2 a	131.5 a
	24-06	138.2 b	18.6 ab	134.8 a
	24-10	142.4 ab	18.6 b	125.0 a

[§] Los datos seguidos con diferente letra en la misma columna para cada grupo de variable son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Least Significant Difference (LSD) al 5%.

Análisis económico

En la elaboración del presupuesto parcial se utilizaron los siguientes datos:

- Costo de manguera = US\$ 0.13/m
- Costo de bombeo y mano de obra = US\$ 1.76/hora
- Precio de venta de la azúcar = US\$ 352.00/t de azúcar

En la tabulación del análisis económico se determinó que al emplear descargas de 1.0 L/h distanciadas a 1.8 m, se obtiene un beneficio neto de US\$ 6,359.1 a pesar de no obtener el mejor rendimiento, bajo las condiciones donde se realizó el ensayo y donde se aplicó solamente una lámina de 211 mm en las primeras 15 semanas del cultivo. El mejor beneficio neto se debe a que el total de costos incurridos es menor, pues el precio de bombeo influye en un incremento en el total de costos que varían (Cuadro 5).

Cuadro 5. Presupuesto parcial para el ensayo de dos descargas y dos distanciamientos entre surcos (CIMMYT 1988)

Variables	Tratamiento			
	18-10	18-06	24-06	24-10
Rendimiento medio de azúcar (t/ha)	21.2	21.4	18.6	17.8
Beneficios brutos de campo (US\$/ha)	7,459.6	7,530.0	6,558.4	6,259.2
Costo manguera netafim (US\$/ha)	777.8	777.8	583.3	583.3
Costo bombeo y mano de obra (US\$/hora)	332.6	554.4	739.2	443.5
Total costos que varían (US\$/ha)	1,110.4	1,332.2	1,322.6	1,027.0
Beneficios Netos (US\$/ha)	6,349.1	6,197.8	5,235.8	5,232.3

Los datos del análisis marginal y de dominancia muestran tasas de retorno negativas al emplear las tecnologías nuevas, con excepción del tratamiento 18-10 (Cuadro 6). Los valores dominados son el resultado de una reducción del beneficio bruto y/o un aumento en el total de costos que varían al aplicar una nueva tecnología (Cuadro 6). El análisis económico se realizó en los arreglos factoriales para justificar el paquete tecnológico utilizado por la CATV, pues el efecto por sí solo de los tratamientos fue evidente en términos estadísticos (Cuadro 4).

Cuadro 6. Análisis marginal y de dominancia para el ensayo de dos descargas y dos distanciamientos entre surco (formato CIMMYT 1988).

Tratamiento	Distanciamiento (m)	Descarga (L/h)	Total de costos que varían (US\$/ha)	Beneficios netos (US\$/ha)	Tasa de retorno marginal (%)
24-10	2.4	1.0	985.2	5,274.0	
18-10	1.8	1.0	1,054.9	6,404.7	1622
18-06	2.4	0.6	1,276.7	6,253.3	D
24-06	1.8	0.6	1,280.9	5,277.5	D

D: un tratamiento es dominado cuando tiene beneficios netos menores o iguales a los de un tratamiento de costos que varían más bajos.

Ensayo 2. Efecto de cuatro láminas de riego en caña de azúcar.

Variables agronómicas. En promedio, la lámina de 120% rindió 7% más que la de 100% la cual se tomó como testigo y representa el promedio más bajo encontrado para número de tallos, pero no hubo diferencia significativa ($P \leq 0.05$). No se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en el número de tallos (miles/ha) para ninguno de los tratamientos (Cuadro 7). Estos resultados son similares a los encontrados por Lameda Díaz (2008), quien no encontró diferencias significativas al aplicar láminas de 50%, 75%, 100% y 120% de la ETc. Esto puede ser porque la temporada lluviosa afectó en gran parte el ensayo pues se suministró riego solamente las primeras 15 semanas.

Se encontró diferencia significativa ($P \leq 0.05$) para largo de tallos (Cuadro 7), presentando tallos más largos en el tratamiento de 120% de la ETc, y tallos más cortos para 80% de la ETc. En promedio, la lámina aplicada de 120% rindió 2% más que la testigo, mientras que el rendimiento menor fue con la lámina de 80% con un 10% menos que la testigo (Cuadro 7). No se observó tendencia al aplicar las distintas láminas, por lo cual no se puede concluir el efecto de éstas, debido a las altas precipitaciones que se presentaron (Figura 1).

Cuadro 7. Efecto de cuatro láminas de riego en caña de azúcar para las variables agronómicas.

Lámina (%)	Variables Agronómicas	
	Número de tallos (miles/ha)	Longitud de tallos (m)
50	1,056a [§]	2.7ab [§]
80	990a	2.6b
100	982a	2.9ab
120	1,149a	2.9a

[§] Los datos seguidos con diferente letra en la misma columna son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Least Significant Difference (LSD) al 5%.

Variables de producción. No se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para ninguna de las variables de producción (Cuadro 8). Esto se debe a que el periodo lluvioso en 2010 fue muy intenso, y únicamente se aplicó una lámina de 211 mm, lo cual no se considera suficiente para influir en la producción. Estos resultados son similares a los encontrados por Suárez *et al.* (2005), quienes no obtuvieron diferencias significativas en diferentes tratamientos de riego evaluados ya que tuvieron altas precipitaciones (1,011.7 mm) durante el periodo en el que se realizó el experimento. Esto no les permitió manejar el riego adecuadamente basándose en el déficit hídrico.

Es importante resaltar que en el presente ensayo la precipitación acumulada fue mayor a la del año anterior, y las láminas se manejaron específicamente para complementar los requerimientos hídricos.

Cuadro 8. Efecto de cuatro láminas de riego en caña de azúcar en las variables de producción.

Lámina (%)	Variables de producción		
	Caña por área (t/ha)	Azúcar por área (t/ha)	Azúcar por peso de caña (kg/t)
50	168.7a [§]	22.1a	131.5a
80	159.6a	22.3a	139.6a
100	161.6a	21.2a	131.5a
120	163.1a	21.2a	130.5a

[§] Los datos seguidos con diferente letra en la misma columna son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Least Significant Difference (LSD) al 5%.

Análisis económico

En la elaboración del presupuesto parcial se utilizó los siguientes datos:

- Costo de lámina aplicada = US\$ 0.63/mm/ha
- Costo de mano de obra = US\$ 1.10 /hora
- Precio de venta de la azúcar = US\$ 352.00/t de azúcar

Al emplear una lámina del 50% aumentaron los beneficios brutos debido a que se redujo el costo de la aplicación, bombeo y mano de obra (Cuadro 9) dando como resultado una mayor contribución marginal en el análisis de dominancia (Cuadro 10).

Cuadro 9. Presupuesto parcial para el ensayo de cuatro láminas de riego (formato CIMMYT 1988)

Variables	Tratamientos			
	50	80	100	120
Rendimiento medio de azúcar (t/ha)	22.2	22.3	21.2	21.3
Beneficios brutos de campo (US\$/ha)	7,801.1	7,850.4	7,463.1	7,480.7
Costo aplicación lámina (US\$/ciclo)	66.5	106.3	132.9	159.6
Costo mano de obra (US\$/ha)	104.5	167.2	209.0	250.8
Total costos que varían (US\$/ha)	171.0	273.5	341.9	410.4
Beneficios Netos (US\$/ha)	7,630.1	7,576.8	7,121.2	7,070.4

Cuadro 10. Análisis marginal y de dominancia para el ensayo de cuatro láminas de riego (formato CIMMYT 1988).

Lámina (%)	Total de costos que varían (US\$/ha)	Beneficios netos (US\$/ha)	Tasa de Retorno marginal (%)
50	171.0	7,630.1	
80	273.5	7,576.8	D
100	341.9	7,121.2	D
120	410.4	7,070.4	D

D: un tratamiento es dominado cuando tiene beneficios netos menores o iguales a los de un tratamiento de costos que varían más bajos.

4. CONCLUSIONES

Ensayo 1. Efecto de dos descargas y dos distanciamientos entre surcos en la producción de caña de azúcar.

- Las descargas no mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en las variables agronómicas y de producción.
- El distanciamiento entre surcos de 1.8 m mostró rendimientos mayores en toneladas de azúcar/ ha.
- Económicamente, se obtuvo marginalidades de US\$ 16.22 en el distanciamiento entre surcos de 1.8 m con descargas de 1.0 L/h (18-10), bajo las condiciones donde se realizó el ensayo y donde se aplicó solamente una lámina de 211 mm en las primeras 15 semanas del cultivo. Se sabe que la lluvia influyó en gran parte.

Ensayo 2. Efecto cuatro láminas de riego en caña de azúcar.

- No se encontró diferencia significativa ($P \leq 0.05$) para las variables de producción.
- Bajo las condiciones donde se realizó el ensayo y donde se aplicó solamente una lámina de 211 mm en las primeras 15 semanas del cultivo, la lámina de 50% fue económicamente la mejor. Se sabe que la lluvia influyó en gran parte.

5. RECOMENDACIONES

Ensayo 1. Efecto de dos descargas y dos distanciamientos entre surcos en la producción de caña de azúcar.

- Usar mangueras de 1.0 L/h con distanciamientos entre surcos de 1.8 m bajo las condiciones donde se realizó el ensayo y donde se aplicó solamente una lámina de 211 mm en las primeras 15 semanas del cultivo por efecto de las altas precipitaciones (1252 mm)
- Obtener Kc propio de la zona para obtener valores de ETc más precisos.
- Recolectar datos de un ciclo adicional y compararlos con las tres cosechas anteriores.

Ensayo 2. Efecto de cuatro láminas de riego en caña de azúcar.

- Recolectar datos de un ciclo más y compararlos con las tres cosechas anteriores.
- Realizar un análisis de la frecuencia y cantidad de lluvia de diez años atrás y compararlo con las ETc, posteriormente analizar las láminas que mejor se adapten a esas condiciones.
- Probar láminas menores a 50% de la ETc en las primeras 15 semanas del cultivo.

6. LITERATURA CITADA

CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, ME). 1988. From Agronomic Data to Farmer Recommendations: An Economics Training Manual. Ed., rev. Mexico, D.F. 79 p.

Garside, A. L., Bell, M. J., Robotham, B. G. 2009. Row spacing and planting density effects on the growth and yield of sugarcane. Strategies for the adoption of controlled traffic (en línea). Consultado 20 septiembre de 2011. Disponible en <http://www.publish.csiro.au/?paper=CP08312>

Glauber, J., Gava, C., Silva, M., da Silva, R., Jeronimo, E., Cruz, J. Kolln, O. 2011. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 15(3): 251-255

Koon, P.J. Gregory, J.P.1990. Influence of drip irrigation emission rate on distribution and drainage of water beneath a sugar cane and a fallow plot. Agricultural Water Management 17(3):267-282

Lameda Díaz, J. 2008. Influencia de diferentes laminas de riego sobre parámetros biométricos, rendimiento y calidad en el cultivo de caña de azúcar. Venezuela. 46p.

Pérez, O., Hernández, F., Toledo, B., Fong, E. 2006. Presentación de Resultados de Investigación Zafra 2004-2005 (2006, Guatemala). Efectos del distanciamiento de surcos y densidades de siembra en la producción de caña de azúcar en dos ciclos, en la zona baja de la región cañera de Guatemala, CENGICANÑA.1(5): 216-224.

Rea, R., De Souza, O., González, V. 1994. Caracterización de Catorce Variedades Promisorias de Caña de Azúcar en Venezuela. Caña de Azúcar 12(1): 3-45

Reynerio, P. 2004. Análisis para la implementación de un plan de comercialización de azúcar para la compañía azucarera Tres Valles S.A. de C.V. (CATV) en la zona Centro-oriente de Honduras. Tesis Ing. Agr. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. p 6.

Robert, P; Wiedenfeld, B. 1995. Effects of irrigation and N fertilizer application on sugarcane yield and quality. Field Crops Research. 43(2-3):101-108

Suárez, A; Miranda, H; Bravo, C; González, R; Peroza, D. 2005. Influencia del manejo del riego localizado sobre variables morfológicas, producción y calidad de la caña de azúcar. Central La Pastora-Estado. Lara. Venezuela.

Vargas Loyo, A. 2008. Evaluación de la uniformidad de distribución del agua de seis cintas de goteo en condiciones de El Zamorano, Honduras. Tesis Ing. Agr. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. p 1.

Wiedefeld, B. 2004. Scheduling water application on drip irrigated sugarcane. *Agricultural Water Management* 64(2): 169-181

7. ANEXOS

Anexo 1. Sistema de siembra a doble hilera con manguera de goteo entre dos surcos enterrados a 20 cm.



Anexo 2. Diseño experimental para el ensayo de dos descargas y dos distanciamientos entre surcos.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
								2406							1810				2410	1806	4	BLOQUES	
PS			1806	2406						1810				2410							3		
										2410			1806		1810					2406	2		
		1806	1810							2410			2406								1		
1810	Testigo (1 L/h a 1.8 m)																				Diseño Estadístico: Bloques Completamente al Azar (BCA), 16 Lotes, 4 repeticiones(Unidad Experimental = 1.8 m (324 m ²) y 2.4 m (432m ²))		
2410	Caudal (1 L/h a 2.4 m)																						
1806	Caudal (0.6 L/h a 1.8 m)																						
2406	Caudal (0.6 L/h a 2.4 m)																						
PS	Estación de bombeo																						

Anexo 3. Diseño experimental para el ensayo de lámina de riego

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
									50		80				100		120				4	BLOQUES	
PS							120	80			100						50				3		
				120				50						80	100						2		
	80		100										120							50	1		
100	Testigo (100 % Lámina de riego)										Diseño Estadístico: Bloques Completamente al Azar (BCA) 16 Lotes y 4 repeticiones Unidad Experimental = 1.8 m x 45 m (324 m ²)												
50	50% Lámina de riego																						
80	80 % Lámina de riego																						
120	120% Lámina de riego																						
PS	Estación de bombeo																						

Anexo 4. Coeficiente del cultivo (Kc) utilizados para el cálculo de la lámina de agua.

Semana (11/2009)	Kc	ETc (mm)	Volumen (m ³ /ha/semana)
1 – 9	0.40	2.80	28.00
10 – 13	0.70	4.90	49.00
14 – 17	1.05	7.35	73.50
18 – 40	1.20	8.40	84.00
41 – 44	1.15	8.05	80.50
45 – 48	0.95	6.65	66.50
49 – 52	0.75	5.25	52.50

Anexo 5. Precipitación, evapotranspiración y suministro de riego, CATV, diciembre 2009 - noviembre 2010.

Semana	ETo/ Semana (mm)	Kc	ETc (mm)	Precipitación (mm)	Déficit (mm)	Riegos (mm)
1	11.18	0.40	4.47	0.00	4.47	0.00
2	14.59	0.40	5.84	0.00	5.84	0.00
3	17.81	0.40	7.12	0.00	7.12	8.40
4	15.69	0.40	6.28	6.20	0.08	8.40
5	16.56	0.40	6.62	0.00	6.62	8.40
6	18.29	0.40	7.32	0.00	7.32	8.40
7	18.26	0.40	7.30	2.80	4.50	8.40
8	19.21	0.40	7.68	0.00	7.68	9.52
9	22.35	0.70	15.65	0.00	15.65	17.15

10	28.13	0.70	19.69	0.00	19.69	19.60
11	23.06	0.70	16.14	0.00	16.14	19.60
12	25.41	0.70	17.79	0.00	17.79	22.05
13	26.96	0.70	18.87	0.00	18.87	33.08
14	21.90	1.05	23.00	13.40	9.60	14.70
15	27.40	1.05	28.77	6.80	21.97	33.08
16	22.63	1.05	23.76	55.30	-31.54	0.00
17	25.97	1.05	27.27	125.40	-98.13	0.00
18	27.35	1.20	32.82	16.00	16.82	0.00
19	24.95	1.20	29.94	0.00	29.94	0.00
20	22.16	1.20	26.59	52.40	-25.81	0.00
21	19.33	1.20	23.20	97.90	-74.70	0.00
22	22.41	1.20	26.89	64.20	-37.31	0.00
23	32.34	1.20	38.81	0.00	38.81	0.00
24	21.71	1.20	26.05	20.90	5.15	0.00
25	24.90	1.20	29.88	29.10	0.78	0.00
26	22.81	1.20	27.37	8.20	19.17	0.00
27	23.04	1.20	27.65	53.60	-25.95	0.00
28	15.10	1.20	18.12	30.40	-12.28	0.00
29	21.11	1.20	25.33	25.20	0.13	0.00
30	21.11	1.20	25.33	64.60	-39.27	0.00
31	21.15	1.20	25.38	30.00	-4.62	0.00
32	25.42	1.20	30.50	59.40	-28.90	0.00
33	20.42	1.20	24.50	51.40	-26.90	0.00
34	18.78	1.20	22.54	84.40	-61.86	0.00
35	23.07	1.20	27.68	92.40	-64.72	0.00
36	22.65	1.20	27.18	36.70	-9.52	0.00
37	23.50	1.20	28.20	144.20	-116.00	0.00
38	22.15	1.20	26.58	43.00	-16.42	0.00
39	10.98	1.20	13.18	31.21	-18.03	0.00
40	20.78	1.15	23.90	0.00	23.90	0.00
41	19.28	1.15	22.17	0.00	22.17	0.00
42	17.93	1.15	20.62	0.00	20.62	0.00
43	19.31	1.15	22.21	5.30	16.91	0.00
44	16.06	0.95	15.26	0.00	15.26	0.00
45	16.05	0.95	15.25	0.00	15.25	0.00
46	14.61	0.95	13.88	0.00	13.88	0.00
47	15.93	0.95	15.13	0.00	15.13	0.00
48	14.71	0.75	11.03	0.00	11.03	0.00
