

Universidad Nacional Experimental
de los Llanos Occidentales
"EZEQUIEL ZAMORA"



LA UNIVERSIDAD QUE SIEMBRA

VICERRECTORADO
DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
ESTADO PORTUGUESA

COORDINACIÓN
ÁREA DE POSTGRADO

EVALUACIÓN DEL RIEGO POR SURCOS ALTERNOS
Y CONTINUOS PARA EL USO EFICIENTE DEL AGUA
EN EL CULTIVO CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum
officinarum L.*)

Autor: JOSE ANTIQUIANO GUERRERO BARILLAS

Tutor: RAFAEL ANTONIO ESPAÑA MARQUEZ

GUANARE, JULIO DE 2010

INDICE

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	iii
RESUMEN.....	vii
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I.....	6
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	6
1.2 IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
1.3 OBJETIVO GENERAL	9
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	9
CAPITULO II.....	10
BASES CONCEPTUALES O TEÓRICAS PRELIMINARES	10
2.1 Aspectos generales sobre necesidad del riego.....	10
2.2 Investigaciones referidas al riego por surcos.....	12
2.3 Eficiencia del riego.....	16
2.4 Determinación del contenido de humedad en el suelo.....	17
2.5 Uso de sonda TDR-300 para determinación de humedad en el suelo.....	18
CAPITULO III.....	20
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	20
3.1 Organización de la investigación.....	20
3.2 Determinación de las necesidades básicas de riego para el cultivo de caña.....	22
3.3 Evaluación del contenido de humedad en el suelo.....	25
3.4 Determinación de la eficiencia de riego.....	26
3.5 Determinación de la productividad del riego.....	28
3.6 Análisis de datos.....	29
CAPITULO IV	30
ANALISIS DE LOS RESULTADOS	30

4.1 NECESIDADES BÁSICAS DE RIEGO PARA EL CULTIVO DE LA CAÑA, CON BASE EN LOS DATOS CLIMATOLÓGICOS PARA LA ZONA:	30
4.2 EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL SUELO PARA LA VARIANTE DE RIEGO POR SURCOS ALTERNOS Y EL RIEGO POR SURCOS CONTINUOS.	40
4.3 EFICIENCIA DE LAS VARIANTES DE RIEGO POR SURCOS ALTERNOS Y EL RIEGO POR SURCOS CONTINUOS.	57
4.4 PRODUCTIVIDAD DEL RIEGO PARA CADA VARIANTE ESTUDIADA:	62
4.4.1 Gasto de agua.....	61
4.4.2 Desarrollo del cultivo.....	62
4.4.3 Rendimiento.....	71
4.4.4 Determinación del tiempo de riego en horas/ha/hombre.....	74
COCLUSIONES.....	75
RECOMENDACIONES.....	78
REFERENCIAS CONSULTADAS.....	80
ANEXO A CALCULOS DE VARIABLES DE CARACTERISTICAS DEL SUELO	86
ANEXO B DATOS CLIMATOLOGICOS	92
ANEXO C GRAFICOS DE FACTORES CLIMATICOS CALCULADOS CON CROPWAT 8.0	100
ANEXO D CAUDALES APLICADOS (AFORO) Y MEDICIONES DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL SUELO.....	107
ANEXO E CALCULOS DE EFICIENCIAS DE RIEGO.....	119
ANEXO F MEDICIONES BIOMETRICAS Y DE PRODUCCIÓN DEL CULTIVO	124
ANEXO G ANALISIS DE SUELO	129
ANEXO H OPERACIONALIZACION DE VARIABLES	134
ANEXO I TOPOGRAFIA DE LA PARCELA	137

ANEXO J RESUMEN FOTOGRAFICO	139
-----------------------------------	-----

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

TABLAS

1. Diseño del experimento.	20
2. Resumen de las propiedades físicas del suelo (Grassi 1996).....	23
3. Rango de valores de Da y EPT para diferentes texturas del suelo:.....	24
4. Criterios utilizados para la programación del riego según FAO.....	25
6. Características del suelo analizadas en laboratorio UNELLEZ.	32
7. Análisis de la varianza para características de suelo.....	33
8. Promedios y significación para características de suelo	33
9. Densidad aparente y espacio poroso total para cada estrato de suelo.	34
10. Pendiente S y Caudal máximo permisible (Q), para los surcos estudiados para cada tratamiento.	35
11. Requerimiento de agua del cultivo:.....	36
12. Programación del riego (Cropwat 8.0).....	37
13. Caudales y láminas aplicadas (Aforo Parshall) para cada tratamiento (Q=0,1393*ha ^{1,5522})(y = 0,139x ^{1,552}).	38
14. Programación definitiva del riego (ejecutada en campo) para la parcela 2D-18 del sistema de riego Cojedes – Sarare:.....	39
15. Análisis de Cropwat para riego aplicado	39
16. Contenido de humedad y lámina incrementada promedio durante los riegos aplicados para cada estrato de suelo.....	41
17. Análisis de la varianza para contenido de humedad en el suelo.	44
18. Comparación de medias para contenido de humedad en el suelo.....	44
19. Comparación de medias para número de riegos	45
20. Comparación de medias para profundidad del estrato de suelo.....	46

21. Comparación de medias para la interacción tratamiento con número de riegos..	46
22. Comparación de medias para la interacción número de riegos con profundidad del estrato de suelo.	48
23. Análisis de la varianza para valores de humedad medidos con sonda TDR respecto a los tratamientos utilizados antes y después del segundo riego.	54
24. Comparación de medias para valores de humedad medido con sonda TDR para cada profundidad del suelo.....	55
25. Análisis de la varianza para valores de eficiencia en riego por surcos alternos y continuos.	58
26. Comparación de medias para valores de eficiencia en riego por surcos alternos y continuos. (Tukey)	58
27. Comparación de medias para valores de eficiencia en riego por surcos alternos y continuos en relación con la profundidad de cada estrato de suelo. (Tukey)	59
28. Comparación de medias para valores de eficiencia en riego por surcos alternos y continuos en relación con el número de riegos aplicados.	59
29. Comparación de medias para valores de eficiencia en riego por surcos alternos y continuos en relación con la interacción entre profundidad y numero de riegos aplicados.....	61
30. Análisis de la varianza para desarrollo radicular (% raíces).	63
31. Promedio y significación de % de raíces para la interacción método con profundidad	65
32. Promedio y significación de % de raíces para cada profundidad de estrato de suelo.	63
33. Análisis de la varianza combinado en el tiempo para efecto de tratamiento con el riego como subparcela.....	67
34. Promedio y significación de riego para las variables biométricas AF, DT, LT, NN, NT.	68
35. Promedio y significación de interacción tratamiento con riego para AF, DT, LT, NN, NT.....	68
36. Análisis de la varianza para el diámetro del tallo (DT) para el tercer riego.	70

37. Promedio y significación de tratamiento para las variables biométricas AF, DT, LT, NN, NT durante el tercer riego.....	71
38. Análisis de la varianza para rendimiento (TCH).....	72
39. Promedio y significación de tratamiento para toneladas de caña por hectárea (TCH).....	72
40. Tiempo empleado para regar cada parcela experimental con cada tratamiento de riego.....	75

FIGURAS

1. Ubicación relativa del municipio San Rafael de Onoto, estado Portuguesa.	4
2. Ubicación del ensayo, municipio San Rafael de Onoto.	5
3. Diseño de la distribución de los tratamientos en campo	22
4. Datos climatológicos y balance hídrico (INIA Araure 1998 – 2007).....	31
5. Contenido de humedad (%) promedio durante la aplicación de los tratamientos de riego por surcos alternos y continuos.....	42
6. Lámina incrementada en el perfil del suelo durante cada riego para los tratamientos de riego por surcos alternos y continuos.	43
7. Comparación de medias de contenido de humedad antes de aplicar el riego, para interacción de método con riego.	47
8. Comparación de medias de contenido de humedad después de aplicar el riego, para interacción de método con riego.	47
9. Perfiles de humedad después del tercer riego.	50
10. Curva de calibración para el estrato de 0-20 cm (E1).....	51
11. Curva de calibración para el estrato de 20-40 cm (E2).....	52
12. Curva de calibración para el estrato de 40-60 cm (E3).....	53
13. Promedio y significación para porcentaje de raíces en el perfil de suelo	65
14. Desarrollo radicular.....	66
15. Promedio y significación para el diámetro del tallo (DT).....	69

16. Promedio y significación para longitud del tallo (LT).....	69
17. Promedio y significación para N° de tallos por cepa (NT)	70
18. Promedio y significación para N° de nudos por tallo (NN)	71
19. Estimación de cosecha	74
20. Aspecto general de la parcela 2D- 18 antes de aplicar el riego, sembrada en surcos.	139
21. Toma de muestra de suelos en parcela 2D-18 cultivada con caña de azúcar.....	139
22. Procesamiento de muestras de suelo para determinación de humedad gravimétrica	140
23. Pesaje de las muestras en laboratorio de UNELLEZ Guanare.	140
24. Sonda TDR para determinación de contenido de humedad en suelo.....	141
25. Levantamiento topográfico en parcela 2D-18.....	141
26. Canales conductores secundarios par el agua de riego.	142
27. Riego por surcos alternos en el cultivo de caña de azúcar en primeras etapas de desarrollo del cultivo.....	142
28. Riego por surcos continuos en caña de azúcar en etapa de crecimiento del cultivo.	143
29. Muestreo para determinación de contenido de humedad en el suelo con uso de sonda TDR, en etapa de crecimiento del cultivo.....	143
30. Aspecto de la medición del contenido de humedad en el suelo con uso de sonda TDR a profundidad de 0-40 y 0-60cm.	144

UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DE LOS LLANOS
OCCIDENTALES “EZEQUIEL ZAMORA”
VICERRECTORADO DE PRODUCCION AGRICOLA
COORDINACIÓN DE ÁREA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN MANEJO DE AGUAS Y SUELOS

**EVALUACIÓN DEL RIEGO POR SURCOS ALTERNOS Y CONTINUOS
PARA EL USO EFICIENTE DEL AGUA EN EL CULTIVO CAÑA DE
AZÚCAR (*Saccharum officinarum L.*)**

AUTOR: José A. Guerrero B.
TUTOR: Rafael España M.
AÑO: 2010

RESUMEN

Con el objeto de evaluar el riego por surcos alternos y continuos para el uso eficiente del agua en caña de azúcar, se ejecutó un experimento en el sistema de riego Cojedes – Sarare, en un suelo arcilloso, se utilizó el modelo CROWAPT 8.0 (FAO), al calcular las necesidades de riego. El contenido de humedad en el suelo se determinó con el método gravimétrico y la sonda TDR-300 con tres modos de medición. Se obtuvo la eficiencia de utilización agronómica (Ef), de aplicación (Ea), de almacenamiento (Eal) y de uniformidad (Ed). La productividad del riego se estableció con base al área foliar, perímetro, longitud, cantidad de tallos por cepa y de nudos por tallo, distribución de raíces, t/ha y horas/ha/hombre. Los resultados indican que la ETo, en esta zona es de 4,05 mm/día mensual, el requerimiento de riego anual de 398 mm. Los valores de contenidos de humedad, usando la sonda TDR, en el modo Periodo, mostraron mejor condición con surcos alternos a profundidad de 0-20 cm, y con surcos continuos a profundidad de 40-60 cm. Resultó propicio el riego por surcos continuos, con profundidad de suelo de 0-40 cm, para los modos Estándar y Hi Cly. La Ea, fue favorable con el riego por surcos alternos para el segundo y tercer riego (62,72% y 71,94%). La Ef fue favorecida en el segundo riego por los surcos alternos con 47,50 %. No se apreciaron cambios para Eal y Ef, relacionados a la profundidad del estrato de suelo, sin embargo en la Ea y Ed, resultó ventajoso el estrato de 40-60 cm. Con surcos alternos, se ahorra un 55% de agua, las raíces se distribuyeron mejor en el perfil, existe mayor desarrollo en el diámetro del tallo, obteniéndose 120 t/ha (30 más), además hubo reducción en Jornales/ha/hombre.

Palabras Claves: Surcos alternos, contenido de humedad, uso del agua, eficiencia, caña de azúcar, sistema Cojedes-Sarare.

UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DE LOS LLANOS
OCCIDENTALES “EZEQUIEL ZAMORA”
VICERRECTORADO DE PRODUCCION AGRICOLA
COORDINACIÓN DE ÁREA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN MANEJO DE AGUAS Y SUELOS

EVALUATION OF FURROW IRRIGATION CONTINUOUS AND ALTERNATE
FOR EFFICIENT WATER USE IN THE CULTIVATION OF SUGAR CANE
(*Saccharum officinarum L.*)

AUTOR: José A. Guerrero B.
TUTOR: Rafael España M.
AÑO: 2010

ABSTRACT

In order to evaluate the alternate furrow irrigation and continuous to efficient water use in sugarcane, was conducted an experiment in the irrigation system Cojedes - Sarare, in a clayey soil, the model was used CROWAPT 8.0 (FAO), in determining irrigation needs. For moisture content in soil gravimetric method was used and the probe TDR-300 with three metering modes. We determined the efficiency of agricultural use (Ef) of application (Ea), storage (Eal) and uniformity (Ed). The productivity of irrigation was established based on the development of leaf area, perimeter, length, number of stalks per plant and nodes per stem, root distribution in the profile, t / ha and hours / ha / man, all variables were determined before and after each irrigation. The (ET) of the crop in this area is 4.05 (mm / day) per month, the annual irrigation requirement of 398 mm. In the values of moisture contents measured with TDR probe for the Period mode, was favorable alternate furrow irrigation depth of 0-20 cm, and continuous furrow depth of 40-60 cm and the optimum range between values 2764 and 4800 uS. However, the treatment was favorable for continuous furrow irrigation, with soil depth of 0-40 cm, for modes Standard and Hi Cly. Ea efficiencies, Eal and Ef, were favorable to the alternate furrow irrigation and Ed, with continuous furrow irrigation. In alternate rows, saves 55% water, the roots were distributed more in the profile, there is more development in stem diameter, yielding 120 t / ha (30 more), also ran shorter in Wages / ha / man.

Keywords: alternative path, moisture content, water use efficiency, sugarcane, Cojedes-Sarare system.

INTRODUCCIÓN

En la producción agrícola, uno de los componentes más importantes que influye significativamente en los rendimientos finales de los cultivos, es la labor del riego, consistente en una práctica utilizada con la finalidad de suplir las deficiencias hídricas de estos en la época seca, al complementar los déficit que se originan en el suelo debido principalmente a la evapotranspiración de las plantas cultivadas y a la escasa precipitación ocurrida en esta época. Cabe destacar a la región de los llanos occidentales venezolanos como una de las zonas donde más se aplica esta técnica, a pesar de presentar un promedio anual de precipitación de 1500 mm, pero con una época seca bastante significativa que va desde el mes de noviembre hasta mediados del mes de abril, durante la cual la transpiración de las plantas se incrementa en gran medida, con muy poca o nula ocurrencia de precipitaciones. Dentro de este orden de ideas, uno de los grandes problemas de la producción agrícola es definir el método de riego a usar, por lo que debe tenerse en cuenta una serie de factores, tales como el requerimiento hídrico del cultivo, las condiciones climatológicas de la zona, topografía, el tipo de suelo, la disponibilidad de agua, la mano de obra, la conducción y el tiempo disponible para realizar esta labor. En atención a esto se puede decir que en zonas planas y con alta disponibilidad del recurso agua, el método de riego por surcos es utilizado muy eficientemente y a un costo menor que otros métodos.

El riego por surcos, consiste en aplicar en un pequeño cauce, el agua al área de suelo donde se desarrollan las raíces de los cultivos sembrados en hileras, permitiendo la infiltración y el avance de esta en toda la longitud y ancho de la hilera, en un tiempo determinado.

En los cultivos permanentes, que requieren años para alcanzar el estado adulto, como ocurre con algunos frutales, el riego por surco permite ir incrementando el área mojada de acuerdo con el tamaño de la planta, favoreciendo la economía del agua respecto a otros métodos (Grassi, 2000).

El riego por surcos alternos consiste en variar la aplicación de agua a los surcos, de forma que se deja una hilera de cultivo sin riego entre dos hileras bajo

riego. De este modo, la hilera de cultivo sin suministro de agua, la recibe desde los surcos vecinos, indirectamente por capilaridad lateral y hacia arriba debido a gradientes de potencial a través del suelo. Cabe considerar por otra parte que esta variante del método de riego por surcos es más factible en suelos pesados, de textura fina o arcillosa, que para suelos de textura media con alto contenido de arena, debido a que se requiere el movimiento del agua por capilaridad y este proceso es más efectivo en suelos de textura fina.

En esta perspectiva, en el cultivo de caña de azúcar, en la región de los llanos occidentales venezolanos, el principal sistema de riego es por surcos continuos, ya que es sembrado en hileras separadas 1,5 m, con longitud variable. Importa y por muchas razones, mejorar los rendimientos de este cultivo, el cual es sembrado en suelos de textura franco arcillo-limoso, preferiblemente y en un gran número de sectores en suelos arcillosos o pesados. Es importante señalar que este cultivo requiere 7 mm/día de agua para suplir la evapotranspiración (Sigala, 1972), por lo que se considera de alto consumo de agua.

Esta iniciativa se fundamenta en la necesidad que se presenta en el proyecto de la Red Socialista de Innovación productiva (RSIP) de uso eficiente del agua de riego del municipio San Rafael de Onoto del estado Portuguesa, proyecto socio productivo desarrollado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología e Industrias Intermedias (MPPCTII), con recursos del FONACIT y aportes de UNELLEZ, bajo la coordinación de FUNDACITE-Portuguesa, con la participación de los usuarios del sistema de riego Cojedes-Sarare. Este sistema se ubica en la región centro-occidental del país, al noroeste del estado Portuguesa y límites con el estado Cojedes en jurisdicción de los municipios San Rafael de Onoto, Agua Blanca y Páez. Entre los 9° 20' y 9° 40' latitud norte y los 68° 57' y 69° 05' de longitud oeste (MPPAT 1998).

La zona está dotada de riego mediante el aprovechamiento de las aguas del río Cojedes y Sarare, a través del embalse "Las Majaguas", constituido por 9 presas con capacidad para almacenar alrededor de 345Hm³ de agua. En el sistema existen 726 km de carretera, 486 km de canales de riego y 668 km de drenaje. La distribución del agua en la zona de riego se hace mediante una red de canales primarios y secundarios

de aproximadamente 264 km, con mil seiscientos dieciocho estructuras en canales y compuertas, siendo importantes para más de mil parcelas o unidades de producción que se benefician de sus aguas y permiten el desarrollo integral, económico y sostenido del estado (MPPAMB 1983). Comprende una superficie aproximada de 32.000 ha brutas, con un área desarrollada con toda su infraestructura con una extensión aproximada de 17.500 ha y dividida a su vez en una zona netamente agrícola (10.600 ha), una zona pecuaria (6.900 ha); y un área no desarrollada de 14.500 ha.

Los usuarios del sistema de riego están organizados en juntas de regantes y específicamente para este estudio, se contó con la participación de la junta de regantes para el área de influencia del canal M5-2, donde cultivan la caña de azúcar, para lo cual utilizan el riego por surcos continuos, presentando problemas en el uso del agua originados en los turnos de riego.

Por consiguiente, se desarrollará este estudio en la parcela 2D-18, perteneciente a un productor de la zona, la cual esta ubicada geográficamente entre los paralelos $9^{\circ}36'7,47''$ / $9^{\circ}36'16,9''$ de latitud norte y los meridianos $68^{\circ}59'23,21$ / $68^{\circ}59'36,84''$ de longitud oeste, con una altitud de 195 metros sobre el nivel del mar (Figura 1 y 2), para evaluar la eficiencia de las variantes del método de riego por surcos alternos y continuos y la respuesta en el crecimiento y producción vegetativa de la caña de azúcar, con el fin de determinar la alternativa más eficiente para optimizar el uso de agua en este cultivo, en un suelo de textura arcillosa.



Figura 1. Ubicación relativa del municipio San Rafael de Onoto, estado Portuguesa.
Fuente: FUDECO 2004

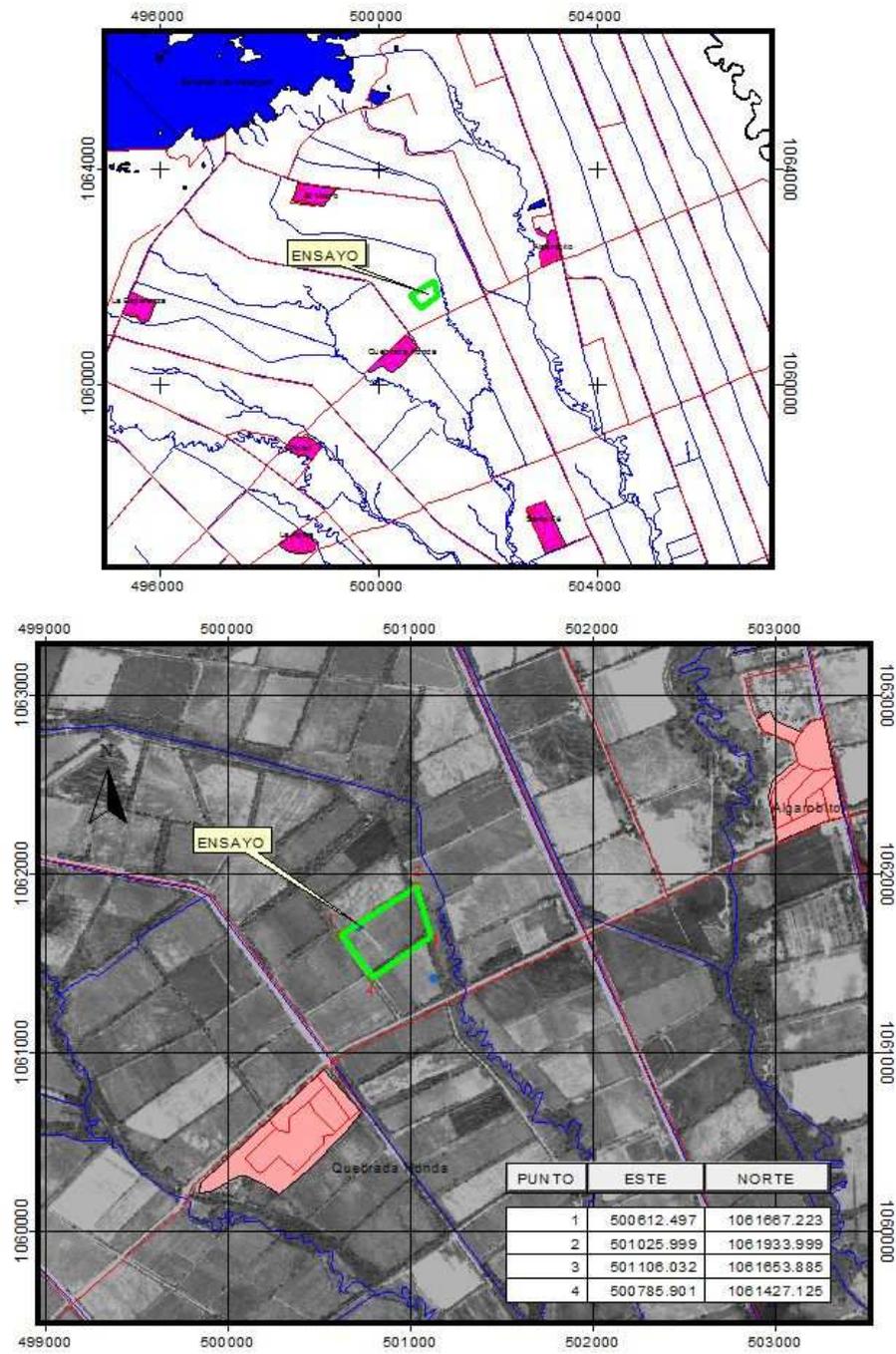


Figura 2. Ubicación del ensayo, municipio San Rafael de Onoto.

CAPITULO I

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En el sistema de riego Cojedes-Sarare, se hallan problemas de suministro de agua, debido principalmente a la disminución de la capacidad normal del embalse y el deterioro de los canales conductores. De allí pues que se ha generado competencia entre los productores, originándose conflictos sociales, por la alta demanda del agua para riego, llegando estos a establecer turnos de riego, los cuales muchas veces no se cumplen, lo que conlleva al uso inadecuado de este recurso para el cultivo. Es por ello que numerosas veces no se emplean las láminas de agua requeridas o estas se aplican en exceso, debido a que la labor de riego, se ejecuta de forma muy apresurada y sin realizar las mediciones necesarias para optimizarla. Además, sin considerar la textura del suelo. Por consiguiente es importante señalar que los suelos del área de estudio son en su mayoría pesados con valores de 60% de arcilla, lo que indica que una de las principales limitantes para el desarrollo del cultivo, es el mal drenaje interno. Sucede pues que los excesos de humedad son perjudiciales para el desarrollo del cultivo. Patrick *et al* (1969) señala que la actividad radicular de la caña de azúcar es seriamente afectada por un bajo contenido de oxígeno.

Es importante señalar que en esta zona, se han reportado rendimientos en t/ha, inferiores a otras cercanas, tal como el municipio Turen, donde se aplicó este método con mayor precisión. Dicho de otro modo, este método de riego por surcos es usado de manera ineficiente y esto ocurre debido a que los productores aplican indebidamente este método de riego, y desconocen las alternativas que puede presentar este y riegan de una forma muy empírica. En este orden de ideas, cada día aumenta el área de siembra de cultivos bajo riego para los que, la disponibilidad de agua es cada vez menor. Además no se toma en cuenta las necesidades hídricas reales del cultivo, y los costos que implica utilizar esta técnica.

En consecuencia, cuando se aplican cantidades excesivas de agua al cultivo las plantas sufren por asfixia radicular y presentan poco desarrollo y por lo tanto bajo rendimiento, con elevados costos. Desde el punto de vista técnico, el uso del agua en

el riego a nivel de parcelas de caña de azúcar, en el área de influencia del canal M5-2 en el sistema de riego Cojedes-Sarare, es efectuado de manera empírica y deficiente, ya que no se efectúan las mediciones de caudal, frecuencia de riego, textura del suelo y láminas de agua a aplicar, siendo estas excesivas, principalmente en suelos de textura pesada, lo que origina disminución en el crecimiento de la planta y por lo tanto bajos rendimientos a un alto costo. Además al obtenerse bajos rendimientos se genera un desestimulo en el productor en la siembra del cultivo, debido a la baja rentabilidad reflejada en pocos ingresos. Basados en este tipo de problemática y orientados por el Ministerio para el Poder Popular para la Ciencia y Tecnología e Industrias Intermedias, los productores de la zona se han organizado en una Red Socialista de Innovación Productiva (RSIP) de Uso Eficiente del Agua de Riego, para la cual se desarrollaron diferentes actividades, especialmente aquellas relacionadas con la investigación para dar soluciones a los problemas presentados en el uso del agua y de allí se generó la necesidad de dar respuesta a la problemática que presenta este grupo de productores, es importante proponer una alternativa para mejorar las técnicas de uso, dentro del método de riego por surcos y de esta manera optimizar el uso del agua, en el cultivo de caña de azúcar.

1.2 IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

El Sistema de Riego Cojedes – Sarare, es uno de los más importantes del país que contribuyen con el desarrollo agrícola y socioeconómico de la región, y permite el establecimiento de varios cultivos como caña de azúcar, arroz, maíz y pastos. Es así como uno de los cultivos que tiene mayor producción en la zona es la caña de azúcar, en el que se aplica el agua mediante el método de riego por surcos. En gran medida, este cultivo, es de suma importancia socioeconómica, ya que genera abundantes empleos en toda su cadena productiva, buenos ingresos y estabilidad económica a los agricultores y sus familias, además es la materia prima para uno de los principales productos de consumo de la dieta diaria como lo es el azúcar, del cual se presenta déficit en nuestro país.

Ahora bien, en el área bajo estudio, comprendida a lo largo del canal M5-2 existen aproximadamente 380 ha sembradas de caña de azúcar, beneficiando a pequeños y medianos productores. Debe señalarse, que el sistema de siembra del cultivo, se realiza por hileras, para facilitar el manejo del cultivo, ya que es de condición semiperenne y posee gran cantidad de follaje con un crecimiento erecto del tallo de las plantas, por lo que el riego por surcos se considera como el más adecuado.

Es importante señalar que esta investigación se desarrolla, con el apoyo de FUNDACITE Portuguesa, así como también aportes y participación de investigadores de otras instituciones y organismos gubernamentales como UNELLEZ, todo esto para favorecer la producción y aumentar la productividad de este sector. Por lo que se hace necesario, abordar la problemática que presentan estas comunidades para generar soluciones que les permita autogestionar sus propios procesos socioproductivos y actuar mancomunadamente en el logro de sus objetivos. El estado Venezolano ha propiciado a través de programas de financiamiento a pequeños y medianos productores y la construcción de nuevos centrales azucareros, tales como el central azucarero Ezequiel Zamora (CAEZ) en Sabaneta estado Barinas, lo que ha contribuido al aumento de la superficie de siembra del cultivo, incrementando el uso del tradicional método de riego por surcos o gravedad. Por ello, se hace necesario evaluar este método en este cultivo desde la conducción del agua en los sistemas de riego hasta la aplicación en parcelas, con la finalidad de medir la eficiencia de estos sistemas y de los métodos y sus variantes, realizando una comparación desde el punto de vista técnico y socioeconómico, lo que le permitirá al estado y al productor definir estrategias de inversión en la producción de la caña de azúcar.

Desde la perspectiva más global, en el país y en el mundo la demanda de agua también se ha incrementado y esta es cada vez menos disponible, debido tanto al uso excesivo por actividades agrícolas industriales domésticas, como por la disminución de su disponibilidad debido al cambio climático. Por lo que es necesaria la realización de investigaciones en los diversos usos del agua, para mejorar la eficiencia de estos,

con la finalidad de disminuir el gasto y el consumo. De este modo, este trabajo puede aportar datos y resultados importantes para mejorar la eficiencia del riego en el cultivo y determinar cuál es la variante del método de riego por surcos, más adecuada, mejorando así la producción y contribuyendo a través de la ciencia con el desarrollo social del país.

Por lo que esta investigación estará orientada en función de dar respuestas a la interrogante que se formula a continuación:

¿Es el método de riego por surcos alternos una alternativa adecuada para el uso eficiente del agua en un cultivo soca de caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*), en suelos arcillosos?

Considerando esta interrogante se formulan los siguientes objetivos:

1.3 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el método de riego por surcos alternos y surcos continuos en un cultivo, de caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*), en un suelo arcilloso del sistema de riego Cojedes – Sarare municipio San Rafael de Onoto, estado Portuguesa, para el uso eficiente del agua.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- 1.4.1 Determinar las necesidades básicas de riego para el cultivo de caña de azúcar, con base en los datos de suelo y climatológicos para la zona.
- 1.4.2 Evaluar el contenido de humedad en el suelo para la variante de riego por surcos alternos y para el riego por surcos continuos.
- 1.4.3 Determinar la eficiencia de las variantes de riego por surcos alternos y el riego por surcos continuos.
- 1.4.4 Determinar la productividad del riego, para cada variante estudiada, mediante indicadores de eficiencia de ejecución (ha/hombre/jornada), consumo de agua (m³) y desarrollo del cultivo.

CAPITULO II

BASES CONCEPTUALES O TEÓRICAS PRELIMINARES

2.1 Aspectos Generales sobre necesidad del riego:

Es importante señalar teorías en las cuales se abordan aspectos relacionados con: el riego por surcos y sus alternativas, así como los requerimientos hídricos del cultivo de la caña de azúcar.

Es así como, Cabrera (1994) indica que el riego es un factor esencial en el desarrollo de los cultivos agrícolas, sobre todo en las regiones donde la lluvia no cubre sus necesidades hídricas, siendo el método de riego superficial, la más antigua forma de regar, debido a su bajo o nulo requerimiento de energía y su simpleza en la operación, y es por esto, la que más se ha expandido, por lograrse la mayor eficiencia en el uso del agua; aunque por regla general, los grandes sistemas de riego por surcos en el mundo y en Cuba, han tendido a empeorar las propiedades físicas del suelo o han salinizado grandes extensiones de tierras, debido a un incorrecto diseño por no considerar todos los elementos que intervienen en el mismo.

Por otra parte, Hidalgo (1971) señala que en el diseño correcto de esta técnica (riego por surcos), intervienen los factores de suelo (infiltración, capacidad de almacenamiento de agua, profundidad efectiva), topográficos (pendiente y rugosidad), cultivo (espaciamiento entre surcos, periodo vegetativo, norma parcial del riego y profundidad a humedecer) y tecnológicos (forma y dimensiones del surco); los cuales son indispensables tenerlos en cuenta en el movimiento de avance del frente de agua por el surco y la cantidad de agua que va infiltrando en cada sección del surco. Es por esto que en los últimos tiempos y para mejorar el diseño de los sistemas, se han elaborado modelos del avance y recesión del agua para obtener los valores de mayor eficiencia en el uso del agua de riego. Por esta razón, es necesario el estudio de diferentes variables de suelo, cultivo y climatológicas de la zona, donde se implemente un diseño de riego. De este modo, Pereira Mago y Rodríguez (1996) señalan que el uso de los parámetros meteorológicos (evaporación y precipitación diaria) para el control del riego durante el período de crecimiento de la caña de azúcar

es de gran utilidad, siempre y cuando se disponga de estos valores en la zona, ya que mediante su implementación se pueden ajustar los requerimientos hídricos del cultivo a las condiciones climáticas imperantes, especialmente a la evaporación y precipitación. Por otra parte, Fauconnier y Bassereau (1975), estiman que la cantidad teórica de agua que es necesaria aplicar a la caña de azúcar mediante el riego es igual a la diferencia entre la evapotranspiración medida por la ecuación 1 y el suministro producido por las precipitaciones naturales durante un período dado. Ecuación (1) $ETP = EV \times Kc$ (factor según edad del cultivo).

FAO (1990), desarrolló una actualización del procedimiento para calcular la evapotranspiración de referencia y la evapotranspiración del cultivo a partir de datos meteorológicos y coeficientes del cultivo, con base al método combinado Penman-Montheith, definiendo el cultivo de referencia como un cultivo hipotético con una altura asumida de 0,12 m con una resistencia de la superficie de 70 s/m y un albedo de 0,23 m, lo que asemeja a la evaporación que ocurre en una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, creciendo activamente y sin limitaciones de agua. La ecuación combinada de FAO Penman-Montheith es: ecuación (2)

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma 900 / (T+273) u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

Donde E_{t0} es la evapotranspiración de referencia en mm/día, R_n es la radiación neta en la superficie del cultivo en MJ/m²/día, G es el flujo de calor en el suelo en MJ/m²/día, T es la temperatura media del aire a 2 m de altura en °C, u_2 es la velocidad del viento a 2 m de altura en m/s, $(e_s - e_a)$ representa el déficit de presión de vapor del aire, e_s es la presión de saturación del aire en kPa y e_a es la presión real de vapor en kPa, Δ representa la pendiente de la curva de presión de vapor de saturación en kPa/°C, λ es la constante psicométrica en kPa/°C.

Rodríguez, R. (2007), En un ensayo para determinar la evapotranspiración real diaria en un cultivo de tomate, en la zona de Tarabana en el estado Lara, obtuvo un modelo matemático para determinar la E_{T0} de referencia con requerimientos de datos

semanales de radiación solar y viento como los más influyentes en el proceso. También se compararon algunas metodologías empleadas en la determinación de la evapotranspiración, resultando la más adecuada para la zona en estudio el modelo basado en la ecuación de Penman-Montheith.

Gruber, L. (2002), En el cultivo de melón (*Cucumis melo*), para estimar la ETc del cultivo comparó algunos métodos micrometeorológicos como Penman-Montheith, radiación y tanque evaporímetro, con la evaporación medida con los cambios de contenido de humedad en el suelo medidos con el reflectómetro de ondas a través del tiempo (TDR). Los resultados obtenidos indicaron que la evapotranspiración calculada por el método Penman-Montheith, fue mejor estimada y por el contrario el método de la radiación no la estimó adecuadamente.

Igualmente, Grassi (2000) señala que el agua útil para ser usada por las plantas es la comprendida entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente. La capacidad de campo es la máxima capacidad de retención de agua en condiciones libre de drenaje. El punto de marchitez permanente es el contenido de agua al cual las plantas se marchitan y no se recuperan después de haber sido sometidas a condiciones de un ambiente saturado durante la noche. Se determina midiendo el contenido de agua en el suelo en equilibrio a una presión de 1500 kPa.

Desde el punto de vista edafológico, Burbano (1989) señala que el uso más eficiente del agua se encuentra asociado a una mayor disponibilidad de materia orgánica, al favorecer la infiltración del agua en el suelo, reduce la pérdida del agua por evaporación del suelo, mejora el drenaje de los suelos de textura fina y por tanto promueve una mejor distribución del agua en el perfil del suelo, ayuda al desarrollo de un sistema radicular más profundo que conduce al uso del agua en una capa del suelo también más profunda. La asociación e interrelación de todas estas condiciones favorecen el desarrollo y productividad del cultivo.

2.2 Investigaciones referidas al riego por surcos:

Existen diversas experiencias en trabajos desarrollados para evaluar el riego por surcos, en las que se señala la importancia de estudiar parámetros como textura del suelo, movimiento del agua dentro de este, el caudal a aplicar, la conducción del

agua a través del surco y climatológicos para mejorar el rendimiento del cultivo de la caña. Además, se toma muy en cuenta la distribución del agua en el surco para lo cual se han utilizado diferentes variantes, entre ellas el riego por surcos alternos en el cultivo de la caña de azúcar. Es así como Gómez y Pinto (1970), en un ensayo en caña de azúcar cultivada en suelos pesados, observaron que la compactación del suelo reducía el contenido de humedad, lo cual incidió en el suministro de agua a la planta, afectando finalmente la producción.

Igualmente, experiencias de Grassi (1973), trabajando en suelos pesados, indican que las pérdidas por percolación pueden considerarse pequeñas, recomendando que el mayor esfuerzo deba ser dedicado a disminuir las pérdidas por escurrimiento, por medio de la reducción del caudal de entrada. En estos experimentos se observó que la reducción del caudal, incluso antes de llegar al final del surco, condujo a valores razonablemente buenos de la eficiencia de aplicación en el campo.

De igual manera, Torres *et al* (1996), han desarrollado investigaciones sobre la viabilidad de usar el riego por surcos alternos en caña de azúcar, en suelos de los órdenes Mollisol, Inceptisol y Vertisol. Los resultados obtenidos con la plantilla de la variedad Co 421 en un suelo arcilloso (Vertisol) indican que el riego por surcos alternos no se constituye en una buena alternativa debido al agrietamiento natural de los suelos, lo cual impide un rápido y uniforme avance del agua en el campo. Los resultados obtenidos con la plantilla de la variedad MZC 74275, en suelos de los órdenes Inceptisol y Mollisol fueron promisorios.

Durante el primer riego no se observaron diferencias en la cantidad de agua aplicada por surco continuo y surcos alternos debido a que durante la preparación el suelo es disturbado considerablemente. A partir del segundo y tercer riego se observaron respectivamente ahorros de 10% y 46.5% del agua aplicada en relación al riego por surco continuo. No se observaron diferencias significativas en producción de caña y azúcar entre los sistemas de riego por surco continuo y riego por surcos alternos. Sin embargo, fue evidente un incremento notorio en producción al regar por

surcos alternos, lo cual sugiere la existencia de un ambiente más favorable en las relaciones suelo-agua para la caña de azúcar.

Igualmente, Torres, *et al* (1996) en un estudio realizado por ellos, indicaron que la disponibilidad del agua para riego de la caña de azúcar ha disminuido apreciablemente durante los últimos años debido a cambios en la frecuencia o intensidad de las lluvias., el riego por surcos alternos fue comparado con el sistema de riego por surco tradicional. También se incluyó un tratamiento testigo sin riego con el fin de conocer la respuesta de la caña al riego. Los experimentos se iniciaron en 1988 y después de siete años algunos ciclos de cultivo coincidieron con años húmedos y secos. El riego por surco alterno no funcionó bien en la plantilla del suelo Vertisol debido al laboreo excesivo del suelo durante la preparación y por el agrietamiento pronunciado del suelo al perder humedad. A partir de la primera y segunda socas el sistema de surcos alternos mejoró su desempeño debido a la recompactación del suelo. En los suelos sin limitaciones físicas el surco alterno permitió ahorrar entre 43% y 50% del agua usada en surco continuo sin sacrificar la producción de caña y azúcar. Algunas veces este sistema permitió obtener mayores producciones que por surco continuo debido a mejores relaciones suelo-agua-planta.

No se observaron diferencias entre los sistemas de riego por surco alterno y, Por lo tanto, los autores recomiendan el uso del riego por surco alterno en campos comerciales de caña.

Villafañe (1998), señala que el caudal máximo a utilizar por surco no debe superar el máximo permisible según Criddle *et al* (1956), cuya expresión es $q_m = 0,63/i$. donde i es la pendiente promedio del surco en % y q_m es el caudal máximo erosivo en l/seg.

Mendez, *et al.* (1999). En un estudio del efecto de tres frecuencias de riego sobre el rendimiento y sus componentes en cuatro cultivares de ajonjolí, determinó el coeficiente K_c del cultivo mediante la ecuación $K = E_{Ta}/ETP$, donde: E_{Ta} : evapotranspiración real y ETP : Evapotranspiración potencial, la E_{Ta} se calculó mediante la fórmula $E_{Ta} = d_c/H_f$, donde d_c : láminas consumidas y H_f : número de días entre un muestreo y otro (antes del riego AR y 48 horas después del riego

anterior HDRA). La d_c se calculó mediante la fórmula $d_c = (Hf_2 - Hf_1)/100 * D_a * P_r$, donde Hf_2 : Contenido de humedad 48 HDRA; Hf_1 : contenido de humedad antes del riego HAR; D_a : densidad aparente del estrato y P_r : profundidad radical en cada estrato. La humedad del suelo se determinó por el método gravimétrico, recolectando muestras sucesivas AR y 48 HDRA, la humedad del suelo se calculó en cada FR para cada repetición, es decir, tres repeticiones por FR. El H_f se calculó mediante la fórmula $H_f = [(PSH - PSS)/PSS] * 100$, donde PSH: Peso (g) de suelo húmedo, PSS: Peso (g) de suelo seco. Los estratos estuvieron comprendidos entre 0-20 cm; 20-40 cm y 40-60 cm de profundidad.

Arbat, *et al.* (2009). En un ensayo sobre la distribución del agua en el suelo en riego por surcos alternos y no alternos en el cultivo de maíz, en un suelo de textura franco arenosa, observaron que el avance de agua fue más rápido en el riego por surcos no alternos (RSNA) que en el riego por surcos alternos (RSA). La uniformidad de distribución (DU) fue ligeramente superior en el RSA que en el RSNA. En el caso del RSNA el valor de la DU fue similar a la observada en campos de productores de maíz de la zona, en los que DU fue de 68.0%. El valor medio de la lámina de agua hasta 80 cm de profundidad a lo largo de la campaña de riego indica que cuando se comparan los dos tipos de riego hay diferencias significativas tanto en su conjunto como en cada una de las posiciones. La mayor lámina de agua en el RSNA responde a que el volumen de agua aplicado fue superior en este tipo de riego con 185.8 mm frente a los 139.7mm aplicado en el RSA. Aunque en el RSNA se realizaron 9 riegos y en el RSA 12, la cantidad de agua de riego aplicada en el RSNA es un 33% superior a la aplicada en el RSA. El uso de agua fue un 13.3% superior en el RSNA. En ambos sistemas los contenidos de agua simulados a una profundidad superior a 20 cm no presentan incrementos, coincidiendo con las medidas tomadas con TDR. La zona del caballón es la zona que presenta mayor sequedad en los dos sistemas de riego, lo que también se detectó a partir de las medidas con TDR.

R de Solórzano, *et al.* (1998). Evaluaron el riego por surcos en el estado Mérida, los resultados mostraron una eficiencia del riego del 36,97%, Los resultados

obtenidos señalan que es posible mejorar notablemente las eficiencias actuales en las parcelas, sin cambiar el método de riego por surco, el cual es tradicional en el área, mediante la aplicación de determinados criterios de diseño, manejo y control del agua.

2.3 Eficiencia del riego:

Aguas (1996) señala que el objetivo de una programación eficiente del riego es determinar la duración del riego y la calidad de agua para optimizar la producción de los cultivos con una máxima eficiencia de uso del agua y, al mismo tiempo, asegurar un daño mínimo del suelo. De este modo, la programación del riego incluye la decisión de cuándo regar y cuánta agua aplicar al cultivo con el objetivo de maximizar las eficiencias de riego mediante la aplicación de la cantidad exacta de agua necesaria para reponer la humedad del suelo al nivel deseado. Adicionalmente, permite un uso eficiente del agua y de la energía. Es importante señalar que el consumo total de agua de la caña de azúcar en los diferentes países varía en forma amplia, debido a las diferencias en los ciclos de cultivo. Por lo general, este consumo oscila entre 1200 y 1500 mm por año de cultivo, siendo mayor en las zonas subtropicales que se caracterizan por épocas secas más prolongadas y por una evaporación mayor que en las zonas tropicales.

En este orden de ideas, De La Loma (1968) explica que la eficiencia de aplicación de agua en caña de azúcar está relacionada con la cantidad de agua que debe suministrarse al suelo en cada riego, dependiendo de sus condiciones físicas, de la frecuencia de las aplicaciones y de la profundidad radicular.

La eficiencia y la frecuencia de aplicación del riego debe relacionarse con el crecimiento del cultivo en cada una de sus etapas de desarrollo y en especial con su producción final, en este sentido, Sigala (1972) obtuvo en el Campo de la Estación Experimental Yaritagua un efecto notable del riego en la producción de caña de azúcar. En plantilla, la sequía moderada produjo una disminución del tamaño de los tallos; en socas, una acentuada falta de humedad redujo el tamaño y números de tallos, conservándose esto en resoca. La soca se mostró más sensible a la sequía que

la plantilla. El consumo de agua por el cultivo fue de 7 mm/día, siendo ésta equivalente a la evaporación de una tina tipo "A", obtuvo los siguientes resultados: a los 7,5 meses de edad se observó un efecto positivo, altamente significativo, en la longitud de tallos, tallos por metro lineal y peso, a medida que aumentó el agua recibida. Igualmente, Rincones (1990), señala que es necesario establecer la frecuencia de riego óptima para cada variedad en explotación, con el fin de ahorrar el recurso agua.

2.4 Determinación del contenido de humedad en el suelo:

El contenido de humedad en el suelo, puede considerarse como un sistema dinámico, donde el agua se desplaza produciendo movimiento, es almacenada y transmitida al sistema radicular de las plantas, por lo que es muy importante el estudio sobre la humedad del suelo y su relación con el riego para lograr un buen desarrollo del cultivo. Es así como Tineo y Viso (1963), reseñaron aumentos considerables de producción de la caña de azúcar en los Valles de Aragua, cuando los riegos son controlados mediante determinaciones gravimétricas de la humedad del suelo, siendo las láminas de riego aplicadas de 700 a 850 mm por ciclo con un promedio de 15 riegos (frecuencia de 10 días).

Pire (2005) en un ensayo en condiciones de campo, evaluó el efecto de la humedad del suelo sobre el crecimiento del portainjerto de vid Criolla Negra injertado con dos cultivares para vino y determinó que el déficit de humedad afecta negativamente el potencial hídrico foliar, la conductancia estomática y la tasa de fotosíntesis en todos los materiales estudiados y en general produjo una disminución ligera de la masa del sistema radical y reducción fuerte de la parte aérea. Además la mayor densidad de raíces ocurrió en el estrato superior del suelo, presentando una disminución progresiva con la profundidad.

Rodríguez *et al* (2007). Evaluaron el efecto del estrés producido por sobrehumedecimiento del suelo en la dinámica del índice del área foliar en el cultivo de caña de azúcar encontrando que el exceso de agua en el suelo redujo significativamente la dinámica del IAF, con diferencias varietales, demostrando que esta dinámica está influenciada por la humedad del suelo y la evapotranspiración.

2.5 Uso de sonda TDR-300 para determinación de humedad en el suelo:

Existen otros métodos basados en uso de equipos o sondas para determinar el contenido de humedad en el suelo, uno de estos es la sonda TDR – 300, el cual es explicado por Luque (1981), quien señala que el método se fundamenta en la determinación de la conductividad del sistema, la cual será directamente proporcional al contenido de humedad del suelo en el momento del análisis. Por lo tanto Sancho y Villatoro (1996), aseguran que midiendo la velocidad de transmisión de una señal u onda dentro del suelo, puede ser determinada la constante dieléctrica del mismo de acuerdo con la ecuación 2.

$$\text{Ecuación (2)} \quad K_a = (tc/L)^2$$

Donde: \rightarrow K_a = Constante dieléctrica

t = Tiempo de viaje (ns)

c = Velocidad de la luz (cm/ns^{-1})

L = Longitud de guías o sonda.

Asimismo, al disminuir el contenido hídrico del suelo aumenta su resistividad y disminuye su conductividad al paso eléctrico. En consecuencia, el coeficiente de transmisividad de un suelo aumenta en función del aumento del contenido volumétrico de agua (Rhoades *et al.* 1976, citados por García y Gispert 1999).

Igualmente, López, *et al* (2005) reportaron que la sonda TDR es uno de los métodos de medida de la constante dieléctrica del suelo, que se ha demostrado en íntima relación con su contenido de agua y con anterioridad. Fellner y Feldegg (1969), citados por López (2005), habían utilizado el TDR para la medida de la constante dieléctrica de líquidos usando guías de onda coaxiales.

La metodología se basa en la facilidad o dificultad al paso eléctrico que ofrece un determinado suelo según sea su contenido hídrico (García y Gispert 1999).

Vargas, *et al* (2008) realizó un estudio de Calibración de la sonda TDR-300, lo cual permitió realizar mediciones del contenido de humedad, antes y después de cada riego en la parcela 2D-18, municipio San Rafael de Onoto del estado Portuguesa. Se determinó el contenido volumétrico de humedad del suelo, en sus modos de aplicación; Estándar; para suelos mineralizados y Hi clay; para suelos con arcillas

pesadas y a partir del modo Periodo, el cual refleja la conductividad eléctrica del suelo. Por otra parte, se registraron los valores del contenido de humedad del suelo, obtenidos a través del método gravimétrico. Se determinó la ecuación de la recta para la predicción de los valores de humedad gravimétrica, a partir de los valores de humedad volumétrica emitidos por la sonda TDR.

Las mediciones realizadas por la sonda TDR-300, reflejaron un coeficiente de correlación positivo y apreciable para los estratos de suelo E_1 (0-20 cm) de 0,72244144 y un coeficiente de correlación positivo y mediano para E_2 (20-40 cm) y E_3 (40-60 cm) de 0,42600904 y 0,45529065, respectivamente, cuando estos fueron relacionados con su correspondiente valor gravimétrico, según lo descrito por Negrín (1982). El autor concluye que la sonda TDR-300 puede ser aplicada en E_1 y E_2 , utilizando las respectivas curvas de calibración, en rangos de conductividad eléctrica comprendidos entre 2.400 y 3.600 uS/cm y 2.800 y 4.000 uS/cm, respectivamente.

T1 (Riego por surcos alternos)	1	0-20	44	Sin Riego	1	28/01/08	1,4	
		20-40						
		40-60						
		0-20	45	Con Riego	2	23/02/08		
								20-40
								40-60
	2	0-20	44	Sin Riego	3	09/03/08		
								20-40
								40-60
		0-20	45	Con Riego	3	09/03/08		
								20-40
								40-60
	0-20	46	Sin Riego	3	09/03/08			
						20-40		
						40-60		
T2 (Riego por surcos continuos)	3	0-20	74	Con Riego	1	28/01/08	1,6	
		20-40						
		40-60						
		0-20	75	Con Riego	2	23/02/08		
								20-40
								40-60
	4	0-20	74	Con Riego	3	09/03/08		
								20-40
								40-60
		0-20	75	Con Riego	3	09/03/08		
								20-40
								40-60
	0-20	76	Con Riego	3	09/03/08			
						20-40		
						40-60		

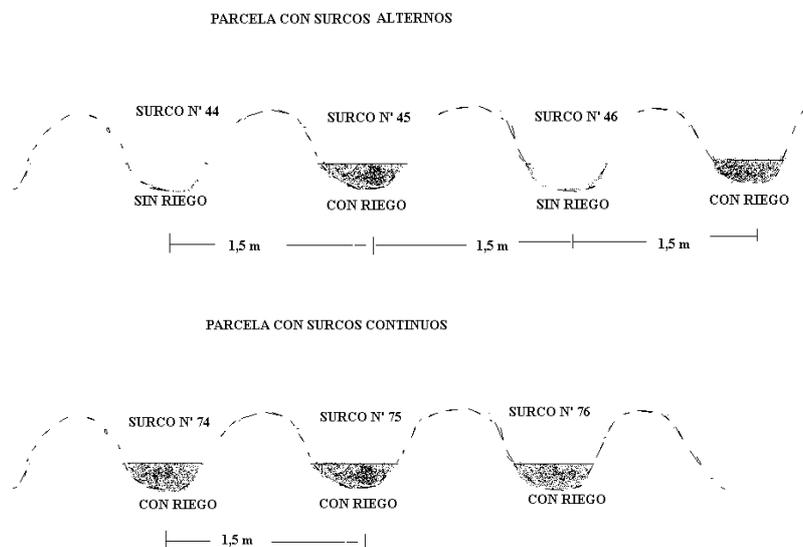


Figura 3. Diseño de la distribución de los tratamientos en campo

Para cumplir con los objetivos planteados, se desarrollaron las siguientes actividades:

3.2 Determinación de las necesidades básicas de riego para el cultivo de la caña de azúcar:

- a) Para lograr esto, se llevó a cabo, la recopilación de información básica sobre, datos meteorológicos, revisión de registros de datos de los organismos competentes del Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierra (MPPAT) y del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MPPAMB) y de la asociación de productores de la zona, así como de las estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) del sector.
- b) Se realizaron análisis de suelo en el laboratorio de la UNELLEZ, para determinar la textura y la fertilidad del suelo, para lo cual se utilizaron los métodos de Walkey- Black para materia orgánica, Conductividad Eléctrica para sales solubles, Olsen o Bray para fósforo, Acetato de amonio-fotometría de llama para potasio, Acetato de amonio pH7-Absorción Atómica para calcio y magnesio, KCl 1N para aluminio intercambiable y Bouyuco para textura. Se

realizó un análisis estadístico mediante análisis de la varianza para verificar la homogeneidad del suelo para ambas parcelas de observación.

- c) Se realizó una estimación de la Infiltración básica, con el uso de cilindros infiltrometros en campo, y datos graficados en papel doble logarítmico o Gumbel, para obtener la ecuación de Kostiakov ($I_b = (m * a) * t_b^{(m-1)} = (0,09*193,38) ^{0,32}$), que expresa la velocidad de infiltración en un punto. Igualmente, se llevó a cabo la determinación de densidad aparente (D_a), para lo cual se utilizó el cilindro Uhland en la captura superficial de muestras de suelo. Las muestras de material intacto fueron recogidas con un colector, de volumen conocido ($1060,29 \text{ cm}^3$), secadas en estufa a $105 \text{ }^\circ\text{C}$ por espacio no menor de 24 horas y pesadas en seco. Se utilizó la ecuación que relaciona la masa de suelo seco con el volumen de suelo para definir la D_a en gr/cm^3 . Se determinó el espacio poroso total (EPT), en porcentaje, relacionando la densidad aparente calculada con la densidad real para suelos de textura fina, estimada en $2,65 \text{ gr}/\text{cm}^3$ con la formula $EPT = (1 - (D_a/D_r))*100$. Estos valores se compararon con los rangos de valores para la textura.
- d) La variación de la capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP), se realizó mediante el uso de los indicadores que se resumen en la Tabla 2 de las propiedades físicas del suelo según Grassi (1976).

Tabla 2

Resumen de las propiedades físicas del suelo.

Textura	CC (%)	PMP (%)
Arenoso	6-12	2-6
Franco arenoso	10-18	4-8
Franco	18-21	8-12
Franco arcillosos	23-31	11-15
Arcilloso arenoso	27-35	13-17
Arcilloso	31-39	15-19

Fuente: Grassi 1976

Tabla 3**Rango de valores de Da y EPT para diferentes texturas del suelo.**

TEXTURA	Da(g/cm³)	EPT (%)
ARCILLOSA	1,10 – 1,30	≥ 50
MEDIA	1,30 – 1,45	40 - 50
ARENOSA	1,45 – 1,60	≤ 40

- e) Se realizó un levantamiento topográfico altimétrico, con el cual se determinaron las cotas del terreno y se elaboró un plano a curvas a nivel. Estos datos permitieron calcular la pendiente de los surcos y estimar los caudales máximos permisibles en l/seg, calculado según la fórmula de Criddle *et al* (1956) citado por Villafaña (1998) $Q= 0,63/S$, donde S= la pendiente de cada surco en porcentaje.
- f) Se determinaron las necesidades hídricas para el cultivo: Se utilizó un balance hídrico del clima en la zona, en base a la evaporación (E), medida en tina tipo “A” (Anexo B), así como el modelo de la FAO, CROWAPT 8.0, para obtener las necesidades de riego o demanda neta de agua del cultivo, para cada mes. Para esto se ingresó al programa la información de la precipitación mensual medida en el pluviómetro (mm/mes), temperatura máxima y temperatura mínima en °C/mes, Humedad relativa (%/mes y promedio entre el dato de las 8:00 am y el de las 2:00 pm), velocidad del viento (km/día), insolación (horas), Todos estos datos se obtuvieron de la estación meteorológica del Instituto Nacional de investigaciones agrícolas (INIA) Araure Portuguesa (Anexo B). además se ingresaron al sistema los datos de fecha de siembra del cultivo, profundidad radicular en cm, tipo de suelo, según análisis de laboratorio, humedad del suelo disponible (CC-PMP) en mm/m, tasa de infiltración de la precipitación en mm/día, agotamiento inicial de la humedad del suelo (como % de ADT). Con base a esta información, se determinó la programación del riego, con los criterios de uso común determinados por la

FAO (Tabla 4), definiendo para cada tratamiento y para cada fecha, la lámina bruta y la lámina neta de agua a aplicar en mm, así como el caudal en l/seg/ha, tomando en cuenta la etapa del ciclo del cultivo.

Tabla 4

Criterios utilizados para la programación del riego según FAO.

Variable	Criterio
ET_o	Penman- Monteith
Precipitación	USDA Servicio de conservación de suelos
	P_{ef}= (P*(1,25 - 0,2 *3 *P))/125 Para P ≤ 250/3 m
	P_{ef}= 125/36 + 0,1*P Para P > 250/3 m
Momento de riego	Regar a agotamiento crítico (50% AU)
Aplicación de riego	Reponer a capacidad de campo
Eficiencia de riego (en campo)	25%

- g) Se determinó el caudal aplicado en cada uno de los surcos estudiados en l/s/ha a través de un aforador tipo Parshall y se comparó con el caudal máximo permisible.

3.3 Evaluación del contenido de humedad en el suelo para las variantes de riego estudiadas.

- a) Se obtuvo el contenido de humedad en el suelo, antes y después de cada riego: Se determinó el % de humedad en base a peso, en el suelo mediante el método gravimétrico, para esto se tomaron las muestras de suelo en cada una de las parcelas experimentales, específicamente en los puntos 1 y 2 de los surcos 44,45 y 46 en la parcela con riego por surcos alternos y en los puntos 3 y 4 de los surcos 74,75 y 76, en la parcela con riego por surcos continuos y a profundidades de 0-20, 20-40 y 40-60 cm. Se pesaron para obtener su peso inicial o peso húmedo, luego se sometieron a secado en estufa a 105 °C durante 24 horas y después de este tiempo, se pesan nuevamente, para obtener el peso seco. Por diferencia entre los pesos medidos se obtuvo el

contenido de humedad en base a peso (θ_g) y se expresó en porcentaje, este dato permitió obtener el contenido de humedad en base a volumen (θ_v) realizando la conversión de la humedad volumétrica mediante el producto de la humedad gravimétrica por la densidad aparente del suelo, a través de la ecuación utilizada por Villafaña (1998) y Rubio *et al.* (2006), al multiplicarlo por la correspondiente D_a y el resultado de esto se multiplicó por la profundidad, lo que permitió obtener la lámina de agua contenida en el suelo, para cada estrato.

También se contó con el uso de la sonda TDR-300, para medir estos contenidos de humedad, basados en la calibración realizada por Vargas, *et al* (2008). Para la determinación del contenido volumétrico de humedad del suelo, se registraron 48 datos emitidos por la sonda TDR-300 para los estratos superficial (E_1), medio (E_2) y profundo (E_3), a profundidades de 0-20, 20-40 y 40-60 cm, respectivamente. En sus modos de aplicación; Estándar o normal, refleja el contenido de humedad para suelos mineralizados expresado en % en el modo Hi clay; para suelos con arcillas pesadas ($> 27\%$), expresado en % y a partir del modo Periodo, el cual refleja el periodo de medición de la constante dieléctrica del suelo (K_a) expresado en microsegundos.

- b) Se determinó la lámina (mm) de agua disponible para la planta, antes y después de cada riego, tal y como se mencionó en párrafos anteriores. Para esto, se estimó la lámina promedio almacenada en cada parcela experimental en los surcos señalados y en los puntos 1, 2, 3 y 4, para cada horizonte de 0-20, 20-40 y 40-60 cm, tomando en cuenta el contenido de humedad en base a volumen y se calculó con el uso de la formula:

Ecuación (1) Lámina (mm) = $\theta_v * Z / 100 * 10$ Donde: θ_v = contenido de humedad en base a volumen. Z = espesor del horizonte.

- c) Se utilizó el sistema computarizado Surfer para crear un mapa de imagen de los perfiles de humedad en el suelo para cada punto estudiado.

3.4 Determinación de la eficiencia de riego:

Con base a la ecuación de la eficiencia de riego y lámina neta (Israelsen 1932, 1950) de $E_{fr} = d_n / d_b$, donde d_n = Lámina consumida o neta y d_b = Lámina bruta derivada en la toma del predio que se obtiene por la relación entre el volumen bruto y el área regada, se determinó la eficiencia de utilización agronómica (E_f), de aplicación (E_a), de almacenamiento (E_{al}) y de uniformidad (E_d), mediante las siguientes ecuaciones referidas por Gurovich (1999):

Eficiencia de utilización agronómica:

$$\text{Ecuación 2 } E_f = E_a \times E_{al} \times E_d$$

Eficiencia de aplicación:

$$\text{Ecuación 3 } E_a = \frac{h_a - h_p}{h_a}$$

h_a: carga aplicada durante el riego (Lámina aplicada)

h_p: carga de agua que no queda retenida en la zona radical del cultivo y no es utilizada para cumplir el objetivo del riego (lámina de agua perdida).

Eficiencia de almacenamiento:

$$\text{Ecuación 4 } E_{al} = \frac{h_{al}}{h_{cc}}$$

h_{al} : lámina almacenada en el perfil de suelo al finalizar el riego.

h_{cc} : lámina de agua requerida para que todo el perfil de suelo permanezca a capacidad de campo (CC) hasta la profundidad de las raíces.

Eficiencia de uniformidad: se determinó la distribución del contenido de la humedad en la profundidad del perfil de cada surco seleccionado en cada tratamiento.

Ecuación 5

$$Ed = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - X'|}{n \times X'}$$

Ed = Eficiencia de uniformidad

$|X_i - X'|$ = Desviación de observaciones individuales respecto al promedio de las profundidades de mojado X' .

n = es el número de observaciones.

3.5 Determinación de la productividad del riego:

- Se utilizó un aforador tipo Parshall y la relación de altura de la lámina con el área regada, se determinó el gasto de caudal de agua en m³/ha, en la parcela de riego por surcos continuos y en la parcela de riego por surcos alternos.
- Se realizó la medición de desarrollo Biométrico del cultivo, después de cada riego. Para esto, se tomaron medidas a partir de dos meses de edad de la plantación, tanto en la parcela de riego por surcos alternos como en la parcela de riego por surcos continuos y en los puntos 1, 2, 3 y 4, de las siguientes variables: Longitud del tallo (Tomada desde la base del tallo, hasta el penúltimo par de hojas); perímetro del tallo (medido en la base); área foliar (medida del largo por el ancho de la parte media de la hoja y en la segunda hoja después de la hoja bandera); cantidad de nudos presentes (mediante el método de apreciación, basado en un conteo simple); cantidad de tallos por cepa, (basado en conteo simple). Realizándose las mediciones hasta la etapa de encepamiento. Esta actividad se basó en un trabajo de evaluación biométrica del cultivo de caña de azúcar (Cartaya, *et al* 2008).
- Se realizó al final del ciclo del cultivo una medición de la distribución de las raíces en el perfil del suelo, mediante excavación en la base de la planta y una estimación de cosecha para obtener producción en t/ha. Esta estimación se llevó a cabo en cada parcela experimental y en los puntos 1, 2, 3 y 4. Se

seleccionaron cinco tallos en cada punto, se pesaron y se obtuvo el peso promedio del tallo (kg). Luego se contaron en cada punto y en cada parcela el número de tallos por metro lineal, para obtener el número de tallos por hectárea, el cual se multiplicó por el peso promedio del tallo para obtener la producción.

- d) Se determinó la cantidad de horas/ha/hombre para cada tratamiento. Para lo cual se midió el tiempo para ejecutar el riego, desde el inicio hasta el final de cada riego, tomando en cuenta el número de jornales/ha, en cada parcela experimental.

3.6 Análisis de datos:

Para analizar los datos, del contenido de humedad en el suelo determinada gravimétricamente y valores obtenidos con sonda TDR-300, se utilizó un arreglo estadístico factorial (2x3x3) como modelo completamente aleatorizado con medición como submuestra. Para analizar los datos de eficiencia y variables biométricas se utilizó un análisis de la varianza y pruebas de comparación de medias de Tukey, para medir significancia de las variables. En el análisis de la varianza, se consideraron como valores no significativos (ns), los ubicados en el rango $P > 0,05$; significativos (*) en el rango $P < 0,05$ y altamente significativos (**) en el rango $P < 0,01$. En la prueba de comparación de medias se asignaron las letras A, B, C, D y E para definir grupos homogéneos, y los valores medios con distinta letra se consideran significativamente distintos a un nivel de significación $P < 0,05$.

CAPITULO IV

ANALISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 Necesidades básicas de riego para el cultivo de la caña, con base en los datos climatológicos para la zona:

Análisis de la información básica:

Balance Hídrico:

Se puede observar en la Tabla 5 y Figuras 4 y 5 (Anexo 6), los datos de evaporación y precipitación mensual, así como un balance hídrico del clima en la zona, además se indica que los meses donde ocurren los déficits para el año 2007, son Enero, Febrero, Marzo, Abril y Diciembre, presentando una precipitación acumulada anual de 1529 mm/año, una evaporación de 1673 mm/año y una ETo/2 de 669 mm/año.

Tabla 5

Datos del balance hídrico: precipitación útil, Eto, déficits y excesos.

MES	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)	Precipitación Util	Eto	Eto/2	Deficits	Excesos
1	0	177	0	142	71	-89	0
2	18	214	13	171	85,5	-158	0
3	86	200	60	160	80	-100	0
4	95	149	67	119	59,5	-52	0
5	248	119	174	95	47,5	0	0
6	161	100	113	80	40	0	12
7	198	121	138	97	48,5	0	41
8	217	109	152	87	43,5	0	65
9	193	103	135	82	41	0	53
10	225	101	158	81	40,5	0	77
11	57	113	40	90	45	0	0
12	31	167	22	134	67	-62	0
Anual	1529	1673	1072	1338	669	461	248

Fuente : INIA Araure 1998 – 2007

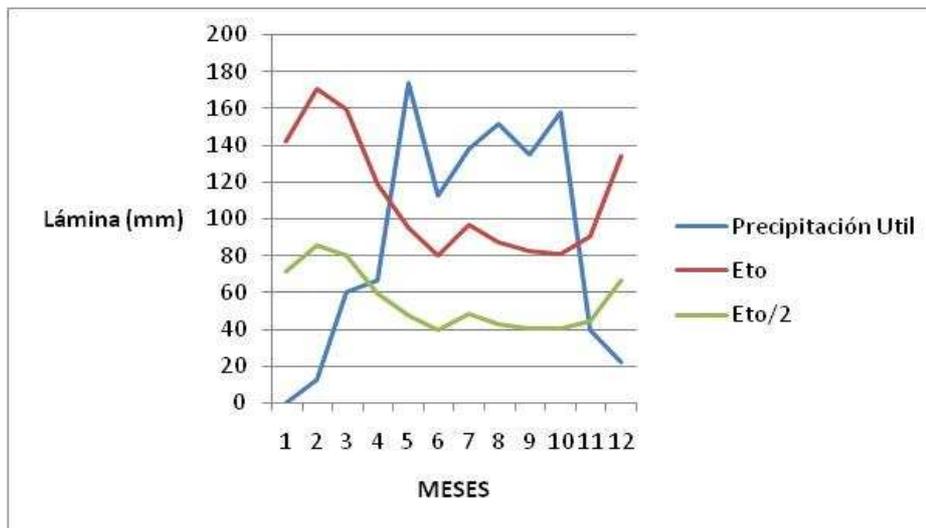


Figura 4. Datos climatológicos y balance hídrico

Fuente: INIA Araure 1998 – 2007

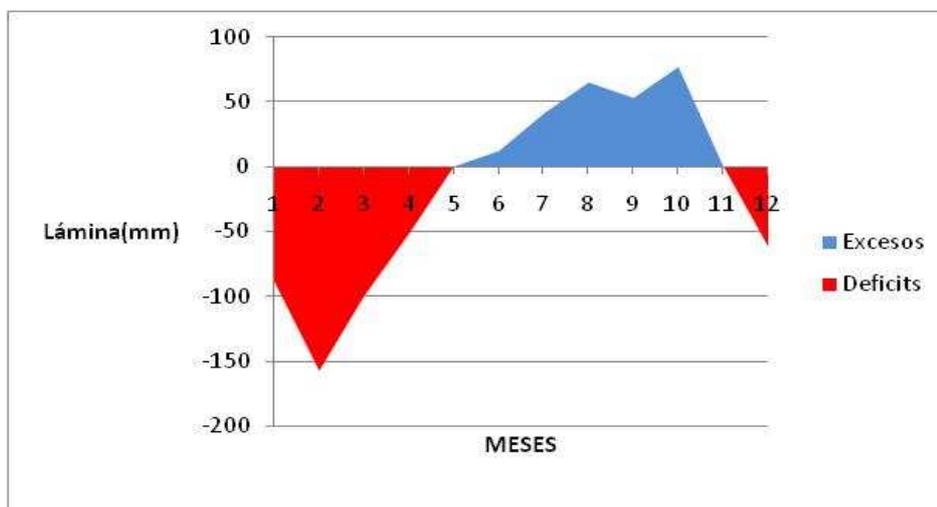


Figura 5. Déficits y excesos de humedad (Balance hídrico)

Fuente: INIA Araure 1998 – 2007

Suelo:

Es importante señalar que para comprobar la homogeneidad en las características del suelo (Tabla 6), para ambas parcelas experimentales, se realizó un análisis de la varianza (Tabla 7), para los datos obtenidos en laboratorio en el cual no se observaron diferencias significativas para los componentes de la textura, tales

como el limo (L), arena (a) y arcilla (A), predominando la textura arcillosa en ambas parcelas. Igualmente no se observaron variaciones significativas para la conductividad eléctrica (CE), para el contenido de materia orgánica (MO) y el potasio (K), Sin embargo, se manifestaron cambios significativos para el contenido de fósforo (P), magnesio (Mg) y el Ph y comportamientos altamente significativos para el contenido de calcio (Ca). El contenido de fósforo es favorable para la parcela donde se estableció el tratamiento con riego por surcos alternos, sin embargo el Ph en ambas parcelas se encuentra entre 7,4 y 7,2 considerándose alcalino, lo que ocasiona disponibilidades de fósforo bajas, como ocurrió en este caso y al observar los datos recolectados en campo, esta condición se presenta en solo los estratos de 0-20 cm y en el resto de los estratos el contenido de fósforo es solo de trazas o nulo. Con respecto al contenido de magnesio y calcio este es favorable para la parcela donde se estableció el tratamiento de riego por surcos continuos (Tabla 8). Con base a esto se considera que las condiciones de suelo son homogéneas para ambas parcelas donde se establecieron los tratamientos y tienen poca importancia en los resultados finales.

Tabla 6

Características del suelo.

CARACTERISTICAS DEL SUELO														
Tratamientos	Punto	Profundidad (cm)	Ph	C E(ds/m)	MO(%)	P (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Textura	a(%)	A(%)	L(%)	
SURCOS ALTERNOS	1	0-20	7,3	0,24	2,46	16	75	3900	375	A	4,4	59,6	36	
		20-40												
		40-60	7,2	0,2	1,46	Trazas	50	2750	300	A	4,4	63,6	32	
	2	0-20	7,6	0,2	0,55	Trazas	30	1950	275	A	5,6	69,6	24,8	
		20-40	7,2	0,54	2,56		9	45	3175	375	A	8,4	53,6	38
		40-60	7,4	0,84	1,38	Trazas	35	2600	400	A	2,4	63,6	34	
		40-60	7,7	2,86	0,91	Trazas	20	2000	300	A	4,4	59,6	36	
SURCOS CONTINUOS	3	0-20	7,4	0,25	2,24	Trazas	65	3375	550	A	4,4	63,6	32	
		20-40	7,9	0,55	0,95	Trazas	30	4000	425	A	4,4	61,6	34	
		40-60												
	4	0-20	8	1,13	0,43	Trazas	20	3500	300	A	4,4	55,6	38	
		20-40	7,7	0,76	1,88	Trazas	65	3500	575	A	14,4	55,6	30	
		40-60	7,6	0,57	1,84	Trazas	45	5000	625	A	0,4	63,6	36	
		40-60	7,7	0,7	1,03	Trazas	20	5125	400	AL	4,4	53,6	42	

a = Arena, A = Arcilla, L = Limo.

Tabla 7

Análisis de la varianza para características del perfil de suelo

	Valor de F y significación									
Fuente de variación	P	K	MO	Mg	Ca	Ph	CE	A	a	L
Parcela	12,76 *	0,07 ns	0,63 ns	11,80 *	15,69 **	10,94 *	0,11 ns	1,23 ns	0,06 ns	0,80 ns
CV	96,99	26,38	23,4	17,5	17,38	2,19	110,98	6,91	65,5	10,53

A= arcilla, a = arena, L = limo

Tabla 8

Promedios y significación para características del perfil de suelo

	Promedios y significación									
Parcelas	P	K	MO	Mg	Ca	Ph	CE	A	a	L
P1	4,17 A	42,5 A	1,55 A	337,5 B	2719,2 B	7,4 B	0,81 A	61,6 A	4,93 A	33,5 A
P2	0 B	40,83 A	1,39 A	479,17 A	4083,3 A	7,72 A	0,66 A	58,9 A	5,40 A	35,3 A

Infiltración:

La infiltración básica estimada fue $1,03 \text{ cm/hr} = 10,3 \text{ mm/hr}$, con la cual se determinó el riego en el cultivo (Anexo D).

Según una caracterización de los recursos agroecológicos de una finca cañamelera en el estado Portuguesa, ubicada cercana al sector estudiado, elaborado por Zerega *et al* (2000), encontraron para lotes de textura franco arcillosa, arcillo limosa y arcillosa, que la tasa de infiltración varió entre 6 y 64 mm/hr y valores de capacidad de campo de 32,4 % y punto de marchitez permanente de 15,6 %. Por lo que el valor calculado coincide con estos datos.

Con relación a la densidad aparente (Da) se puede observar en la Tabla 9, que para el estrato de 0-20 cm con textura AL presenta un valor adecuado según la Tabla 3, de rangos de Da y EPT para este tipo de textura. Sin embargo, para los estratos de 20-40 y 40-60, esta es superior al valor indicado en la Tabla 3, lo que revela que en estos estratos el suelo estaba compactado, con disminución del espacio poroso total.

Tabla 9
Densidad aparente (Da) y espacio poroso total (EPT) para cada estrato de suelo.

Profundidad (cm)	Da (gr/cm ³) PROMEDIO	EPT Promedio (%)
0-20	1,33	50
20-40	1,46	45,09
40-60	1,77	33,3

Los valores de Capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP), con base a lo señalado por Grassi (1976) (Tabla 2) y según el tipo de textura del suelo encontrado en la parcela experimental, el cual corresponde a textura predominantemente arcillosa (Tabla 6), se encuentran entre 31 y 39% para CC y entre 15 y 19% para PMP, obteniéndose un promedio de contenido de humedad igual a 35% para CC y 17% para PMP, Con este dato fue posible conocer la capacidad de almacenaje mediante la Ecuación 6 $Ce = (CC - PMP) / 100 * Da * Ps * 10$, resultando el promedio de esta para un estrato de 20 cm de profundidad igual a 47,88 mm.

Topografía:

La pendiente de ambas parcelas, calculada en base al levantamiento topográfico, es bastante plana y con pocas diferencias entre estas, por lo cual se puede considerar como homogénea en todo el lote (Tabla 10). De igual manera se determinó El caudal máximo permisible, calculado según Criddle *et al* citado por Villafañe (1998) resultando en un valor promedio de 2,27 l/s para surcos alternos y 3,15 en surcos continuos, con una longitud promedio de los surcos de 238 m, para todo el lote.

Tabla 10

Pendiente (S) y Caudal máximo permisible (Q), para los surcos estudiados para cada tratamiento.

Tratamientos (Perfil del surco)		Longitud de los surcos (m)	Pendiente (SIF) = (DV/DH) *100	Caudal máximo Por surco (Q = 0,63/S)
Riego por surcos alternos	Surco 44	238,496	0,273	2,31
	Surco 45	238,780	0,265	2,38
	Surco 46	239,277	0,298	2,11
Promedio		238,851	0,278	2,27
Riego por surcos continuos	Surco 74	236,662	0,190	3,32
	Surco 75	236,553	0,192	3,28
	Surco 76	236,958	0,222	2,84
Promedio		236,724	0,200	3,15

Requerimientos hídricos del cultivo de la caña para el municipio San Rafael de Onoto del Edo. Portuguesa.

Se determinó con el uso de Cropwat 8.0, la precipitación total anual, resultando un valor de 1532,3 mm y la precipitación efectiva anual de 1086 (mm), la ETc es de 1445,7 mm. Igualmente en el Anexo B, se señalan los valores promedios mensuales utilizados de temperatura mínima de 22,4 °C, temperatura máxima de 32,3 °C, Humedad de 75%, velocidad del viento de 106 km/día, insolación de 6 horas, que permitieron determinar la evapotranspiración de referencia (ETo) de 4,05 (mm/día) y la radiación anual de 17,8 en Mj/m²/día, en promedio para cada mes (Tabla 11). Se seleccionó en el programa la casilla para el cultivo caña de azúcar, estableciéndose de esta manera los valores de Kc del cultivo, resultando un valor de 0,4 para la etapa inicial (30 días), para la etapa de desarrollo (60 días) y la etapa media (170 a 180 días), así como valores de 1,25 y 0,75 para la etapa final y total (275 a 365 días).

Se utilizó una profundidad radicular 1,5 m con una fracción de agotamiento crítico igual a 0,65. Igualmente en la casilla para suelo, se seleccionó la opción de FAO para suelo pesado (arcilloso), tomando en cuenta la textura del suelo de la

parcela, el cual es en su mayoría arcilloso (Tabla 6), del mismo modo se ingresó al sistema los datos estimados de los contenidos de humedad del suelo disponible total (CC-PMP) de 239,4 mm/m, obteniéndose a partir del promedio de los valores de CC y PMP según Grassi 1976, resultando 47,88 mm en 20 cm de suelo, , la tasa de infiltración de la precipitación estimada en 144 mm/día, calculada con base a la infiltración básica, estimada en campo ($I_b = 1,03\text{cm/hr}$), el agotamiento inicial de la humedad del suelo, estimado en 50 % de agua disponible total (ADT), la profundidad radicular máxima de 150 cm y una eficiencia de riego en campo de 25%. Resultando un valor de humedad del suelo inicialmente disponible de 119,7 mm/m.

En la Tabla 11, donde se señala el requerimiento de agua diario del cultivo, se puede observar un requerimiento de riego anual de 398 mm; siendo el valor de este para la etapa inicial de 27 mm, para la etapa de desarrollo de 201,90 mm, para la etapa media de 132 mm y para la etapa final de 37,10 mm.

Sigala (1972) obtuvo en el Campo de la Estación Experimental Yaritagua que el consumo de agua por el cultivo fue de 7 mm/día, siendo éste valor superior al resultado obtenido en esta investigación al usar el sistema Cropwat, el cual fue de 4,05 mm/día, esto ocurrió debido a diferentes condiciones de clima. Igualmente Daza (1986), señala que el cultivo de la caña de azúcar presenta demandas que oscilan entre 1200 a 1500 mm por año. Estos valores coinciden con los resultados obtenidos que alcanzaron un valor de 1445,7 mm/año, para la ETC.

Tabla 11

Requerimiento de agua del cultivo

Etapa	Días/etapa	Kc(pro medio)	Etc (mm/día)	Prec. Efec(mm/día)	Req.Riego (mm/día)	Radiación Mj/m ² /día	ETo mm/día
Inicial	30	0,49	1,83	0,59	0,9		
Desarrollo	60	0,77	3,54	0,18	3,37		
Media	170	1,17	4,68	4,14	0,78		
Final	105	0,97	3,64	3,37	0,35		
TOTAL (Cido)	365		1445,7	1086,2	398	17,8	4,05

Programación de riego de cultivo.

En la Tabla 12, se señala la programación de riego reportada usando el sistema Cropwat 8, donde se toma en cuenta la fecha de aplicación. Se observa que se recomienda la aplicación de 02 riegos durante el ciclo del cultivo: el primero para el 28 de Enero a 36 días de la siembra, durante la etapa de desarrollo del cultivo, el segundo el 31 de Marzo a 98 días de la siembra, durante la etapa media del cultivo. Para esta programación se tomaron en cuenta los criterios, según FAO (1990), señalados en la Tabla 4, en la cual se señala el cálculo de ETo a través de la ecuación de Penman – Moteith, con un momento de riego a agotamiento crítico y una eficiencia de aplicación efectiva en campo de 25%.

Tabla 12

Programación del riego (Cropwat 8.0)

Fecha	Día	Etapa	Precipit.(mm)	Ks(fra cc.)	Eta (%)	Agot.(%)	Lám. Neta(mm)	Déficit(mm)	Pérdida(mm)	Lam.Br. (mm)	Caudal (l/s/ha)	Reducción del Rend(%)
28/01/2008	36	Des	0.0	1.00	100	65	234.1	0.0	0.0	334.5	1.08	0
31/03/2008	98	Med	0.0	1.00	100	65	233.7	0.0	0.0	333.8	0.62	0
23/12/2009	Fin	Din	0.0	1.00	0	5						

**Datos de suelo: (CC-PMP)=239,4 mm/m; Infiltración = 144 mm/día;
profundidad radicular= 150 cm; % de Agua disponible total (ADT) = 50**

Ejecución del riego.

Se determinó una programación definitiva del riego, ajustándola a la experiencia del productor en la aplicación de este en años anteriores, considerando además los turnos de riego programados para la parcela por la junta de regantes del sistema de riego. Por lo tanto la aplicación definitiva fue la siguiente (Tabla14): se ejecutaron tres riegos, el primer riego se aplicó para el 28 de Enero de 2008 a una edad de 36 días, utilizando una lámina bruta promedio de 104 mm y un caudal

promedio de 1,4 l/seg/ha para surcos alternos y para surcos continuos, una lámina bruta promedio de 229 mm y un caudal promedio de 1,2 l/seg/ha. El segundo riego para el 23 de febrero a una edad de 62 días y el tercero para el 09 de marzo a los 77 días durante la etapa de desarrollo del cultivo, aplicando la misma lámina bruta y el mismo caudal que se aplicó en el primer riego. Para un total de 312 mm/ciclo aplicados en riego por surcos alternos y 687 mm/ciclo aplicados para surcos continuos. Durante el desarrollo de esta actividad, se determinaron los caudales y láminas aplicadas por el productor. (Tabla 13).

Tabla 13 Caudales y láminas aplicadas (Aforo Parshall) para cada tratamiento
 $(Q=0,1393*ha^{1,5522})(y = 0,139x^{1,552})$

Tratamiento			Aforo (Aforador Parshall con W= 7,5 cm)) (ha)	q(l/seg)	q(m3/ hora)	tr(hora)	eficiencia	largo del surco(m)	ancho (m)	Lamina(la mina= qsurcox (tr x efic)/(largo x ancho))*1 000	m3/ha
SURCOS ALTERNOS	1	44									860,8
		45	4	1,20	4,31	19,00	0,75	238,00	3,00	86,08	
		46									
	2	44									1217,1
		45	5	1,69	6,10	19,00	0,75	238,00	3,00	121,71	
		46									
PROMEDIO				2,89						207,78	2077,8
PROMEDIO				1,45						103,89	1038,9
SURCOS CONTINUOS	3	74	4	1,20	4,31	25,00	0,75	238,00	1,50	226,52	2265,2
		75	3	0,77	2,76	25,00	0,75	238,00	1,50	144,94	1449,4
		76	4	1,20	4,31	25,00	0,75	238,00	1,50	226,52	2265,2
	4	74	5	1,69	6,10	25,00	0,75	238,00	1,50	320,28	3202,8
		75	4	1,20	4,31	25,00	0,75	238,00	1,50	226,52	2265,2
		76	4	1,20	4,31	25,00	0,75	238,00	1,50	226,52	2265,2
PROMEDIO				7,25	26,11					1371,29	13712,9
PROMEDIO				1,21						228,55	2285,5

$$Q = 0,1393 \times ha^{1,5522}$$

W = ancho de la garganta del aforador, ha = altura del agua

Gómez (1975) recomienda que en zonas con precipitación anual de 800 a 1200 mm el riego debe hacerse con una frecuencia de diez días; sin embargo esa frecuencia puede ser modificada de acuerdo con la variedad en explotación y la

presencia de algunos de los factores dependientes. Tineo y Viso (1963), informan láminas de riego aplicadas en los Valles de Aragua de 700 a 850 mm por ciclo con un promedio de 15 riegos (frecuencia de 10 días).

Tabla 14

Programación definitiva del riego (ejecutada en campo) para la parcela 2D-18 del sistema de riego Cojedes – Sarare:

	Fecha	Etap	Lamina (mm)	Caudal (l/seg/ha)
SURCOS	28-ene	Inicial	104	1,4
	23-feb	Desarrollo	104	1,4
	09-mar	Desarrollo	104	1,4
ALTERNOS			312	
SURCOS	28-ene	Desarrollo	229	1,2
	23-feb	Desarrollo	229	1,2
	09-mar	Desarrollo	229	1,2
CONTINUOS			687	

Se comparó la programación obtenida con el sistema Cropwat siguiendo las recomendaciones de la bibliografía, con la aplicada por el productor. Al analizar con el sistema el comportamiento del riego aplicado por el productor con las láminas medidas en campo (Tabla 15), se observa que con la forma de riego aplicada por este no existe reducción del rendimiento para ambos tratamientos. Con base a esto se puede sugerir que es recomendable seguir la programación calculada por el sistema (Tabla 12), para la cual no debe ocurrir reducción del rendimiento.

Tabla 15

Análisis de Cropwat para riego aplicado

	Fecha	Día	Etap	Precipit. mm	Ks fracc.	ETa %	Agot. %	Lám.Neta mm	Déficit mm	Pérdida mm	Lam.Br. mm	Caudal l/s/ha	Reducción del rendimiento(%)
SURCOS ALTERNOS	28-ene	36	Des	0.0	1.00	100	65	104	130.6	0.0	416.0	1.34	0
	23-feb	62	Des	1.3	1.00	100	57	104	100.0	0.0	416.0	1.85	0
	09-mar	76	Des	0.0	1.00	100	44	104	57.3	0.0	404.0	3.34	0
	23-dic	Fin	Fin	0.0	1.00	0	5						0
SURCOS CONTINUOS	28-ene	36	Des	0.0	1.00	100	65	220	34.6	0.0	800.0	2.57	0
	23-feb	62	Des	1.3	1.00	100	30	220	0.0	92.0	800.0	3.56	0
	09-mar	76	Des	0.0	1.00	100	16	220	0.0	141.7	800.0	6.61	0
	23-dic	Fin	Fin	0.0	1.00	0	5						0

4.2 Evaluación del contenido de humedad en el suelo para la variante de riego por surcos alternos y el riego por surcos continuos.

Los datos calculados de densidad aparente (D_a) (Tabla 9), permitieron determinar el contenido de humedad en base a volumen para cada estrato de suelo (a 0-20, 20-40 y 40-60 cm) partiendo del valor de humedad en base a peso obtenido en cada una de las muestras para los dos tratamientos.

Con respecto al contenido de humedad en el suelo, se puede observar que el % de humedad inicial promedio en la parcela destinada al tratamiento de riego por surcos alternos es de 16,91 % y para la parcela destinada al tratamiento de riego por surcos continuos es de 17,22%, valores muy próximos a la constante de humedad del punto de marchitez permanente (PMP) (Tabla 16), ya que se encuentran dentro del rango para el tipo de suelo arcilloso.

En la Tabla 16 y la Figura 6, se resumen los contenidos de humedad en porcentaje, en los diferentes estratos de suelo. Se observa que el promedio del contenido de humedad inicial es muy cercano para ambos tratamientos y se mantiene en ascenso luego del segundo riego, prevaleciendo con mayor valor para el

tratamiento de riego por surcos alternos. El contenido de humedad antes de aplicar cada riego (H_i) se mantiene cercano al PMP para surcos alternos, semejante a lo ocurrido con el riego por surcos continuos, con excepción del valor obtenido para el segundo riego en el que fue inferior. No obstante el contenido de humedad después de aplicar el riego (H_f), se mantiene dentro del rango de agua útil para cada tratamiento.

Tabla 16

Contenido de humedad y lámina incrementada promedio durante los riegos aplicados para cada estrato de suelo.

Tratamientos	Prof.(cm)	PRIMER RIEGO			SEGUNDO RIEGO			TERCER RIEGO		
		H_i (%)	H_f (%)	Li(mm)	H_i (%)	H_f (%)	Li(mm)	H_i (%)	H_f (%)	Li(mm)
SURCOS ALTERNOS	0-20	17,18	25,18	22,25	18,03	20,56	7,02	28,88	30,73	5,15
	20-40	16,87	19,88	8,25	17,73	26,24	23,32	25,44	29,32	10,62
	40-60	16,67	19,71	10,95	13,60	23,85	36,90	22,11	24,87	9,93
PROMEDIO		16,91	21,59	13,82	16,46	23,55	22,41	25,48	28,31	8,57
DESVST		0,25	3,11	7,43	2,48	2,85	14,96	3,38	3,06	2,98
SURCOS CONTINUOS	0-20	20,27	21,90	4,53	13,22	22,79	26,60	32,29	34,78	6,93
	20-40	16,61	21,83	14,30	14,62	21,74	19,49	25,19	25,96	2,13
	40-60	14,78	23,83	32,57	10,22	18,23	28,86	21,18	22,38	4,32
PROMEDIO		17,22	22,52	17,13	12,69	20,92	24,98	26,22	27,71	4,46
DESVST		2,80	1,13	14,23	2,25	2,39	4,89	5,62	6,38	2,40

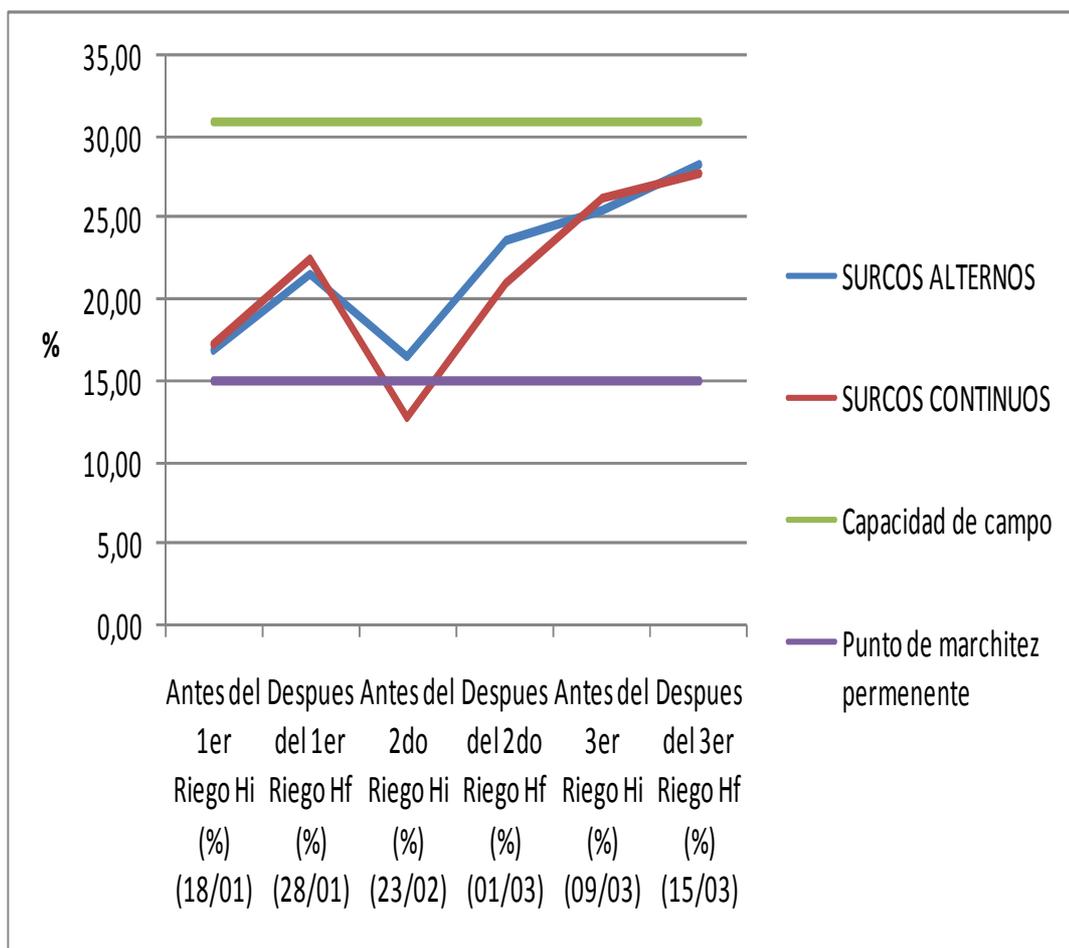


Figura 6. Contenido de humedad (%) promedio durante la aplicación de los tratamientos de riego por surcos alternos y continuos.

Con respecto a la lámina incrementada (Li), esta es mayor en el tratamiento de riego por surcos continuos, durante el primer y segundo riego, sin embargo para el tercer riego tiende a nivelarse para ambos tratamientos (Figura 7), esto es debido a que cuando se riega por surcos continuos se incrementa la saturación del suelo en el perfil, disminuyendo la cantidad de agua infiltrada y favoreciendo las pérdidas por escorrentía, este efecto es menor para surcos alternos, ya que el agua se distribuye para tres surcos, es decir desde el surco regado hacia los surcos laterales sin riego, de manera vertical y horizontalmente, reduciéndose así la excesiva saturación del suelo.

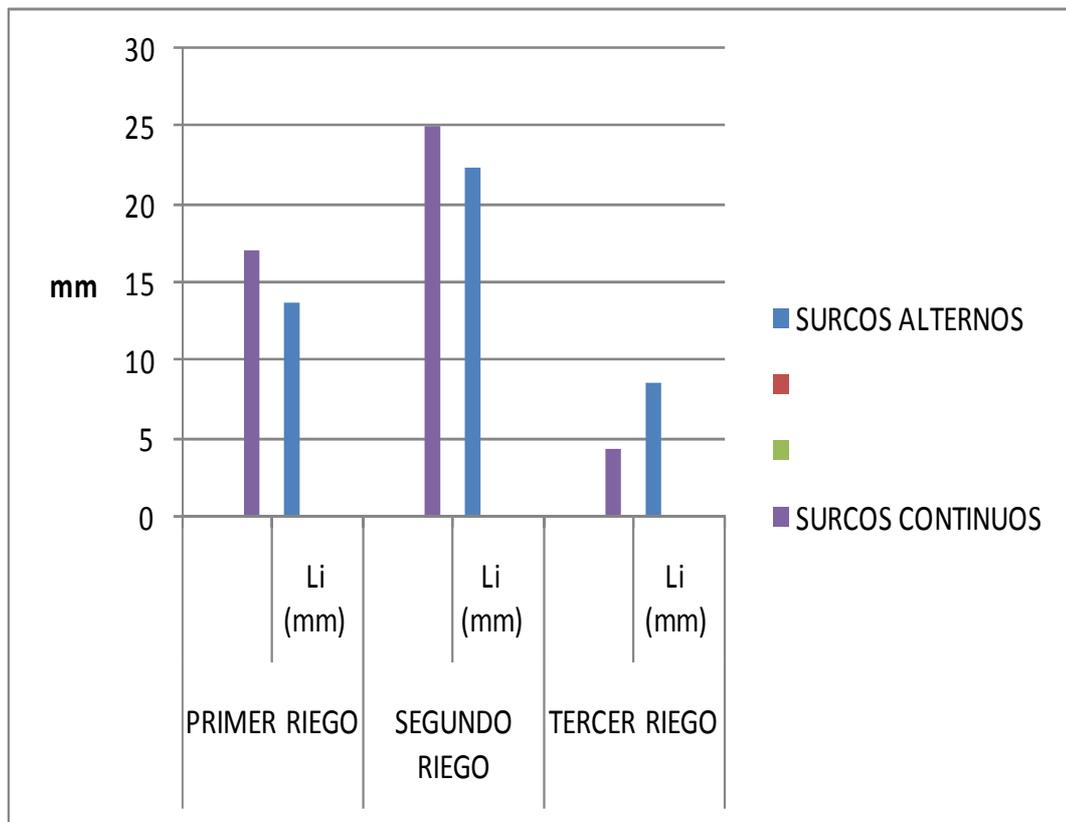


Figura 7. Lámina incrementada en el perfil del suelo durante cada riego para los tratamientos de riego por surcos alternos y continuos.

Al analizar los datos del contenido de humedad en el suelo, se utilizó un arreglo factorial (2x3x3) como modelo completamente aleatorizado con medición como submuestra (Tabla 7), resultando que para los tratamientos de riego aplicados no existen diferencias significativas en el contenido de humedad antes de aplicar el riego, esto puede ocurrir debido a que en el momento de la medición se había nivelado el contenido de humedad.

Tabla 17

Análisis de la varianza para contenido de humedad en el suelo.

Fuente de variación	Valor de F y significación	
	Contenido de humedad antes del riego (%)	Contenido de humedad después del riego (%)
1 Tratamiento	1,72 ns	0,79 *
2 Numero de Riegos	120,11 **	24,02 ns
3 Profundidad	23,42 **	7,68 **
Interacción (1x2)	5,33 **	1,47 ns
Interacción (1x3)	1,51 ns	1,33 ns
Interacción (2x3)	4,3 **	5,02 **
CV %	17,32	16,69

Sin embargo después de aplicado el riego si existen diferencias significativas para los tratamientos, favoreciéndose la aplicación de riego por surcos alternos (Tabla 8).

Tabla 18

Comparación de medias del contenido de humedad en el suelo en relación con los tratamientos aplicados.

Tratamientos	Promedio y significación	
	Contenido de humedad antes del riego (%)	Contenido de humedad después del riego (%)
1(Riego por surcos alternos)	19,07 A	24,05 A
2(Riego por surcos continuos)	18,25 A	23,33 A

Entre el número de riegos aplicados durante el ciclo del cultivo, no se observan diferencias en el contenido de humedad en el suelo después de la aplicación,

debido a que esta tiende a nivelarse en el perfil, sin embargo existen diferencias altamente significativas antes de la aplicación, favoreciéndose el tercer o último riego (Tabla 9). Esto es debido a que el contenido de humedad se incrementa desde el primer al último riego, por el efecto acumulativo en el tiempo del contenido de agua en el suelo.

Tabla 19

Comparación de medias del contenido de humedad en el suelo en relación con el número de riegos aplicados.

Riego	Promedio y significación	
	Contenido de humedad antes del riego (%)	Contenido de humedad después del riego (%)
1er riego	16,55 B	21,67 A
2do riego	14,11 C	21,750 A
3er riego	25,33 A	27,667 A

Con respecto a la profundidad del estrato existen variaciones ($P < 0,01$) en el contenido de humedad antes de aplicar el riego, favoreciéndose el estrato de 0-20 cm y luego el de 0-40 cm y es menor en el estrato de 0-60 cm, esto es posible ya que ocurre movilización del agua desde el estrato superior al inferior del suelo. Posterior a la aplicación del riego, se observan cambios importantes ($P < 0,01$) en el contenido de humedad del suelo beneficiándose los estratos de 0-20 y 0-40 cm, donde se concentra el mayor contenido de humedad (Tabla 20).

Tabla 20

Comparación de medias del contenido de humedad en el suelo en relación con la profundidad de cada estrato de suelo estudiado.

Profundidad del estrato (cm)	Promedio y significación	
	Contenido de humedad antes del riego (%)	Contenido de humedad después del riego (%)
0-20	21,14 A	25,61 A
20-40	18,92 B	23,75 AB
40-60	15,94 C	21,72 B

Sin embargo al analizar la interacción de tratamiento con riego (Tabla 21), se observan comportamientos distintos ($P < 0,01$) en el contenido de humedad antes de aplicar el riego favoreciéndose el tercer riego y el tratamiento de riego por surcos continuos, en el cual prevalece un mayor contenido de humedad en el suelo (Figura 8). Los tratamientos con riego no mostraron variaciones en el contenido de humedad después de aplicar el riego (Figura 9), no obstante esta humedad es distribuida en el tiempo desde el surco con riego hacia los surcos laterales sin riego, favoreciendo particularmente al tratamiento de riego por surcos alternos.

Tabla 21

Comparación de medias para la interacción tratamiento con número de riegos.

		Valor de F y significación	
Tratamiento	Riego	Contenido de humedad antes del riego (%)	Contenido de humedad después del riego (%)
1 Riego por surcos alternos	1er	16,39 B	21,22 B
	2do	15,94 B	23,00 B
	3er	24,89 A	27,94 A
2 Riego por surcos continuos	1er	16,72 B	22,11 B
	2do	12,27 C	20,50 B
	3er	25,78 A	23,39 A

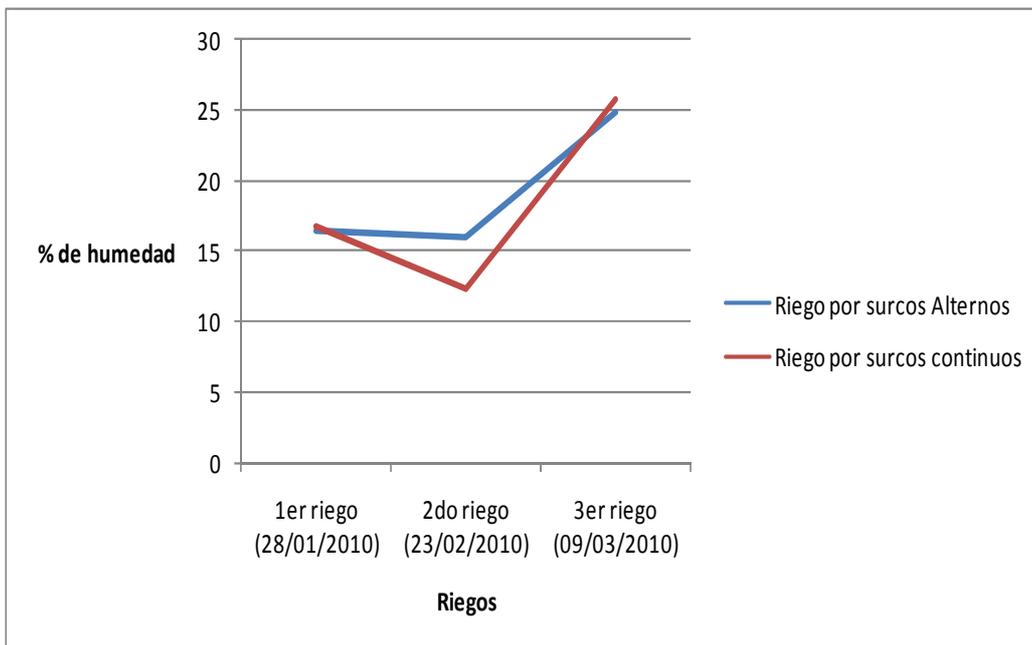


Figura 8. Comparación de medias de contenido de humedad antes de aplicar el riego, para interacción de método con riego.

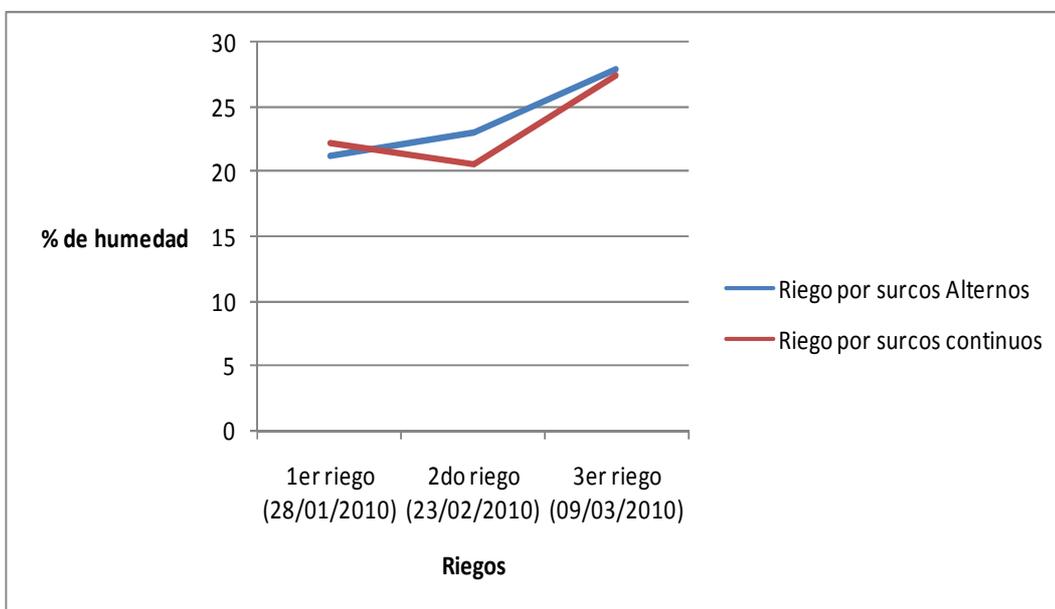


Figura 9. Comparación de medias de contenido de humedad después de aplicar el riego, para interacción de método con riego.

Al analizar la interacción riego con profundidad (Tabla 22), se observaron diferencias altamente significativas en el contenido de humedad antes de aplicar el riego favoreciéndose el tercer riego con la profundidad de 0-20 cm y luego la de 0-40 cm y 0-60 cm, esto es posible por el efecto acumulativo en el tiempo de la lámina de riego y el movimiento del agua desde el estrato superior del suelo al inferior. Igualmente se observaron diferencias altamente significativas en el contenido de humedad en el suelo después de aplicar el riego, favoreciéndose el estrato de 0-20 cm, sin embargo se observó menor variación entre los grupos homogéneos, debido a que la humedad tiende a estabilizarse en todos los estratos del suelo.

Tabla 22

Comparación de medias del contenido de humedad en el suelo para la interacción número de riegos con profundidad del estrato de suelo.

		Valor de F y significación	
Riego	Profundidad (cm)	Contenido de humedad antes del riego (%)	Contenido de humedad después del riego (%)
1er riego	20	18,16 CD	23,17 BC
	40	16,25 D	20,42 C
	60	15,25 DE	21,42 C
2do riego	20	15,17 DE	21,17 C
	40	15,75 D	23,500 BC
	60	11,42 E	20,58 C
3er riego	20	30,08 A	32,500 A
	40	24,75 B	27,33 AB
	60	21,17 BC	23,17 BC

Respecto a esto Albarran (2001), en un trabajo realizado para evaluar la respuesta del cultivo de la caña de azúcar a diferentes profundidades del nivel freático, obtuvo resultados donde señala que a profundidades entre 18 y 84 cm, se restringe el crecimiento, consiguiendo una pérdida de 33 t/ha, debido al exceso de

humedad que afecta la absorción de oxígeno por las plantas y limita su desarrollo. Esto coincide con los resultados obtenidos cuando se aplicó el tratamiento de riego por surcos continuos, donde se observó un menor desarrollo del cultivo, debido a que con este tratamiento el contenido de humedad del suelo alcanzó niveles mayores que cuando se aplicó el riego por surcos alternos, principalmente en el estrato superficial de 0-20cm. Por otra parte Rodríguez, *et al* (2007), en un estudio sobre el efecto del estrés por sobrehumedecimiento del suelo en el cultivo caña de azúcar, encontró que el exceso de humedad en el suelo, redujo significativamente la dinámica del índice de área foliar (IAF) del cultivo, con diferencias variables influenciadas por la humedad del suelo y la evapotranspiración.

Al Analizar los perfiles de humedad (Figura 10), en cada punto de muestreo del suelo, se puede observar el contenido de humedad relacionada con una escala de color azul que va desde 0 hasta 100 de acuerdo al incremento de la intensidad del color, representándose valores altos para la mayor intensidad. De esta manera, se observa que para el primer riego en la parcela donde se aplicó el riego por surcos alternos, la humedad se traslada desde el surco regado, es decir desde una distancia desde 150cm hasta 300 cm (surco 45), a los surcos laterales sin aplicación de riego desde 0 cm hasta 150 cm (surco 44) y desde 300 cm hasta 450 cm (surco 46), acentuándose esta actividad después del segundo y tercer riego. Con respecto al contenido de humedad en surcos sin riego y comparado con surcos bajo riego, esta tiende a equilibrarse en ambas situaciones, luego de aplicar el segundo y tercer riego, por un efecto acumulativo en el tiempo transcurrido desde el primer riego hasta el último. En el perfil de humedad de la parcela donde se aplicó el riego en surcos continuos se observa, uniformidad y alta concentración de humedad desde el comienzo hasta el final del riego, como resultado de la distribución simultánea del agua en todos los surcos desde el estrato superficial hacia los profundos, ocurriendo un escaso traslado vertical originado por la alta concentración de humedad en los surcos laterales.

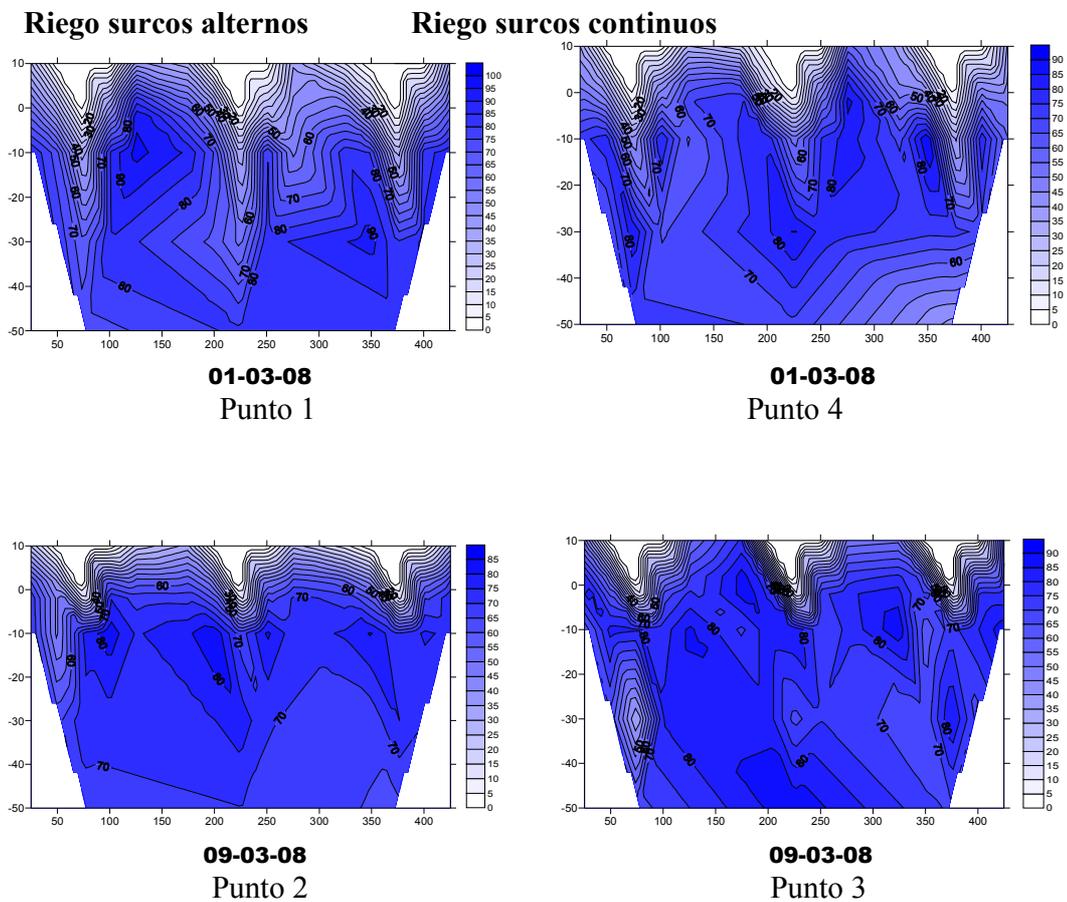


Figura 10. Perfiles de humedad después del tercer riego.

De igual manera, Torres y Villegas (1996), desarrollaron investigaciones sobre la viabilidad de usar el riego por surcos alternos en caña de azúcar, en suelos de los órdenes Mollisol, Inceptisol y Vertisol, durante el primer riego no se observaron diferencias en la cantidad de agua aplicada por surco continuo y surcos alternos debido a que durante la preparación, el suelo es disturbado considerablemente, sin embargo encontraron a partir del segundo y tercer riego respectivamente ahorros de 10% y 46.5% del agua aplicada en relación al riego por surco continuo. Con base a esto se puede señalar que con el método de riego por surcos alternos se previene la acumulación excesiva de humedad en el perfil del suelo que pudiera afectar el crecimiento del cultivo de caña de azúcar.

Según Vargas *et al* (2008), las mediciones del contenido de humedad realizadas con la sonda TDR-300, en el mismo suelo donde se desarrolló el presente trabajo, reflejan un coeficiente de correlación positivo y apreciable para cada uno de los estratos, cuando estos valores fueron relacionados con su correspondiente valor gravimétrico, según lo descrito por Negrín (1982), resultando para el estrato E1 (0-20cm) un valor del coeficiente de 0,72244144 y un valor positivo y mediano para los otros estratos, para E2 (20-40 cm) de 0,42600904 y E3 (40-60cm) de 0,45529065 respectivamente. Además se construyeron curvas de calibración, como se muestra en la Figura 11, Figura 12 y Figura 13, presentando las siguientes expresiones de calibración para cada uno de los estratos estudiados: para E1, $y = -2 \times 10^{-6} X^2 + 0,0191X - 20,507$; para E2, $y = 1 \times 10^{-6} X^2 - 0,0011X + 12,245$ y para E3, $y = -1 \times 10^{-5} X^2 + 0,0725X - 118$.

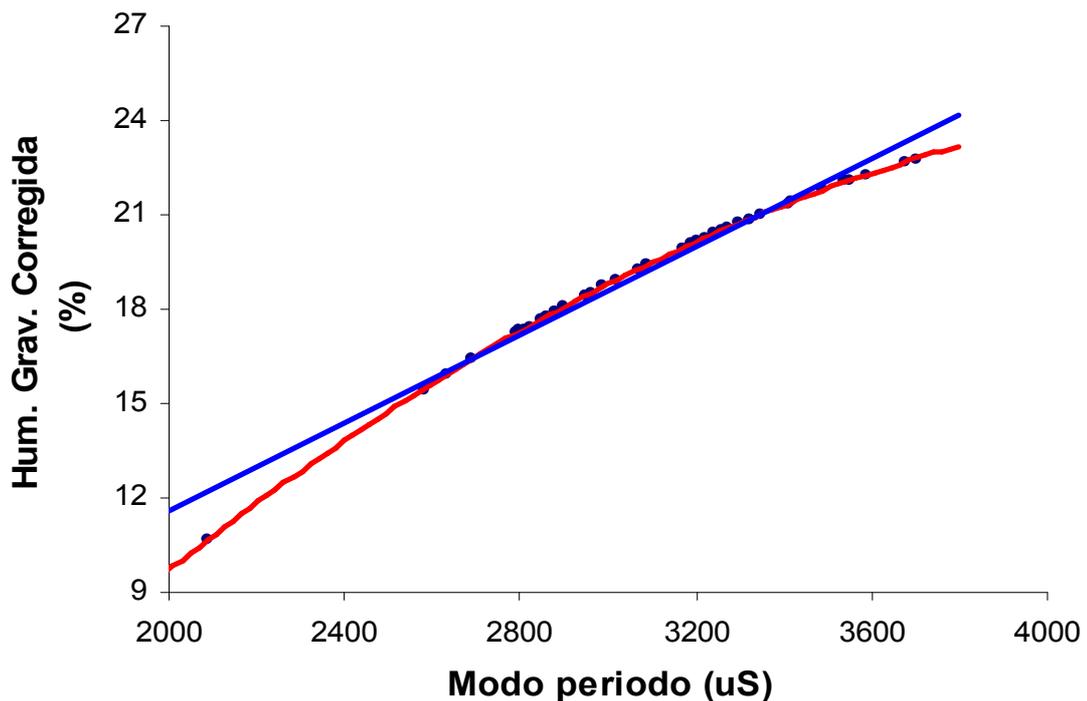


Figura 11. Curva de calibración para el estrato de 0-20 cm (E1)

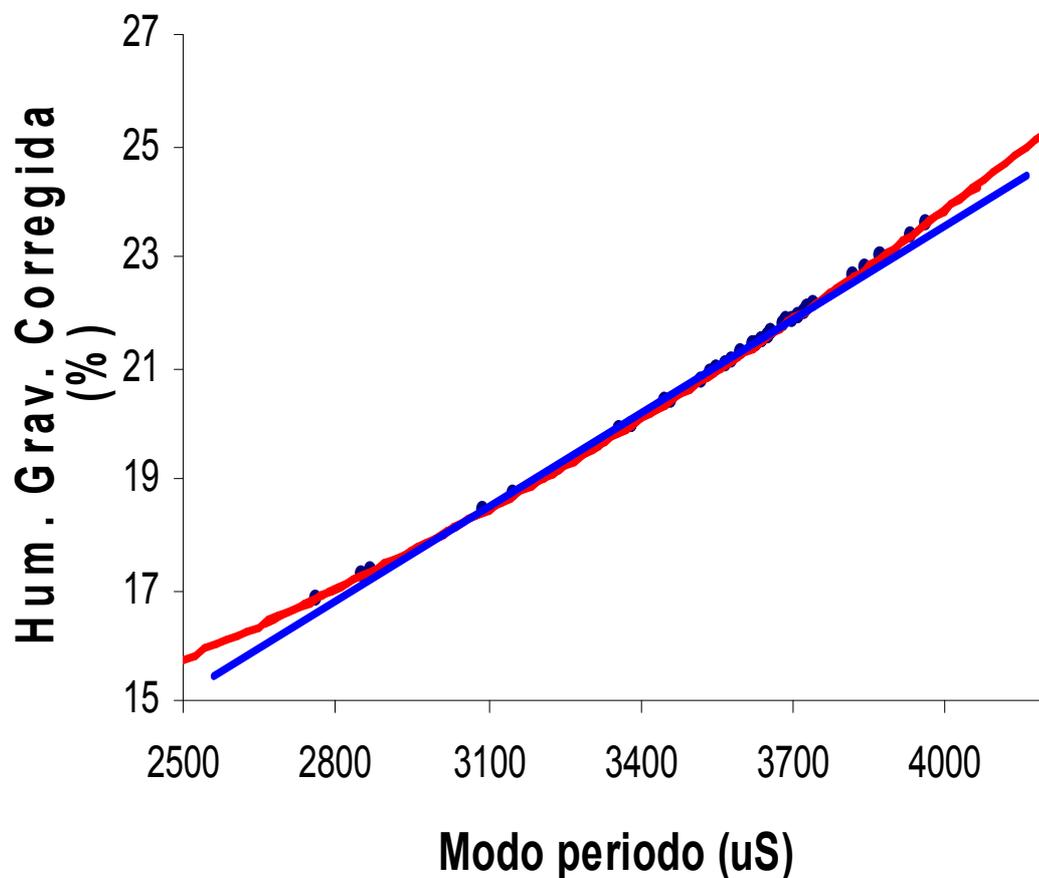


Figura 12. Curva de calibración para el estrato de 20-40 cm (E2)

Se puede observar en las Figuras 11 y 12 una adecuada correlación en la tendencia de la línea de calibración polinómica con respecto a la línea de comparación lineal. Por otra parte, en la Figura 13, se aprecian serias discrepancias en esta tendencia para E₃. Esta situación puede ser originada, por el alto contenido de arcillas presentes en E₃ y por su alta capacidad de retención de humedad, lo que reduce significativamente la precisión de la sonda TDR-300.

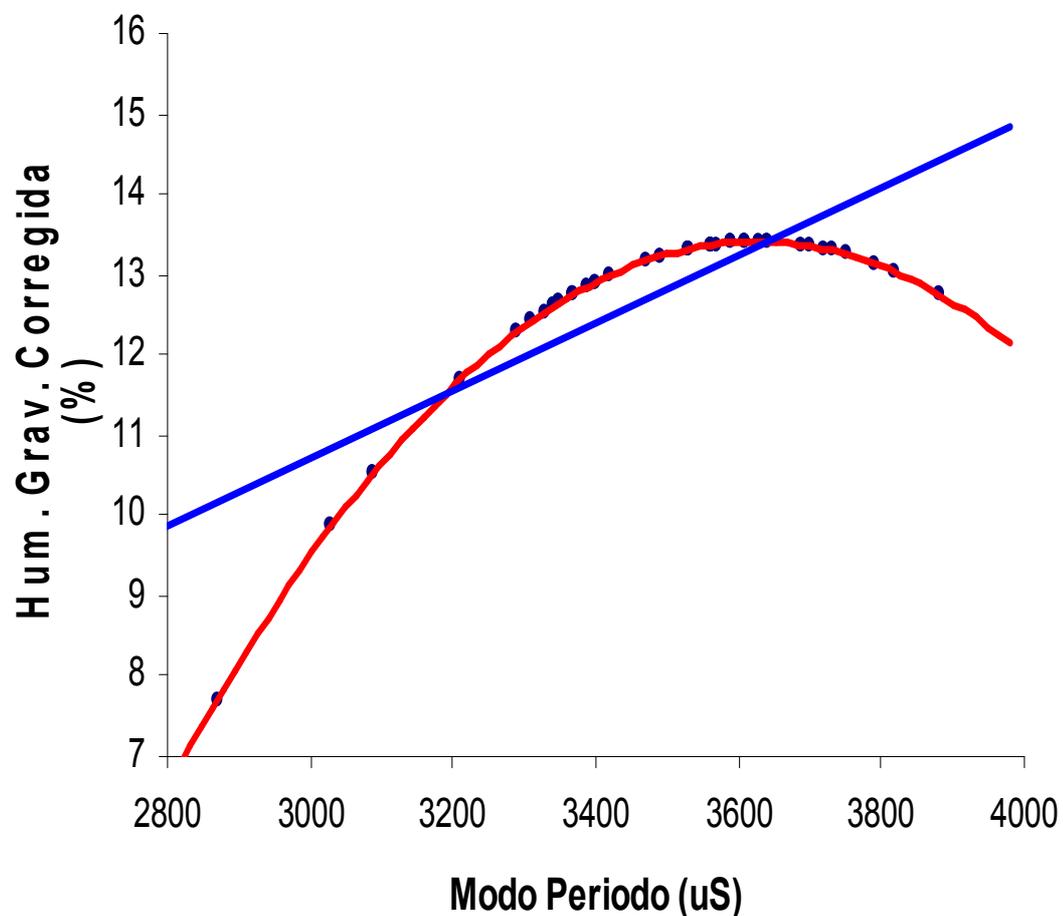


Figura 13. Curva de calibración para el estrato de 40-60 cm (E3)

Adicionalmente se determinó un rango óptimo de contenido de humedad en el suelo entre 2764 y 4800 uS, en el modo periodo, el primer valor corresponde al contenido de humedad a PMP, y estos representan aproximadamente entre 17% y 25,09% de humedad gravimétrica respectivamente, según la ecuación de función de calibración cuadrática obtenida por Vargas *et al* (2008), para el estrato de 0-20 cm. Estos valores se encuentran en el rango entre PMP (17%) y el 50% de agotamiento del agua útil ($AU = 18 \times 50 \%$) para el cultivo, valor mínimo al cual se debe aplicar riego.

Se realizó un análisis de la varianza para los valores obtenidos con el TDR, para el segundo riego, observándose que no existen diferencias significativas respecto a los

métodos antes y después de aplicar el riego (Tabla 23) sin embargo, respecto a la profundidad, se observaron variaciones ($P < 0,01$) para todos los valores medidos antes y después del riego, en las pruebas de comparación de medias, se favorecen las profundidades de 40 y 60 cm y con menor variabilidad la profundidad de 20 cm (Tabla 24).

Tabla 23

Análisis de la varianza para valores de humedad medidos con sonda TDR respecto a los tratamientos utilizados antes y después del segundo riego.

Valor de F y significación						
Fuente de variación	Mbdo estándar antes de aplicar el	Mbdo estándar después de aplicar el riego	Mbdo Hi Cly antes de aplicar el riego	Mbdo Hi Cly después de	Mbdo Periodo antes de aplicar el	Mbdo Periodo después
Tratamiento	0 ns	0,29 ns	0 ns	0,5 ns	0,07 ns	0,08 ns
Profundidad	14,58 **	21,15 **	14,84 **	20,02 **	14,86 **	11,77 **
Interacción Tratamiento x prof.	5,32 **	10,09 **	5,43 **	9,70 **	5,78 **	4,54 **
CV%	21	21,87	20,27	21,93	9,17	10,53

Tabla 24

Comparación de medias para valores de humedad medida con sonda TDR para cada profundidad del suelo.

		Mdb estándar antes de aplicar el riego	Mdb estándar después de aplicar el riego	Mdb Hi Cly antes de aplicar el riego	Mdb Hi Cly después de aplicar el riego	Mdb Periodo antes de aplicar el riego	Mdb Periodo después de aplicar el riego
Profundidad (cm)	20	46083 B	42333 B	32583 B	30000 B	28850 B	28817 B
	40	71583 A	78917 A	49917 A	54750 A	34850 A	34558 A
	60	67000 A	70833 A	47083 A	50500 A	33858 A	34450 A

No obstante, al analizar la interacción de tratamiento con profundidad se muestran comportamientos muy importantes ($P < 0,01$) en los valores de contenidos de humedad, en todos los modos de medición con la sonda (Tabla 23), en la prueba de comparación de medias, fue favorable el tratamiento de riego por surcos continuos y el estrato de suelo con profundidad de 0-40 cm, para los modos Estándar y Hi Cly. Este resultado se debe a que el modo estándar se utiliza para suelos mineralizados y el modo Hi Cly, determina el contenido volumétrico de humedad para suelos con las características encontradas en la parcela donde se desarrolló esta investigación, los cuales presentan altos contenidos de arcilla, que se pueden expandir con la presencia de altos volúmenes de agua y aumentar el contenido de humedad en los estratos donde existe mayor presencia de arcilla, proceso este detectado a las profundidades de 20-40 y 40-60 cm cuando se aplicó el riego por surcos continuos donde ocurrió una alta saturación del suelo, resultando favorecida esta condición frente a la de riego por surcos alternos en el que el agua fue distribuida vertical y horizontalmente en el perfil, con menos saturación de agua.

Para el modo Periodo, el mejor comportamiento se aprecia en el tratamiento de riego por surcos continuos en el estrato de suelo de 20-40 cm, antes de aplicar el riego, esto es debido a que ocurre desplazamiento del agua desde el estrato superior hacia los inferiores por el efecto acumulativo en el tiempo desde el riego anterior, además influye el alto contenido de arcillas a esta profundidad del suelo. Después de aplicar el riego, se obtuvieron valores superiores en los estratos de 20-40 y 40-60 cm y no se observaron diferencias importantes entre los tratamientos (Tabla 25). Por lo que se puede señalar que el uso riego por surcos alternos es aceptable. Esto ocurre porque el modo Periodo, refleja la constante dieléctrica (K_a), cuyo comportamiento depende del contenido de humedad del suelo el cual presenta mayor conductancia en los estratos donde exista mayor concentración de humedad. En este sentido, García y Gispert (1999) concluyen que la mayor o menor presencia de agua en el suelo puede ser detectada mediante prospecciones eléctricas, de tal manera que a menor tamaño de la partícula (arcilla) hay más contenido hídrico, menor resistividad y más conductancia, coincidiendo con el comportamiento de los resultados obtenidos, donde se obtuvo mayor valor de las mediciones con la sonda TDR después de aplicar el riego, en los estratos con mayor contenido de arcilla, es decir en el de 20-40 cm y 40-60 cm de profundidad.

Es importante señalar que los valores obtenidos con la sonda TDR se encuentran dentro del rango de medición aceptable para estimación en los estratos de 0-20 y 40-60cm con el modo Periodo, obtenido por Vargas *et al* (2008).

Tabla 25

Comparación de medias para valores de humedad medida con sonda TDR para la interacción tratamiento x profundidad del suelo.

Prof (cm)	Tratamientos	Mdb estándar antes de aplicar el riego	Mdb estándar después de aplicar el riego	Mdb H Cyantes de aplicar el riego	Mdb H Cy después de aplicar el riego	Mdb Pericb antes de aplicar el riego	Mdb Pericb después de aplicar el riego
20	1	46,33 B	46,50 BC	33000 B	32833 BC	2966,7 BC	2965 AB
	2	45,83 B	38,16 C	32166 B	27167 C	2803,3 C	2798,3 B
40	1	70,83 A	70,83 AB	49333 A	49333 AB	3458,3 AB	3456,7 A
	2	72,33 A	81,00 A	50500 A	60167 A	3511,7 A	3455,0 A
60	1	67,00 AB	69,00 AB	47167 A	47833 AB	3381,7 AB	3421,7 A
	2	67,00 AB	72,67 A	47000 AB	53166 A	3390,0 AB	3468,3 A

4.3 Eficiencia de las variantes de riego por surcos alternos y el riego por surcos continuos.

Al realizar el análisis de la varianza se observaron diferencias altamente significativas en la eficiencia de aplicación (Ea) para los métodos aplicados y para las eficiencias de almacenamiento (Eal), de distribución (Ed) y agronómica (Ef), no se apreciaron respuestas diferentes (Tabla 26). En la prueba de comparación de medias se favorece el tratamiento de riego por surcos alternos para la eficiencia de aplicación (Ea), a causa de que esta depende de la relación entre la carga aplicada durante el riego y la carga que no queda retenida en la zona radical, siendo esta última inferior en este tratamiento, pues el agua es almacenada en el perfil en forma vertical y horizontal, hacia los surcos sin riego. Sin embargo no existe variación para Eal, Ed y Ef (Tabla 27).

Tabla 26

Análisis de la varianza para valores de eficiencia en riego por surcos alternos y continuos.

Fuente de variación	Valor de F y significación			
	Ea	Eal	Ed	Ef
1 Tratamiento	9,15 **	0,03 ns	0,00 ns	1,84 ns
2 Número de Riegos	8,37 **	4,46 **	1,67 ns	5,63 **
3 Profundidad	5,81 **	2,89 ns	4,37 *	0,16 ns
Interacción (1x2)	2,47ns	2,29ns	3,09ns	3,26*
Interacción (1x3)	2,01 ns	1,41 ns	0,06 ns	0,47 ns
Interacción (2x3)	3,86**	1,80 ns	3,33 *	2,66*
CV %	17,31	21,32	0,69	37,49

Arsen=17,61

Transformación Arc.seno \sqrt{x}

* = diferencias significativas, ** = diferencias altamente significativas, ns = no significativo.

Tabla 27

Comparación de medias para valores de eficiencia en riego por surcos alternos y continuos. (Tukey).

Tratamiento	Medias			
	Ea	Eal	Ed	Ef
1 Riego por surcos alternos	66,77 A	65,42 A	98,77 A	44,87 A
2 Riego por surcos continuos	60,37 B	65,89 A	98,77 A	40,68 A

Al analizar los indicadores de eficiencia en relación con la profundidad de cada estrato de suelo, no mostraron respuestas diferentes en la eficiencia de almacenamiento (Eal) y agronómica (Ef) (Tabla 28), sin embargo en la eficiencia de aplicación (Ea) y de distribución (Ed), existen diferencias altamente reveladoras y el estrato de 40-60 cm de profundidad se destacó favorablemente ($P < 0,05$). Esto ocurre

debido a que en este estrato existe mayor percolación profunda y lateral lo que favorece a la Ea.

Tabla 28

Comparación de medias para valores de eficiencia en riego por surcos alternos y continuos en relación con la profundidad de cada estrato de suelo. (Tukey)

Profundidad (cm)	Medias			
	Ea	Eal	Ed	Ef
0-20	45,79 B	54,16A	99,84A	25,34A
20-40	48,79 AB	52,68A	99,99A	26,20A
40-60	55,30A	49,77A	100,0A	27,86A

La relación entre los indicadores de eficiencia con el número de riegos aplicados mostró variaciones importantes para la eficiencia de aplicación (Ea), de almacenamiento (Eal) y agronómica (Ef), favoreciéndose el tercer riego que fue superior al resto ($P < 0,05$). Esto ocurrió debido a que existe una acumulación de agua en el perfil la cual se incrementa con el tiempo. La eficiencia de distribución (Ed) no mostro variaciones (Tabla 29).

Tabla 29

Comparación de medias para valores de eficiencia en riego por surcos alternos y continuos en relación con el número de riegos aplicados.

Número de Riego	Medias			
	Ea	Eal	Ed	Ef
1er riego	48,60A	50,43 B	100A	24.92A
2do riego	49,98A	50,73AB	100A	25.58A
3er riego	52,21A	55,44A	100A	28.90A

Con respecto a la interacción entre los tratamientos y el número de riegos aplicados, no se observaron respuestas diferentes en el análisis de la varianza para E_a , E_{al} y E_d , no obstante se observaron discrepancias significativas para la eficiencia agronómica (E_f).

Al realizar la prueba de comparación de medias se observa que para la E_a , existe una tendencia favorable hacia el tratamiento de riego por surcos alternos para el segundo y tercer riego, con un valor obtenido de 62,72% y 71,94%, respectivamente, en comparación con el valor de 54,33% y 67,44%, obtenidos para el tratamiento de riego por surcos continuos, para E_{al} se favorece el tratamiento de riego por surcos continuos en el tercer riego, en la E_d no existen contrastes y la eficiencia agronómica (E_f) resulta sin diferencias entre los tratamientos en la aplicación del primer riego, en el segundo riego se favorece el riego por surcos alternos con un valor de 47,50 % de E_f en comparación con 32,22% obtenido con el riego por surcos continuos y en el tercer riego no existen desigualdades entre los tratamientos (Tabla 30). Por lo que se puede sugerir el riego por surcos alternos como una buena alternativa para mejorar el riego por surcos en el cultivo caña de azúcar.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Meneses (1998) quien en evaluaciones del riego por surcos en el cultivo caña de azúcar obtuvo resultados en un suelo vertisol, para espaciamientos de 3,20 m (surcos alternos), con gastos de 2 l/ha, valores de eficiencia de aplicación (E_a) de 87%, en comparación con espaciamiento de 1,20 (surcos continuos) donde obtuvo 61% de E_a , en la eficiencia de almacenamiento (E_{al}) logró valores entre 95 y 97% y de distribución entre 69 y 80 %, con pocas divergencias para estas dos últimas entre los tratamientos aplicados. Igualmente Meneses (1998) en una investigación sobre el riego por surcos alternos en el cultivo de caña de azúcar en dos tipos de suelo obtuvo resultados donde este método permitió aumentar la eficiencia de aplicación entre 34 y 37% en comparación con el riego por surcos continuos.

Tabla 30

Comparación de medias para valores de eficiencia en riego por surcos alternos y continuos en relación con la interacción entre tratamientos y número de riegos aplicados.

Tratamientos	Número de Riego	Medias			
		Ea	Eal	Ed	Ef
1 Riego por surcos alternos	1er riego	61,17 BC	61,17 AB	98,94 A	38,17 AB
	2do riego	67,22 AB	66,83 AB	98,61 A	47,50 AB
	3er riego	71,94 A	68,27 AB	98,77 A	48,94 A
2 Riego por surcos continuos	1er riego	59,33 BC	63,88 AB	98,33 A	38,66 AB
	2do riego	54,33 C	59,38 B	99,05 A	32,22 B
	3er riego	67,44 AB	74,39 A	98,44 A	51,17 A

La interacción entre el número de riegos aplicados y la profundidad de los estratos, no mostró respuestas desiguales para la eficiencia de almacenamiento (Eal), debido a que esta depende de la lámina a capacidad de campo, y en cada riego se aplicó la misma lámina, no obstante para la eficiencia de aplicación, (Ea) se observaron variaciones importantes ($P < 0,01$) y significativas ($P < 0,05$), para Ed y Ef. Sin embargo al comparar las medias (Tabla 31), se observa que al aplicar el tercer riego se obtuvo mejor respuesta en las eficiencias Ea, Eal y Ef, para el estrato con profundidad de 0-20 cm. La Ed, se favorece a la profundidad de 40-60 cm al aplicar el primer riego, en el segundo riego la de 0-20 cm y en el tercer riego en el estrato de 40-60 cm de profundidad.

Tabla 31

Comparación de medias de las eficiencias de riego para la interacción de número de riegos con la profundidad del estrato de suelo.

Número de Riego	Profundidad (cm)	Medias			
		Ea	Eal	Ed	Ef
1er riego	20	56,92 BCD	66,75 AB	98,67 AB	39,08 AB
	40	54,75 CD	59,08 B	99 A	33,08 B
	60	69,08 AB	61,75 AB	99 A	43,08 AB
2do riego	20	51,92 D	61,50 B	99 A	33,50 B
	40	62,75 ABC	68,08 AB	98,5 AB	44,50 B
	60	62,67 ABC	59,75 B	99 A	41,58 AB
3er riego	20	73,73 A	79,83 A	98 B	58,75 A
	40	66,50 BC	71,25 AB	98,75 AB	47,42 AB
	60	69,25 AB	92,92 AB	99,08 A	44,00 AB

4.4 Productividad del riego para cada variante estudiada:

4.4.1 Gasto de agua (m³/ha):

Con base al cálculo realizado en el aforo (Tabla 13), se resume que el gasto promedio por tratamiento aplicado es de 2285,5 m³/ha, para el tratamiento de riego por surcos continuos, mientras que para el de surcos alternos fue de 1038,9 m³/ha, equivalente a 45,5% del volumen utilizado en riego por surcos continuos. Esto se debe a que el volumen aplicado en surcos alternos se distribuye en tres surcos, en cada riego, mientras que en surcos continuos el volumen de agua se deriva a cada surco. Por tanto el ahorro de agua es de aproximadamente un 55%.

Los resultados obtenidos en este ensayo coinciden con los de Cabrera, *et al* (1990), quienes reportaron menor gasto de agua entre 284 y 291 m³/ha equivalente a un ahorro de 34% y 48%, respectivamente, en condiciones experimentales similares realizadas en Guantánamo. De igual manera Torres, *et al* (1996), reafirman la potencialidad de adoptar el riego comercial de la caña mediante el sistema de riego por surcos alternos, sobre la base de los resultados obtenidos en suelos sin limitaciones físicas donde el surco alterno

permitió ahorrar entre 43% y 50% del agua usada en surco continuo sin sacrificar la producción de caña y azúcar. Con base a estas experiencias y a los resultados obtenidos en el presente estudio se puede señalar que con la aplicación de riego por surcos alternos se logra mayor productividad en el uso del agua debido al ahorro considerable de este recurso.

4.4.2 Desarrollo del cultivo:

Una vez realizadas las mediciones biométricas, se obtuvieron los siguientes resultados:

4.4.2.1 Desarrollo Radicular:

El desarrollo radicular (Tabla 32), no se afectó con los tratamientos de riego aplicados, no obstante se observaron respuestas significativas ($P > 0,001$) para la profundidad favoreciéndose el estrato de 0-20 cm, en el cual ocurre la mayor concentración de raíces (Tabla 33).

Tabla 32

Análisis de la varianza para desarrollo radicular (% raíces).

Fuente de variación	Valor de F y significación
Tratamiento	0,08 ns
Profundidad	5968,73 **
Interacción	259,51 **
CV %	5,3

Tabla 33

Promedio y significación de % de raíces para cada profundidad de estrato de suelo.

Profundidad (cm)	Promedio y significación
0-20	79,42 A
20-40	15,42 B
40-60	6,25 C

La interacción de tratamiento con profundidad (Tabla 34), mostró variaciones importantes ($P < 0,01$), favoreciéndose la aplicación de riego por surcos continuos, donde ocurrió un 88,17% de concentración de raíces, en el estrato superficial, lo que indica poca distribución de raíces en el resto del perfil de suelo. Sin embargo, se observó en el riego por surcos alternos que existe, una mejor distribución de las raíces en el perfil del suelo desde el estrato superficial hasta los estratos de 20-40 y 40-60 cm (Figura 14).

En la Figura 15, se indica la distribución del desarrollo radicular del cultivo de la caña para cada tratamiento y en cada estrato de suelo estudiado. Respecto a esto, Burbano (1989) señaló que el uso más eficiente del agua promueve una mejor distribución del agua en el perfil del suelo, ayuda al desarrollo de un sistema radicular más profundo que conduce al uso del agua en una capa del suelo también más profunda. La asociación e interrelación de todas estas condiciones favorecen el desarrollo y productividad del cultivo. Esto indica que se obtuvo mejor desarrollo del sistema radicular, cuando se aplicó riego por surcos alternos, ya que con este se obtiene una mejor distribución del agua en el perfil del suelo, favoreciendo las condiciones como aireación, y reducción de la concentración excesiva de humedad, que afecta el desarrollo radicular. Patrick *et al*, (1969) señalan que la actividad radicular de la caña de azúcar es seriamente afectada por un bajo contenido de oxígeno. Según Grassi (1981), en el método riego por surcos, la capa explorada por las raíces se cubre por el avance de la humedad en profundidad y lateralmente, por lo que un excesivo espaciamiento entre los surcos impide el humedecimiento completo del surco, lo cual baja la eficiencia de distribución. Con base a esto se puede señalar que el apropiado espaciamiento entre surcos alternos contribuyó al buen desarrollo y distribución radicular del cultivo al permitir un adecuado contenido de humedad en el perfil del suelo, no ocurriendo así en el riego por surcos continuos.

Tabla 34

Promedio y significación de % de raíces para la interacción tratamiento con profundidad

Método	Profundidad (cm)	% de Raíces
1 Riego por surcos alternos	0-20	70,67 B
	20-40	23,17 C
	40-60	7,5 D
2 riego por surcos continuos	0-20	88,17 A
	20-40	7,67 D
	40-60	5,00 D

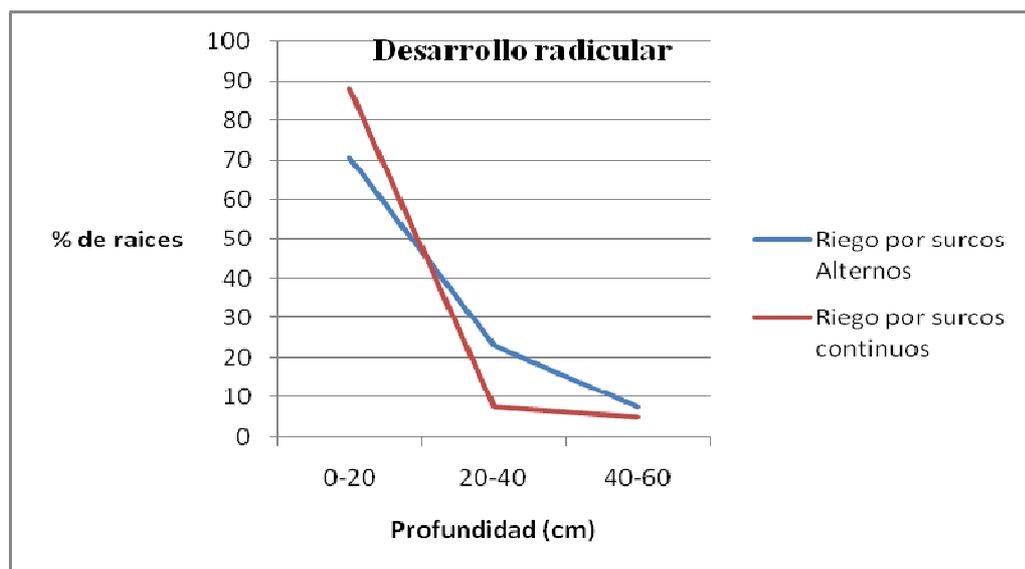


Figura 14. Promedio y significación para porcentaje de raíces en el perfil de suelo.

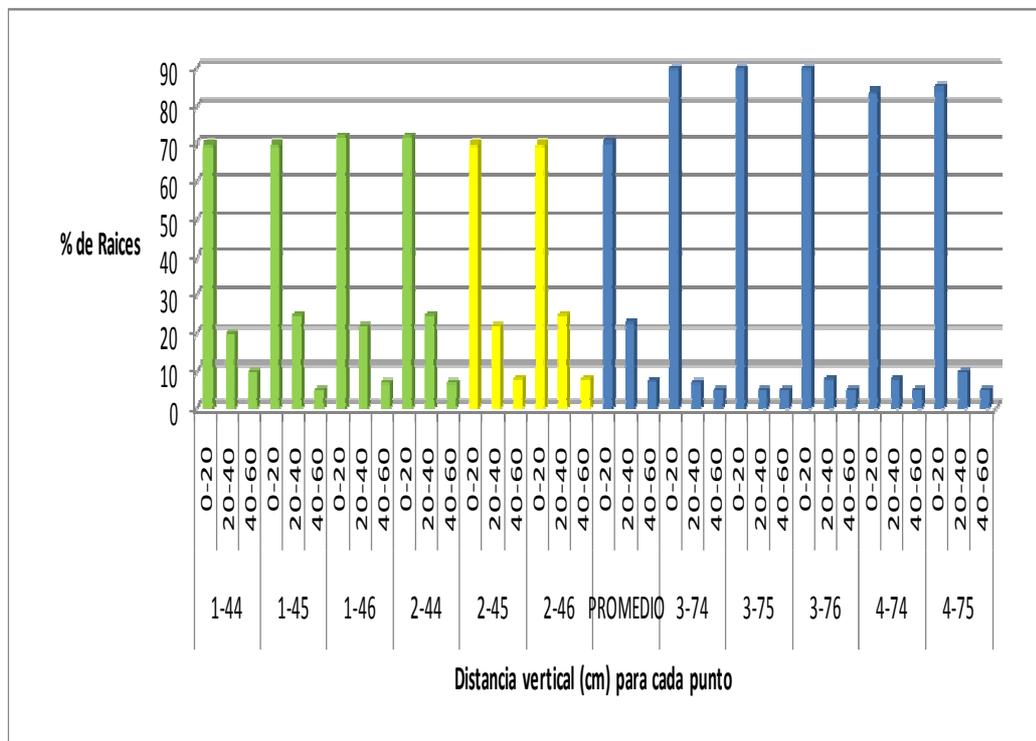


Figura 15. Desarrollo radicular

4.4.2.2 Área foliar, longitud del tallo, cantidad de tallos por cepa, diámetro del tallo y número de nudos por tallo.

De acuerdo con las observaciones realizadas por Cartaya *et al* (2008), en el marco de la ejecución del presente estudio, se obtuvieron y se analizaron los siguientes resultados para las mediciones de área foliar, longitud del tallo, cantidad de nudos, cantidad de tallos por cepa y perímetro del tallo, en ambos tratamientos de riego (surcos alternos y continuos).

Para evaluar las variables biométricas área foliar (AF), diámetro del tallo (DT), longitud del tallo (LT), número de nudos por tallo (NN) y número de tallos por cepa (NT), se utilizó un análisis de la varianza combinado en el tiempo para efecto de tratamiento con el riego como subparcela (Tabla 35), el cual no mostró variaciones para los tratamientos aplicados, sin embargo se observaron diferencias altamente significativas para el número de riegos aplicados durante el ciclo del cultivo, observándose que el tercer riego, fue el

que presentó mayor influencia en estas variables biométricas (Tabla 36). Esto ocurre debido a que el crecimiento de la planta es continuo y se incrementa desde el inicio hasta el último riego aplicado.

No obstante para la interacción de tratamiento con el número de riegos aplicados, se observaron variaciones ($P < 0,05$) para AF y NT y diferencias altamente significativas para el diámetro del tallo (DT), influyendo sobre estos principalmente el tercer riego (Tabla 337), que aportó mayor promedio para la mayoría de estas variables. Con respecto a los tratamientos de riego aplicados el que arrojó mejor condición para el desarrollo de estas variables fue el de surcos alternos (Figura 16, 17, 18). Estos resultados se deben a la mejor distribución del agua en el perfil del suelo cuando se regó por surcos alternos lo que favoreció un mayor desarrollo del cultivo. Esto es importante ya que estas tres variables intervienen en gran medida en la producción final (t/ha) de caña. Con base a este resultado se puede señalar que el riego por surcos alternos es favorable para el crecimiento del cultivo de la caña de azúcar, bajo las condiciones edafoclimáticas estudiadas.

Tabla 35

Análisis de la varianza combinado en el tiempo para efecto de tratamiento con el riego como subparcela, para área foliar, diámetro del tallo, longitud del tallo, número de nudos por tallo y número de tallos por cepa

Fuente de variación	Valor de F y significación				
	AF	DT	LT	NN	NT
Tratamiento	0,03 ns	5,29 ns	5,84 ns	1,81 ns	0,00 ns
Riego	78,72 **	1408,50 **	285,14 **	101,75 **	52,0 **
Interacción	4,61 *	13,09 **	1,49 ns	0,07 ns	4,65 *
CV %	10,5	8,64	26,64	36,12	20,98

Tabla 36

Promedio y significación de valores de las variables biométricas AF, DT, LT, NN, NT en relación con el número de riegos aplicados.

		Promedio y significación				
N° de Riegos aplicados	AF	DT	LT	NN	NT	
1er riego	261,81 C	5,24 C	34,52 C	1,47 C	5,03 C	
2do riego	287,67 B	7,34 B	50,75 B	2,47 B	5,53 B	
3er riego	352,38 A	8,29 A	76,54A	3,86 A	6,42 A	

Tabla 37

Promedio y significación de valores de las variables biométricas AF, DT, LT, NN, NT para la interacción tratamiento con riego.

		Promedio y significación				
Tratamiento	Riego	AF	DT	LT	NN	NT
1 riego por surcos alternos	1er	273,42 B	5,26 C	35,89 A	1,33 A	4,88 B
	2do	276,74 B	7,57 B	54,00 A	2,33 A	5,44 B
	3er	353,78 A	8,60 A	80,92 A	3,66 A	6,67 A
2 riego por surcos continuos	1er	250,19 B	5,22 C	33,14 A	1,61 A	5,17 B
	2do	298,60 B	7,11 B	47,15 A	2,61 A	5,61 B
	3er	350,97 A	7,98 A	72,16 A	4,05 A	6,17 A

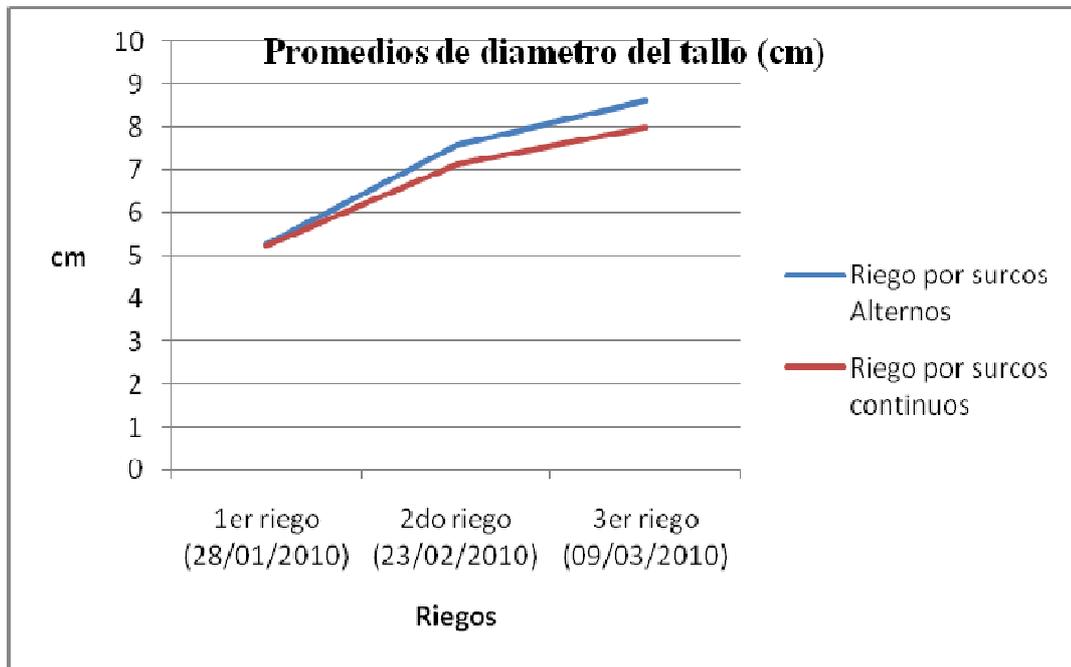


Figura 16. Promedio y significación para el diámetro del tallo (DT)

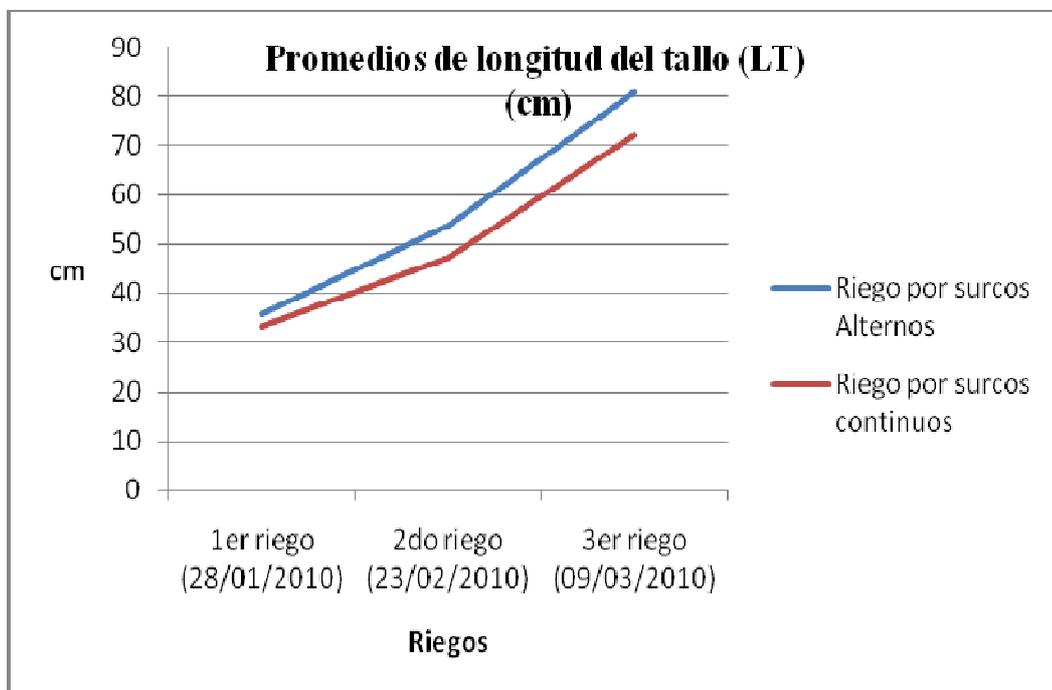


Figura 17. Promedio y significación para longitud del tallo (LT)

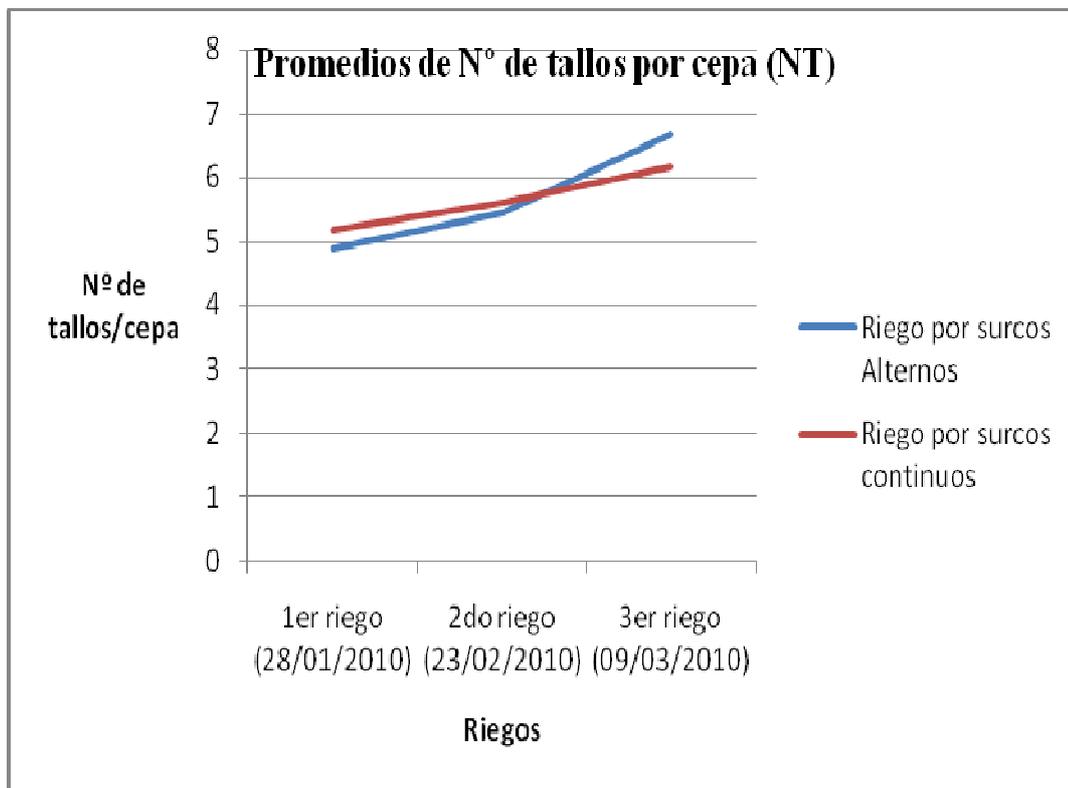


Figura 18. Promedio y significación para N° de tallos por cepa (NT)

El comportamiento de las variables biométricas en el tercer riego, no se diferencian estadísticamente (Tabla 38), con excepción del diámetro del tallo (DT) en el riego por surcos alternos que mostró un mayor incremento ($P < 0,01$) (Tabla39).

Tabla 38

Análisis de la varianza para el diámetro del tallo (DT) para el tercer riego.

Fuente de variación	Valor de F y significación				
	AF	DT	LT	NN	NT
Tratamiento	0,03 ns	10,9 **	2,46 ns	0,87 ns	2,10 ns
CV %	14,7	6,77	21,89	32,32	16,15

Tabla 39

Promedio y significación de tratamiento para las variables biométricas AF, DT, LT, NN, NT durante el tercer riego.

Promedio y significación					
Tratamiento	AF	DT	LT	NN	NT
1 riego por surcos alternos	353,78A	8,60A	80,91A	3,66A	6,67A
2 riego por surcos continuos	350,97A	7,98 B	72,16A	4,05A	6,17A

La cantidad de nudos por tallo (NN) (Figura 19), en el riego por surcos continuos, fue mayor y la longitud de los entrenudos fue más corta que en el riego por surcos alternos, esto ocurre debido al excesivo humedecimiento del suelo.

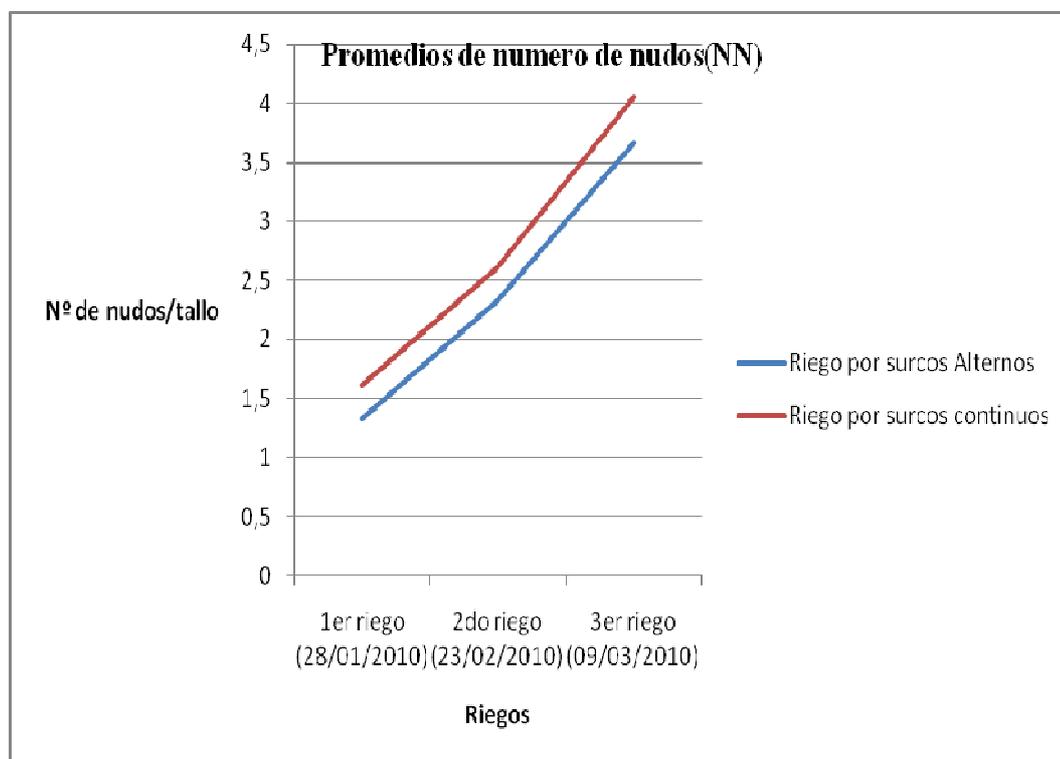


Figura 19. Promedio y significación para N° de nudos por tallo (NN)

De acuerdo a expresado anteriormente, se considera que las plantas sometidas al tratamiento de riego por surcos continuos, estuvieron afectadas por un desarrollo interrumpido por el exceso de humedad y esto se refleja en la formación de estructuras de sobrevivencia, tales como mayor numero de nudos que le permitió sobrevivir a las condiciones del medio. Respecto a esto Humbert (1976) señala que los entrenudos inferiores son de longitud variable, correspondiendo la mayor longitud a periodos de máximo desarrollo y la menor longitud a un desarrollo restringido durante los meses de invierno, durante los periodos de sequia, saturación de los suelos y otras distintas causas.

4.4.3 Rendimiento (t/ha):

La estimación del riego para ambas modalidades, mostraron variaciones significativas (Tabla 40) que favorecen al riego por surcos alternos, en el cual se evidencia un incremento en t/ha de caña de aproximadamente 25% (Tabla 41).

Tabla 40

Análisis de la varianza para rendimiento (TCH)

Fuente de variación	Valor de F y significación
Tratamiento	5,59 *
CV	21,45

Tabla 41

Promedio y significación de tratamiento para toneladas de caña por hectárea (TCH)

Tratamiento	Toneladas de caña por hectárea (TCH)
1 riego por surcos alternos	124,67A
2 riego por surcos continuos	92,83 B

Según Rojas (2002), el crecimiento y funcionamiento potencial de las plantas, depende del contenido de humedad en el suelo y puede estar limitado por un déficit o exceso de agua, porque interrumpe de manera directa los procesos fisiológicos de las plantas. De esta manera se asume que el crecimiento del cultivo cuando se aplicó el riego por surcos continuos fue afectado por un exceso de humedad mayor en comparación con el riego por surcos alternos.

Según Humber (1976), el crecimiento de la caña de azúcar, es uniforme en tanto que la humedad del suelo se corresponda con los límites de capacidad de campo, la humedad es absolutamente esencial para promover el brote de tallos, por lo que el retraso de riego a menudo ocasiona malas poblaciones en campo. En esta perspectiva Gómez (1975), señala que se ha demostrado una correlación positiva entre la humedad y el encepamiento de la caña de azúcar; esto indudablemente dentro de ciertos límites, pues cuando la humedad es excesiva puede perjudicar el mismo, además el cultivo requiere de un buen suministro de humedad del suelo durante el periodo de crecimiento puesto que el agua juega un papel muy importante en la turgencia, la traslación y en la presión de crecimiento o presión de turgor. Con base a esto, se determina que el grosor del tallo, fue mayor cuando se aplicó el riego por surcos alternos, debido a que el contenido de humedad en el suelo con este tratamiento es moderado comparado con la aplicación de riego por surcos continuos. De esta manera, se puede señalar que cuando se aplicó el riego por surcos alternos el cultivo fue favorecido por un contenido de humedad en el suelo moderada; mientras que la aplicación de riego por surcos continuos, aportó mayores contenidos de humedad en el suelo, consecuente afectación del cultivo.

Dentro de este orden de ideas, Ruiz (2005) señala que al presentarse una saturación completa en el suelo la concentración de oxígeno se reduce y la de CO₂ aumenta afectando los procesos fisiológicos de la raíz, causando una disminución en el desarrollo de esta y en consecuencia restringiendo la absorción de agua y de los nutrientes, lo que al final provoca reducción del rendimiento. Igualmente Rojas (2002), indica que el exceso de agua en el suelo afecta el intercambio de gases entre este y la atmósfera, causando efectos negativos para el crecimiento de los cultivos,

principalmente debido a la disminución de la aireación, la temperatura y afectación de las reacciones químicas del suelo. De esta manera se denota que cuando los suelos son saturados por la aplicación de riego por surcos continuos, las plantas entran en un estrés temporal por el exceso de humedad lo que da lugar al retardo en el crecimiento del tallo en comparación con la aplicación de riego por surcos alternos, donde la saturación es menor, (Figura 17).

En la Figura20, se observa los rendimientos en t/ha obtenidos para cada tratamiento, en la que se evidencia que el mayor valor promedio fue en el tratamiento de riego por surcos alternos alcanzando un valor de 120 t/ha, en comparación con el rendimiento obtenido en el riego por surcos continuos (90 t/ha). Evidenciándose un incremento de la producción en 33,33% para el tratamiento de riego por surcos alternos. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Torres *et al* (1996), quienes no observaron diferencias significativas en la producción de la caña de azúcar entre los sistemas de riego por surco continuo y riego por surcos alternos. Sin embargo, fue evidente un incremento notorio en producción al regar por surcos alternos, lo cual sugiere la existencia de un ambiente más favorable en las relaciones suelo-agua para la caña de azúcar. En base a esto se puede decir que la aplicación de riego por surcos alternos en el cultivo de la caña de azúcar contribuye a aumentar los rendimientos en t/ha.

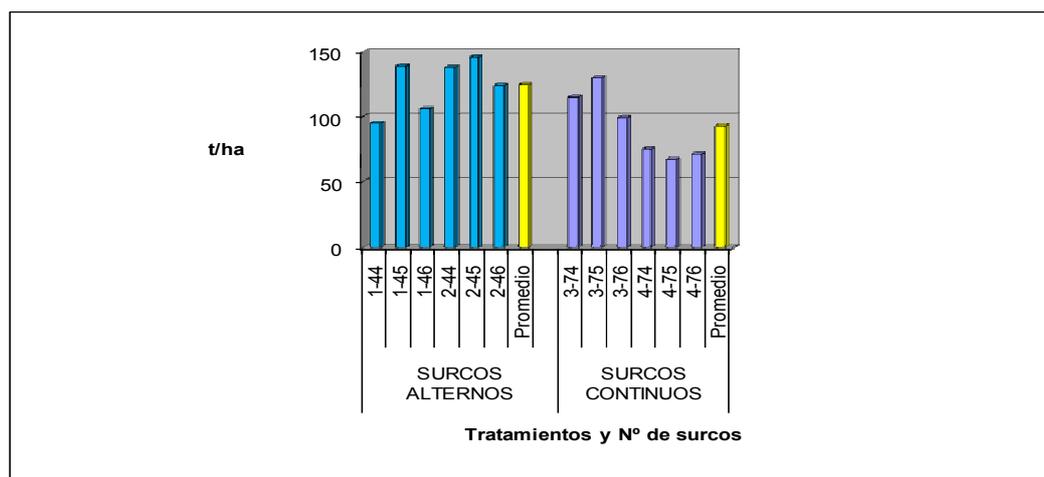


Figura 20. Estimación de cosecha en t/ha para riego por surcos alternos y continuos en caña de azúcar.

4.4.4 Determinación del tiempo de riego en horas/ha/hombre:

En la Tabla 42, se reporta el tiempo empleado en cada modalidad de riego, es notorio que el más eficiente fue el riego por surcos alternos donde el tiempo total fue de 19 horas (2,35 jornales de 8 horas cada uno), en contraste con el de surcos continuos con una duración de 25 horas (3,12 jornales de 8 horas cada uno), es decir 24% más tiempo empleado bajo esta modalidad. En consecuencia el riego por surcos alternos reduce la labor de riego en 0,77 jornales/ha lo que significa una reducción en el costo de producción del cultivo por este concepto. Resultados similares a los señalados en este estudio fueron difundidos por Cabrera, *et al* (1990), quienes lograron aumentar la productividad del riego en 2,3 ha/hombres/jornada, para surcos de alternos.

Tabla 42

Tiempo empleado para regar cada parcela experimental con cada tratamiento de riego.

TRATAMIENTO	N° SURCO	TIEMPO (horas/ha/hombre)	Jornal/ha/hombre
SURCOS ALTERNO	1 hasta el 24	10	
	25 hasta el 45	9	
	Total	19	2,37
SURCOS CONTINUO	61 hasta el 125	25	3,12

CONCLUSIONES:

1. La evapotranspiración de referencia (ET_o) para el cultivo de la caña de azúcar en esta zona es de 4,05 (mm/día) para el mes más crítico, el requerimiento de riego anual de 398 mm; siendo el valor de este para la etapa inicial de 27 mm, para la etapa de desarrollo de 201,90 mm, para la etapa media de 132 mm y para la etapa final de 37,10 mm.

Al analizar el riego aplicado por el productor, tomando en cuenta las láminas medidas en campo para ejecutar el programa Cropwat y simular la programación del riego, se observa que no se generó reducción del rendimiento para ninguno de los tratamientos. Sin embargo, se reportan pérdidas considerables de agua, con el riego por surcos continuos. Por lo que se puede señalar que existe mejor uso del agua con el riego por surcos alternos, el cual no reportó pérdidas de agua.

2. La aplicación de riego por surcos alternos en el cultivo de la caña de azúcar, es favorable para un mayor contenido de humedad en el suelo, debido a que el agua se infiltra vertical y horizontalmente desde los surcos regados hacia los surcos sin aplicación de riego. Además existe un efecto acumulativo en el tiempo del contenido de humedad en el suelo, incrementándose desde el primer al último riego, ocurriendo la mayor acumulación de agua en los estratos de suelo con profundidad de 0-20 y 20-40 cm, debido a la acumulación y movimiento de la lámina de agua desde el estrato superior a los inferiores.

En todos los modos de medición con la sonda TDR-300, se observaron diferencias significativas antes y después de aplicar el riego, resultando para los modos Estándar y Hi Cly, favorable el riego por surcos continuos para el estrato de suelo con profundidad de 0-40 cm y para el modo periodo el riego por surcos alternos en el estrato de suelo con profundidad de 0-20 cm y el tratamiento de riego por surcos continuos en el estrato de suelo con profundidad de 40-60 cm.

El rango óptimo de contenido de humedad en el suelo medido con la sonda TDR-300, se encuentra entre 2764 y 4800 uS en el modo periodo, estos representan entre 17% y 25% de humedad gravimétrica, el primer valor corresponde al contenido

de humedad a punto de marchitez permanente (PMP) y el segundo es más próximo al contenido de humedad a capacidad de campo (CC).

3. Para la eficiencia de aplicación (Ea), existe una tendencia favorable hacia el tratamiento de riego por surcos alternos para el segundo y tercer riego, con un valor obtenido de 62,72% y 71,94%, respectivamente, en comparación con el valor de 54,33% y 67,44%, obtenidos para el riego por surcos continuos, para la eficiencia de almacenamiento (Eal) se favorece el tratamiento de riego por surcos continuos en el tercer riego, en la eficiencia de distribución (Ed) no existen diferencias y la eficiencia agronómica (Ef) resultó sin diferencias entre los tratamientos en la aplicación del primer riego, en el segundo riego se favorece el riego por surcos alternos con un valor de 47,50 % de Ef en comparación con 32,22% obtenido con el riego por surcos continuos y en el tercer riego no existen diferencias entre los tratamientos. No apreciaron cambios para Eal y Ef, con respecto a la profundidad del estrato de suelo, sin embargo en la Ea y Ed, existen diferencias altamente reveladoras y el estrato de 40-60 cm de profundidad se destacó favorablemente. Por lo que se puede sugerir el riego por surcos alternos como una buena alternativa para mejorar la eficiencia en el uso del agua de riego en el cultivo caña de azúcar.

4. La productividad del riego es mayor en el riego por surcos alternos que, ya que el gasto de agua es menor, debido a que esta se distribuye desde el surco regado hacia los surcos sin riego, con un ahorro de 55% de agua, así como el desarrollo radicular se distribuyó mejor en el perfil de suelo desde el estrato superficial hasta los estratos a profundidades de 0-40 y 40-60 cm. En contraste con el riego por surcos continuos, 88% de las raíces se concentran en el estrato superficial del suelo a profundidad de 0-20 cm y es escasa su distribución en el resto del perfil de suelo. Las variables biométricas en el riego por surcos alternos presentaron mejor desarrollo, especialmente en el diámetro del tallo, con un mayor tonelaje estimado por hectárea (120 t/ha), que superó en 30 t/ha el rendimiento obtenido con el riego por surcos continuos.

La eficiencia en el tiempo de aplicación del riego también fue mejor en el riego por surcos alternos con un ahorro en casi un jornal/ha.

Las consideraciones anteriores permiten señalar que la eficiencia de la aplicación de riego por surcos alternos constituye una alternativa válida para el cultivo de caña de azúcar en virtud del ahorro de agua demostrado en este estudio, así como en economía de mano de obra que supone una reducción en el costo de producción, asociado a un mayor incremento de la producción en t/ha.

RECOMENDACIONES

1. En virtud de la amplia aceptación que han manifestado los usuarios de este canal de riego sobre la técnica evaluada de riego por surcos alternos, es necesario continuar con la capacitación técnica entre los demás usuarios del canal M5-2 y de los otros canales de derivación, a fin de que adopten y se apropien de esta tecnología.
2. Realizar trabajos de investigación sobre el riego por surcos alternos en otras localidades y en diferentes texturas de suelos.
3. Evaluar el riego por surcos alternos con el uso de diferentes espaciamientos entre surcos (número de surcos sin riego), para diferentes texturas de suelo.
4. Utilizar el sistema cropwat 8.0, para estimar las necesidades de riego y la programación de riego a usar en campo.
5. Evaluar el riego por surcos alternos en cultivos de plantilla de caña de azúcar y comparar con resultados de cultivos de soca.
6. Realizar trabajos de investigación sobre calibración de la sonda TDR-300 para determinar contenido de humedad en el suelo para diferentes texturas de este en diferentes localidades, para utilizar este equipo en el monitoreo de la humedad del suelo durante las aplicaciones de riego en cultivos.

REFERENCIAS CONSULTADAS

- Aguas, T 1996. Riego [documento en línea]. En http://www.cenicaña.org/pdf/documento_no_seriado/libro_el_cultivo_de_caña/libro_p_193-210.pdf [consultada: mayo 6, 2008].
- Albarran, W. 2001. Respuesta del cultivo de caña de azúcar a diferentes profundidades del nivel freático. Universidad Nacional Experimental Ezequiel Zamora. Guanare, Venezuela.
- Arbat, G; Olivé, F; Roselló, A; Puig, J; Ramirez de Cartagena, F. (2009). Distribución del agua en el suelo en riego por surcos alternos y no alternos en el cultivo de maíz. Estudios en la Zona no Saturada del Suelo. Vol IXI. Barcelona. [documento en línea]. En <http://www>. [consultada: mayo 2010].
- Burbano, H 1989. Evaluación de asociaciones vegetales por su potencial como fuente de materia orgánica para los suelos de Samacá. [Documento en línea]. En <http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120...sci...> [Consultado: Enero 28, 2008].
- Cabrera, R.; V. Baron; A. Bagadur; A. Soyfer; J. Meneses 1990. Desarrollo del riego por gravedad en caña de azúcar en la Provincia de Guantánamo. Informe Técnico, INICA, C. Habana: 28 p.
- Cabrera, R. 1994. Consideraciones sobre la tecnología del riego superficial en caña de azúcar (revista científica). En <http://www.ceniap.gov.ve> [consultada: mayo 5, 2008]
- Cartaya, L; Gonzalez, J; España, R; Guerrero, J, 2008. Evaluación biométrica en caña de azúcar (*saccharum officinarum*) mediante la aplicación de riego por surcos alternos y continuos. Universidad Nacional Experimental Ezequiel Zamora. Guanare, Venezuela.
- CENICAÑA. 1984. Centro de Investigación de la Caña de azúcar de Colombia. Informe Anual, Programa de Agronomía de Cali, Colombia.97 p.
- De La Loma, J. 1968. Necesidades de agua de los cultivos y eficiencia en el riego. México, secretaria de Recursos Hidráulicos. Mem. Tec. N° 260. p. var.

- Desa, S.1992. Cultivo de la caña de azúcar sin labranza con riego por líneas Alternadas (Documento en línea). En <http://www.fao.org/DOCREP/005/Y4137S/y4137sOq.htm> [consultada: mayo 6, 2008].
- Daza, M 1986 Métodos de riego. In: El cultivo de la caña de azúcar. TECNICAÑA. Cali, Colombia.
- F.A.O. 1990. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio 56 FAO, serie Riego y Drenaje.
- Fauconnier, R; Bassereau, D. 1975. La caña de azúcar. Traducido de la 1era Ed. En francés por Enrique Bota. 1era ed. España. sn. 433 p.
- García J, Gispert J. 1999. El volumen húmedo del suelo en el riego localizado. Importancia y evaluación [Documento en línea]. En <http://www.carpna.ifas.ufl.edu/ZN/4canarias/i-02.pdf>. [Consultado: Enero 28, 2008].
- Gómez Álvarez, F. y Pinto M., R. 1970. Observaciones preliminares sobre la compactación del suelo y el crecimiento de la caña de azúcar. Est. Exp. De Occidente, MAC. Boletín 91.
- Gómez, F. 1975. Caña de azúcar Ed. FONAIAP-Caracas. Ven. 669 p.
- Gurovich L., R. 1999. Riego superficial tecnificado. Editorial ALFAOMEGA. México. Pp. 233-236.
- Grassi, C.1973. Riego por surcos en suelos pesados. Mérida, Ven., CIDIAT. 165 p. (Materiales de enseñanza. Doc.73).
- Grassi, C. 1976. Métodos de riego. Mérida, Ven., CIDIAT.240 p.
- Grassi, C. 1981. Métodos de riego. Mérida, Ven., CIDIAT.265 p. (Ser. Riego y Drenaje RD 12).
- Grassi, C. 2000. Diseño y operación del riego por superficie. Mérida, Ven., CIDIAT. 415 p. (Ser. Riego y Drenaje RD 36).
- Gruber, L. 2002. Comparación de algunos métodos micro meteorológicos para estimar la evapotranspiración en el cultivo de melón en condiciones de

- invernadero. Colegio de Posgraduados Montecillo. México. Tesis de maestría. 83 p.
- Hidalgo, A, 1971. Método moderno de riego por superficie. España. [Documento en línea]. En <http://www.portal.chapingo.mx/irrigeo-/pd/planest/6-2/PROGi> [Consultado: Enero 28, 2008].
- Humbert, R.1976. El cultivo de la caña de azúcar. Traducido por. Alfonso González Gallardo. 2 ed. D.f. México. Continental s.a 719. p.
- Israelsen, O.1932. Irrigation Principles and practices, John Wiley. New York, USA.422 p.
- Jackson, M., Drew, M. 1984. . Effects of flooding on growth and metabolism of herbaceous plants. En Koslowski, T. (Ed.). Flooding and plant Growth, Academic Press, London, p. 47-128.
- Jensen, J. 1931. Some studies of root habits of sugarcane in Cuba. Tropical Plant research Foundation, New York, Scientific Contribution N° 21. 37 p.
- López A., Crende, P. y Castelao, A. 2005. Uso del TDR en ensayos de movimiento de agua sobre columnas de suelo inalterado. Estudios de la zona no saturada del suelo Vol. VII. [Libro en línea]. En <http://carpena.ifas.ufl.edu/ZNS/7coruna/c109-114.pdf> [Consultado: Enero 22, 2008].
- Luque, J. 1981. Hidrología agrícola aplicada. Editorial Hemisferio sur S.A. Buenos Aires, Argentina. Pp. 73 y 85.
- Meneses, J. (1998). Riego por surcos alternos en el cultivo caña de azúcar. Estación Territorial de Investigaciones de. Habana-Pinar del Rio. INICA-IMINA. [Documento en línea]. En <http://www.fao.org/docs/eims/uploa/cuba/1043/cuf10015.pdf> [Consultado: Enero 28, 2008].
- Meneses, J. (1998). Como evaluar la eficiencia del riego por gravedad en el cultivo caña de azúcar. Estación Territorial de Investigaciones de. Habana-Pinar del Rio. INICA-IMINA. [Documento en línea]. En <http://www.fao.org/docs/eims/uploa/cuba/1042/cuf01005.pdf> [Consultado: Enero 28, 2008].

- Méndez, J; Amatima, A; Merazo, J; Gil, J; Khan, L. (1999). Efecto de tres frecuencias de riego sobre el rendimiento y sus componentes en cuatro cultivares de ajonjolí. *Agronomía tropical*. Vol 49. N°3. Julio-septiembre.
- Ministerio de Agricultura y Tierra. 1975. Información del sector agropecuario Caracas. Venezuela. P.18.
- Negrin, A. 1982. Iniciación a la estadística. Editorial José Martí. Caracas, Venezuela. Pp. 307-315.
- Patrick, W; Turner, F; Delaune, R. 1969. Soil oxygen content and root development of Sugar Cane agric. *Exp. Stat. Louisiana Sta. Univ. Bull.* N° 641.
- Pereira, P., Mago, N., Rodríguez, L. 1986. Uso de parámetros meteorológicos para el control de riego en caña de azúcar durante el periodo de crecimiento. *Rev. Caña de azúcar (Ven.)* 4(2): 125-141.
- Pire, R. 2005. Estudio del crecimiento y Relaciones hídricas del porta injerto de vid Criolla Negra y oros cultivares de uva para vino y posibles mecanismos de tolerancia a la sequia. Universidad de Valladolid. Departamento de producción vegetal y silvopasticultura. Tesis doctoral.
- Rincones, C. 1990. Respuesta de ocho variedades de caña de azúcar a la aplicación de dos frecuencias de riego. *Revista técnica fonaiap* 8:12
- Rojas, R. 2002. Relaciones agua suelo planta atmosfera en planificación, diseño y manejo de proyecto de agua y tierra. [Libro en línea]. En <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/rojas.r/raspa.pdf>. [Consultada en mayo 5, 2008].
- Rubio, C., González-Flor, C. y Josa, R. 2006. Monitorización del contenido de agua en los sustratos de restauración minera: calibración de las medidas de TDR en laboratorio y campo. *Estudios en la zona no saturada del suelo*. Vol VIII. [Libro en línea] en http://www2.ub.edu/ecoquarry/Rubio_Glez_Josa_2007.pdf [Consulta: Enero 28, 2008].
- Ruiz, F. 1995. El cultivo de la caña de azúcar. [Libro en línea]. En **¡Error! Referencia de hipervínculo no válida.** books.google.co.ve/books?isbn=9977648115 [Consultada en mayo 15, 2008].
- Rodríguez, J. 2007. Estudio de la evapotranspiración en la zona de Tarabana utilizando modelos empíricos lisímetros de pesada con plantas de tomate.

- Universidad Centrooccidental Lisandro Alvarado. Decanato de agronomía. Postgrado de horticultura. Cabudare Edo. Lara. Venezuela.
- Rodríguez, S; Torres, W; Ortega, E; Rodés, R; Dell'Amico, J; Meneses, S; Jerez, E; López, G. 2007. Efecto del estrés por sobrehumedecimiento del suelo en la dinámica del índice del área foliar en caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). Cultivos tropicales. Vol. 28. N° 4, p. 33-40.
- R de Solórzano, G; Grassi, C. 1998. Evaluación del riego por surcos en San Juan de Lagunillas, estado Mérida. Revista Agronomía Tropical. 38 (1-3): 47-72
- Romero, R. 1999. Uso eficiente del agua de riego en agricultura (Disponibilidad de agua en maíz). Fisiología y manejo de cultivos. Unidad de agrometeorología, riego y medio ambiente. Grupo de riego de INIA La Estancuela. Colonia, Uruguay. [Documento en línea]. En <http://www.iica.org.uy/p2-3.htm> [Consultado: Febrero 05, 2008].
- Sancho, F. y Villatoro, M. 1996. Determinación de la humedad de suelos volcánicos mediante el uso de la técnica de Reflectometría de Dominio del Tiempo (TDR). Biblioteca Conmemorativa Orton (IICA / CATIE). Catálogo ORTON. Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. X Congreso Nacional Agronómico / II Congreso de Suelos. San José, Costa Rica. [Documento en línea]. En <http://orton.catie.ac.cr/cgi-bin/wxis.exe/> [Consultado: Enero 28, 2008].
- Sigala; I.E.1972. Efecto del riego sobre el desarrollo y producción de Caña. Boletín N° 97, Estación experimental de Occidente. Yaritagua, Venezuela.
- Tineo G., I; Viso, A. 1963. Observaciones sobre requerimientos de riego de la caña de azúcar en los valles de Aragua. ATAVE. Boletín Informativo N° 8,23 p.
- Torres. J; Cruz. R; Villega. F 1996. Riego por Surcos Alternos en Caña de Azúcar. (Documento en línea). En <http://orton.catie.ac.rc/cgi-bin/wxis/IsisScript=CIDCA>. Cenicaña. [Consultada: mayo 7, 2008].
- Villafañe, R 1998. Diseño agronómico del riego. Editorial Ex - libris. Fundación Polar. Departamento de Ingeniería Agrícola. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. Pp. 19-21.
- Wagner; M. 1986. Evaluación de un modelo de riego aplicado en plantilla de caña de azúcar (*Saccharum sp.*) en condiciones de un suelo Mollisol. Rev. Caña de azúcar (Ven.) 4(2): 143-167.

- Vargas, J; España, R; Guerrero, J. 2008. Calibración de la sonda TDR-300 para mediciones de humedad en la parcela 2D-18, municipio San Rafael de Onoto, estado Portuguesa. Universidad Nacional Experimental Ezequiel Zamora. Guanare, Venezuela.
- Zerega, L; Guinand, E; Guinand, A. 2000. Caracterización de los recursos agroecológicos de una finca cañamelera en el estado Portuguesa. Revista Caña de Azúcar. Vol. 18. N° 42

**ANEXO A CALCULOS DE VARIABLES DE CARACTERISTICAS DEL
SUELO**

Densidad aparente y espacio poroso total (EPT) del suelo:

PUNTO N°	N° SURCO	Profundidad (cm)	Densidad Aparente (Da) (gr/cm ³)	EPT(%)
1	44	0-20	1,39	52,4528302
Surcos Alternos		20-40	1,37	51,6981132
		40-60	1,8	67,9245283
	45	0-20	1,39	52,4528302
		20-40	1,37	51,6981132
		40-60	1,8	67,9245283
	46	0-20	1,39	52,4528302
		20-40	1,37	51,6981132
		40-60	1,8	67,9245283
2	44	0-20	1,4	52,8301887
Surcos Alternos		20-40	1,38	52,0754717
		40-60	1,79	67,5471698
	45	0-20	1,4	52,8301887
		20-40	1,38	52,0754717
		40-60	1,79	67,5471698
	46	0-20	1,4	52,8301887
		20-40	1,38	52,0754717
		40-60	1,79	67,5471698
			27,39	1033,58491
		Promedio	1,52166667	57,4213836
3	74	0-20	1,29	48,6792453
Surcos Continuos		20-40	1,54	58,1132075
		40-60	1,75	66,0377358
	75	0-20	1,29	48,6792453
		20-40	1,54	58,1132075
		40-60	1,75	66,0377358
	76	0-20	1,29	48,6792453
		20-40	1,54	58,1132075
		40-60	1,75	66,0377358
4	74	0-20	1,24	46,7924528
Surcos Continuos		20-40	1,53	57,7358491
		40-60	1,73	65,2830189
	75	0-20	1,24	46,7924528
		20-40	1,53	57,7358491
		40-60	1,73	65,2830189
	76	0-20	1,24	46,7924528
		20-40	1,53	57,7358491
		40-60	1,73	65,2830189
		Promedio	27,24	1027,92453
			1,51333333	57,1069182

Laminas Almacenables máximas y laminas netas:

$$Ce = (CC - PMP) / 100 * Da * Ps * 10 = \text{Lamina de almacenaje máxima (LAAM)}$$

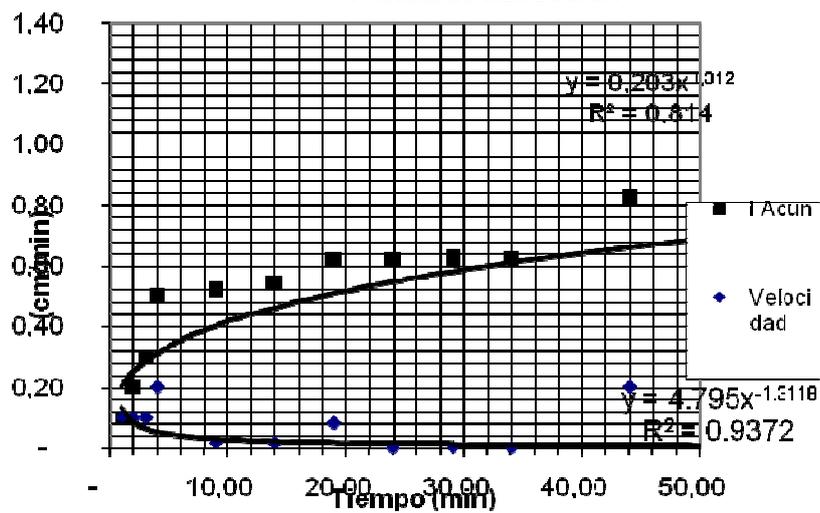
$$\text{Norma de riego (m}^3\text{/ha)} = Ce / 1000 * 10000 = Ce * 10$$

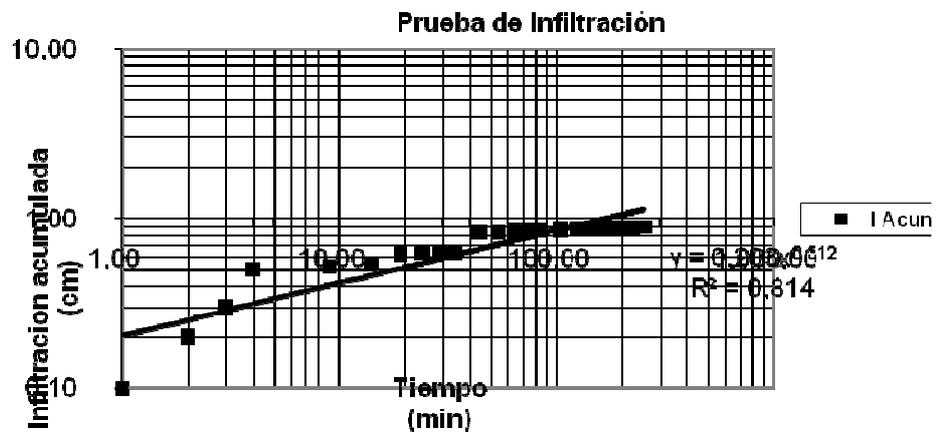
Tratamiento	Lamina almacenable máxima (LAAM) (mm)	Lamina neta (Ln)
SURCOS ALTERNOS	109,44	54,72
	109,44	54,72
SURCOS CONTINUOS	110,16	55,08
	108	54
	437,04	218,52
	109,26	54,63

Prueba de infiltración básica

a =	0,2038 mm*min ^{-(1+b)}
m =	0,3123 Adimensional
Infilt. Acumulada	$I_{cum} = 0,203 * t^{0,312}$
	$F_p = m * a * t^{(m-1)}$
(m * a)	0,06
(m - 1)	-0,69
Fp	$F_p = 0,063 * t^{-0,688}$
Tiempo Basico	$T_b = -600 * (m - 1)$
Tb	412,65 min
Infilt. Basica	$I_b = (m * a) * t_b^{(m-1)}$
lb	0,0010112 mm/min
lb	0,0606704 mm/hr

Prueba de Infiltración





ANEXO B DATOS CLIMATOLÓGICOS

Datos climatológicos (INIA Araure 1998 – 2007) Portuguesa.(DATOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN EN mm)

HISTORICO DE DATOS CLIMATOLOGICOS

Estación: Araure

Latitud: 9° 36' N

Estado: Portuguesa

Tipo: Agrometeorologica

Longitud: 69° 13' W

Serial: I 6201

Altitud: 200 msnm

Estación: Araure

Latitud: 9° 36' N

Estado: Portuguesa

Tipo: Agrometeorologica

Longitud: 69° 13' W

Serial: I 6201

Altitud: 200 msnm.

Instrumento de medición:

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1998	5,4	1,8	0,8	313,7	279,5	249,3	212,9	288,1	126,4	347,9	69,2	96,3
1999	0,0	0,0	13,7	193,7	160,4	143,0	238,8	111,8	152,3	254,7	119,5	7,2
2000	0,0	0,8	16,9	2,4	173,0	214,0	205,0	206,0	181,2	139,6	21,4	24,2
2001	2,4	0,0	4,1	116,8	91,6	196,4	191,8	294,3	152,1	160,6	79,0	332,0
2002	4,4	0,0	71,0	110,7	299,2	441,6	198,1	172,0	233,7	106,4	95,7	6,2
2003	0,0	0,0	0,0	236,5	301,4	275,9	283,5	248,8	212,3	218,6	119,6	39,6
2004	0,0	0,0	0,0	98,7	367,2	313,6	212,4	249,7	222,1	155,8	59,8	4,3
2005	33,3	24,9	0,0	226,3	159,9	215,3	185,6	304,3	59,8	189,4	229,1	0,0
2006	35,8	0,0	6,8	29,0	241,8	253,9	212,8	187,9	50,1	210,0	283,1	106,5
2007	0,0	18,1	85,5	95,4	248,1	161,4	197,8	216,9	192,7	225,1	56,6	31,3

DATOS MENSUALES DE EVAPORACION EN mm

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1998	142,3	165,4	197,1	131,6	89,2	89,0	125,8	123,9	115,2	112,0	137,1	140,4
1999	185,5	155,6	148,3	116,0	127,7	117,6	106,5	87,5	112,1	110,2	121,4	159,8
2000	196,6	193,2	224,2	210,9	117,3	125,8	110,4	112,2	158,5	106,1	212,5	122,9
2001	173,1	243,1	236,5	197,7	127,2	119,6	124,5	122,7	121,4	184,8	132,7	183,7
2002	192,0	204,5	214,7	188,2	120,8	98,4	123,5	108,8	109,2	118,9	111,5	119,3
2003	170,7	195,6	241,0	147,7	125,3	86,4	106,0	130,5	117,3	110,6	196,4	122,2
2004	221,9	219,1	244,4	171,9	91,8	91,5	104,0	96,8	136,4	135,8	123,3	264,1
2005	195,5	193,3	253,6	146,1	107,4	105,8	105,5	117,8	110,4	206,5	120,9	178,7
2006	192,8	186,4	218,8	170,5	91,7	69,7	87,3	109,9	118,4	214,3	157,4	137,0
2007	177,4	213,9	199,5	148,5	119,1	100,2	121,1	108,6	103,1	101,4	112,8	166,9

DATOS MENSUALES DE TEMPERATURA MAXIMA EN °c

AÑO	ENE	FEB	MA R	ABR	MA Y	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1998	34,3	34,9	35,5	32,3	31,8	30,5	31,2	31,6	32,2	31,9	32,4	32,1
1999	32,3	33,0	33,9	31,3	31,9	31,2	30,5	30,5	31,7	31,4	32,6	31,8
2000	32,0	32,9	33,3	34,7	32,1	31,4	31,4	31,6	31,3	31,6	32,4	31,2
2001	32,9	32,8	35,5	34,4	33,0	30,4	31,5	31,2	32,0	32,2	32,7	31,7
2002	32,2	33,6	34,2	33,1	31,7	29,6	31,2	31,1	31,9	31,9	32,1	31,7
2003	33,2	34,4	35,7	34,0	31,6	30,7	31,5	31,4	31,7	32,1	32,1	31,6
2004	32,6	33,9	35,3	34,0	30,3	30,3	30,3	30,5	32,2	32,5	32,4	32,2
2005	33,0	32,3	35,6	33,5	32,1	31,5	31,2	31,6	32,4	32,8	31,8	32,1
2006	33,0	32,6	34,5	34,2	33,1	31,0	30,9	31,5	32,6	32,4	32,5	32,0
2007	32,5	33,8	34,4	32,9	32,6	31,2	31,7	30,8	31,8	31,8	31,9	32,2

DATOS MENSUALES DE TEMPERATURA MINIMA EN °C

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1998	22,2	23,7	24,4	23,7	23,4	22,5	22,1	22,1	22,4	22,4	22,4	22,4
1999	22,4	22,6	23,1	22,7	22,2	22,1	21,0	21,6	21,3	21,5	22,1	22,7
2000	22,0	22,4	22,7	23,9	22,8	21,9	21,4	21,6	21,4	21,8	22,5	22,0
2001	21,4	21,4	22,5	23,6	23,2	22,1	21,7	21,9	22,3	21,8	22,1	22,7
2002	21,9	22,8	22,6	23,9	23,0	21,7	21,9	21,2	22,0	21,9	22,2	21,4
2003	21,6	22,3	23,0	23,3	23,2	21,9	21,6	22,0	22,0	22,2	22,8	22,1
2004	22,4	22,9	23,9	24,2	22,5	21,8	21,3	21,2	21,9	22,1	22,5	22,6
2005	22,9	22,3	24,0	23,8	22,9	22,5	21,7	22,4	22,0	22,3	22,4	21,7
2006	22,9	22,2	24,4	24,1	22,7	22,0	21,9	22,0	22,0	22,5	22,1	22,5
2007	22,6	22,5	23,1	23,6	22,9	22,1	22,2	22,0	21,7	22,0	22,0	22,0

DATOS MENSUALES DE HUMEDAD RELATIVA 8:00 AM EN %

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1998	80	79	72	84	89	92	89	91	89	88	84	82
1999	86	84	81	91	91	91	93	92	91	92	89	86
2000	80	81	76	78	88	90	86	88	89	86	81	86
2001	82	74	76	75	88	93	92	92	87	88	84	88
2002	75	72	74	78	87	93	88	89	89	84	87	84
2003	77	73	72	80	87	93	88	89	92	90	85	84
2004	70	70	69	81	92	89	90	93	92	88	88	81
2005	83	79	76	87	92	90	92	91	90	87	89	83
2006	84	81	84	84	93	95	93	91	92	92	92	90
2007	85	77	78	86	88	88	92	92	89	90	85	80

DATOS MENSUALES DE HUMEDAD RELATIVA 2:00 PM EN %

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1998	47	47	45	67	74	75	72	69	66	68	61	61
1999	67	65	60	74	72	70	81	76	71	71	66	68
2000	58	63	57	56	72	76	72	75	72	72	66	73
2001	62	53	49	59	67	70	69	70	66	67	59	64
2002	52	47	48	55	67	75	65	67	67	65	62	56
2003	53	45	43	56	67	74	74	73	72	72	62	58
2004	47	42	41	57	70	71	69	77	67	65	67	59
2005	59	57	49	67	78	72	73	70	69	70	74	69
2006	63	57	66	61	77	81	75	74	80	82	74	77
2007	68	55	57	66	73	74	74	75	71	70	63	53

DATOS MENSUALES DE INSOLACION EN HORAS DIAS

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1998	7,7	6,7	5,7	4,3	3,8	4,0	6,3	6,7	5,8	5,9	6,6	7,5
1999	7,5	5,7	6,4	4,0	5,7	7,0	5,7	5,7	6,0	6,0	7,3	6,5
2000	7,2	7,0	6,6	6,2	3,4	4,4	5,5	6,2	5,5	5,8	7,4	5,2
2001	7,5	8,6	7,5	5,7	5,0	4,9	5,9	5,9	5,6	5,5	6,9	6,0
2002	8,0	8,3	7,2	7,3	4,8	3,7	5,9	5,8	6,1	6,0	6,6	6,3
2003	7,9	7,9	7,0	4,4	4,4	3,3	4,9	6,8	5,7	5,8	6,1	6,0
2004	7,9	7,4	6,0	3,1	2,5	4,0	5,3	5,2	6,2	6,0	6,5	7,8
2005	7,5	7,7	8,7	4,3	4,6	5,0	4,9	6,3	6,4	8,0	6,4	8,0
2006	7,6	8,1	5,6	4,2	4,8	4,1	4,5	5,8	6,9	6,4	6,4	6,9
2007	7,4	8,3	6,1	5,2	4,5	4,8	5,1	5,2	6,3	4,8	6,8	7,4

**ANEXO C GRAFICOS DE FACTORES CLIMATICOS CALCULADOS CON
CROPWAT 8.0**

GRAFICO DE PROGRAMACION DE RIEGO: CON 50% DE AGOTAMIENTO DE HUMEDAD INICIAL DE SUELO:

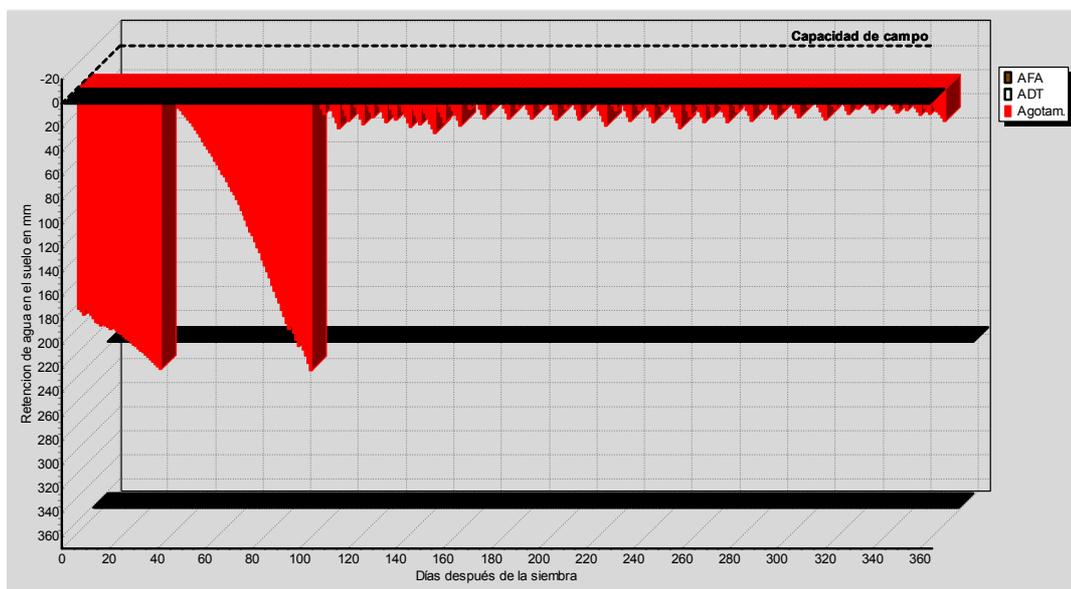


GRÁFICO REQ. DE AGUA DEL CULTIVO: CON 50% DE AGOTAMIENTO DE HUMEDAD INICIAL DE SUELO:

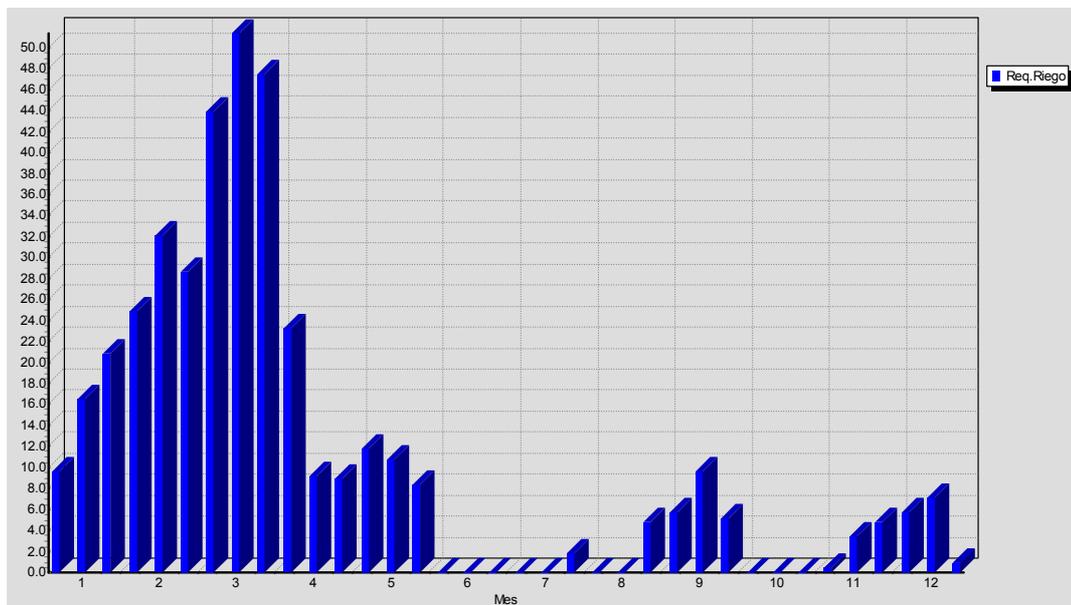


Gráfico Clima ETo, Precipitación:

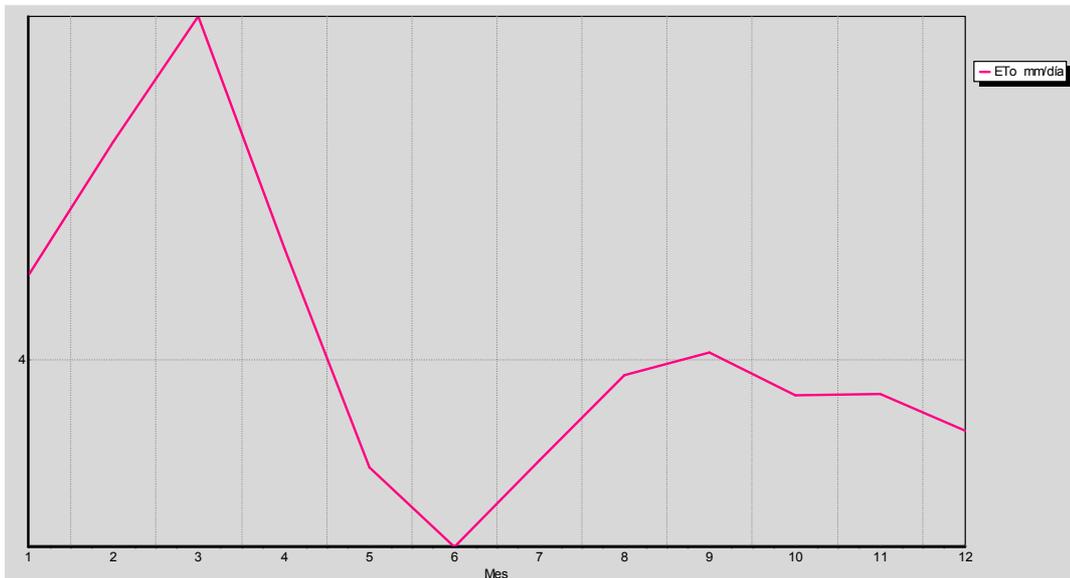


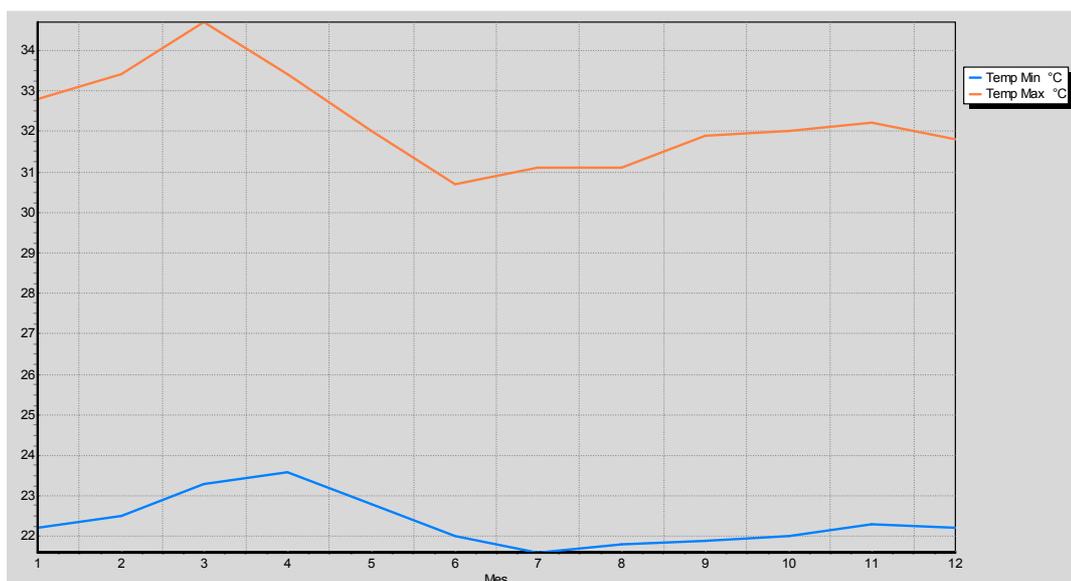
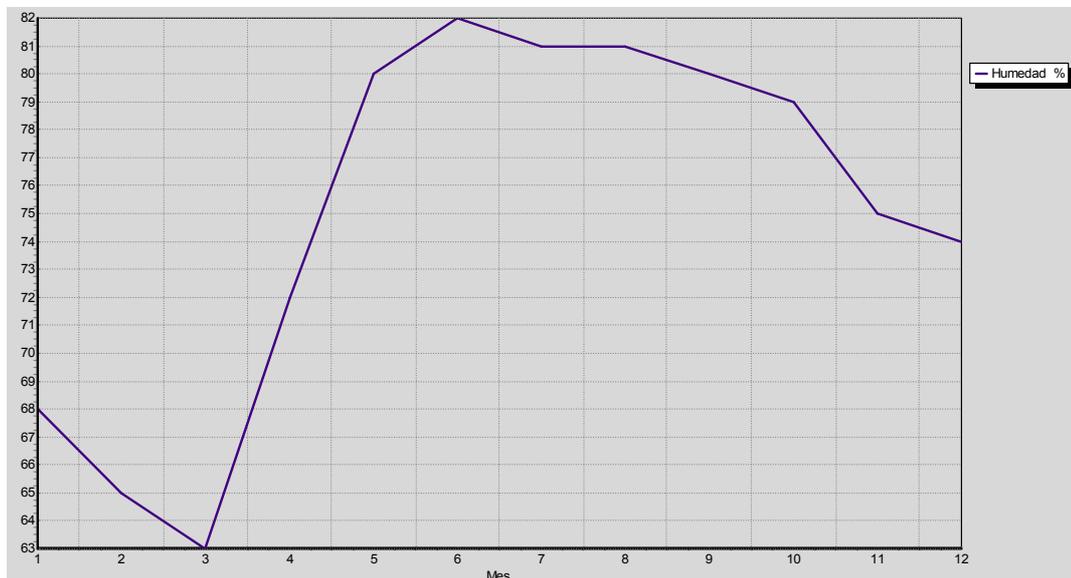
Gráfico Humedad (%), temperatura mínima y máxima:

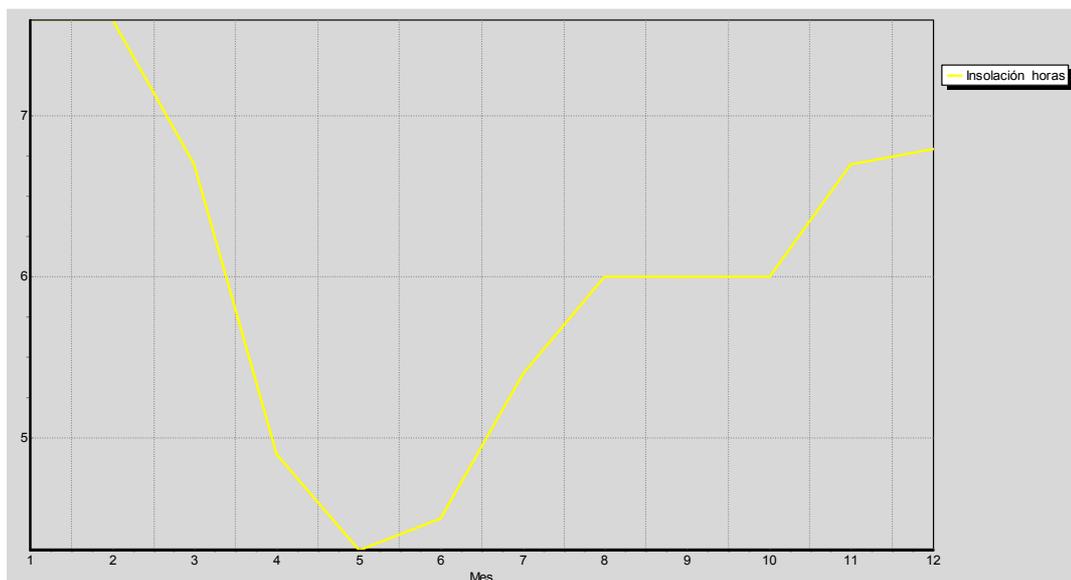
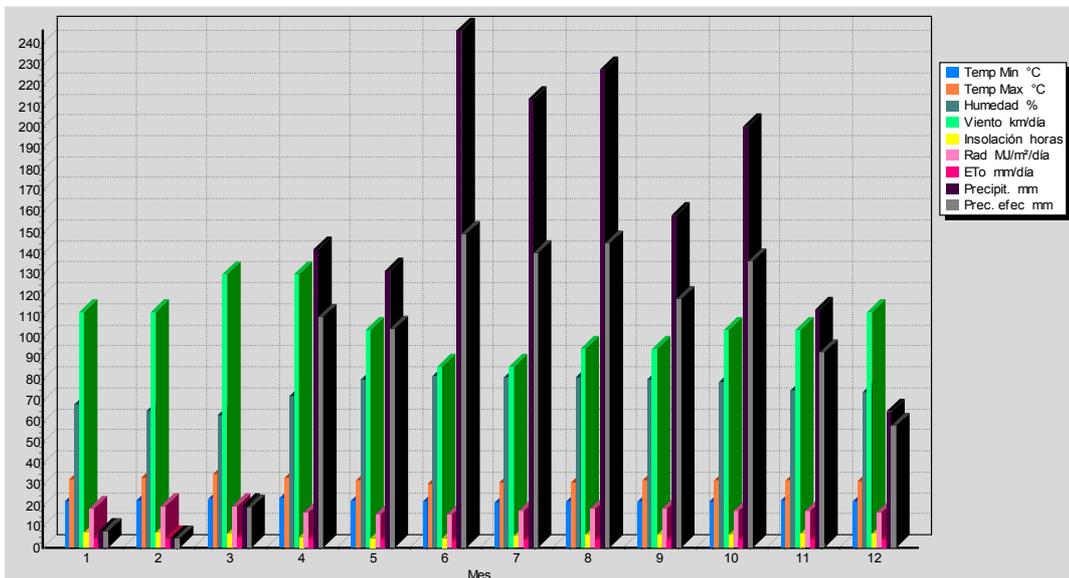
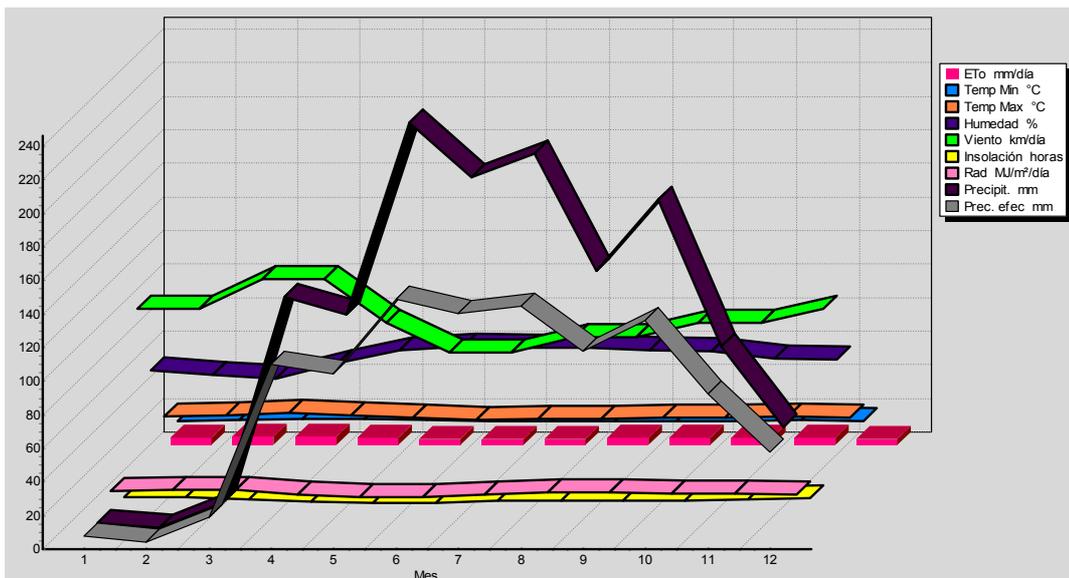
Gráfico velocidad del viento y radiación:

Gráfico resumen de factores climáticos (Cropwat 8.0):



**ANEXO D CAUDALES APLICADOS (AFORO) Y MEDICIONES DEL
CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL SUELO.**

Laminas de entrada y caudal del surco. (Determinación de caudal con aforador Parshall):

Tratamiento			Aforo (Aforador Parshall con W= 7,5 cm) (ha)	q(l/seg)	q(m3/ hora)	tr(hora)	eficiencia	largo del surco(m)	ancho (m)	Lamina(la mina= qsurcox (tr x efic)/(largo x ancho))*1	m3/ha
SURCOS ALTERNOS	1	44									860,8
		45	4	1,20	4,31	19,00	0,75	238,00	3,00	86,08	
		46									
	2	44									1217,1
		45	5	1,69	6,10	19,00	0,75	238,00	3,00	121,71	
		46									
PROMEDIO				2,89						207,78	2077,8
				1,45						103,89	1038,9
SURCOS CONTINUOS	3	74	4	1,20	4,31	25,00	0,75	238,00	1,50	226,52	2265,2
		75	3	0,77	2,76	25,00	0,75	238,00	1,50	144,94	1449,4
		76	4	1,20	4,31	25,00	0,75	238,00	1,50	226,52	2265,2
	4	74	5	1,69	6,10	25,00	0,75	238,00	1,50	320,28	3202,8
		75	4	1,20	4,31	25,00	0,75	238,00	1,50	226,52	2265,2
		76	4	1,20	4,31	25,00	0,75	238,00	1,50	226,52	2265,2
PROMEDIO				7,25	26,11					1371,29	13712,9
				1,21						228,55	2285,5

$$Q = 0,1393 \times \text{ha}^{1,5522}$$

Contenido de humedad en cada surco antes y después de cada riego expresada en Porcentaje (%).

PUNTO N°	N° SURCO	Profundidad (cm)	% de humedad inicial %W= mw/mss x 100	% de humedad al primer riego	% de humedad después del segundo riego	% de humedad antes del tercer riego	% de humedad después del tercer riego	
Surcos Alternos	1	44	0-20	16,32935478	20,50253684	16,98055271	26,81665735	28,78409091
			20-40	16,66922722	18,77816725	15,95427435	27,13462546	25,78779418
			40-60	14,52702703	17,58655576	10,14134276	24,00902669	24,26964168
	45	0-20	13,51851852	26,66611474	16,46601455	23,65323224	28,50844278	
		20-40	15,4190659	13,56181806	16,34012037	17,575	26,73553719	
		40-60	13,4439834	20,1891812	16,53204658	24,40782698	23,24895978	
	46	0-20	18,02946344	30,08966245	21,43504727	25,65831728	26,7493357	
		20-40	17,54975793	24,00357817	24,54490748	26,59355723	25,59335443	
		40-60	18,17352524	20,80145145	17,42792355	26,3590604	21,8586843	
Surcos Alternos	2	44	0-20	15,83954744	27,05002338	20,1961746	11,69573357	26,85808285
			20-40	15,50157612	18,23737536	17,24836748	39,92358079	20,58061172
			40-60	13,79604003	17,14447512	15,26868309	23,29958309	21,40188313
	45	0-20	19,59688502	26,54034896	17,44788209	25,97164304	32,00061275	
		20-40	16,85599541	22,27839843	16,7727487	20,26988501	26,45814639	
		40-60	24,33628319	21,06878498	7,52730493	23,58993202	25,98884381	
	46	0-20	19,74366799	20,22745735	15,68412059	9,565649867	30,35435703	
		20-40	19,22686451	22,43912393	15,52085761	25,93991891	27,50817199	
		40-60	15,75258988	21,48586243	14,7160225	21,44873917	15,91528959	
3	74	0-20	21,37561779	22,42360564	14,01927651	23,57249255	29,58465329	
Surcos Continuos		20-40	17,69891999	23,60361856	15,28594964	22,09014835	25,45454545	
40-60		14,46558095	26,02497514	6,485550673	18,22276113	20,03299876		

	75	0-20	23,24355972	16,48214564	16,20095125	23,13907933	27,22551929	
		20-40	17,01244813	17,44680851	18,03059954	21,26658827	24,50950337	
		40-60	15,54045707	22,07435108	14,77745905	19,97060265	20,42272127	
	76		19,69949917	26,04712042	17,74927596	21,17067284		
		0-20					46,05531836	
		20-40	19,69949917	26,04712042	17,74927596	21,17067284	23,4526699	
		40-60	15,48572859	19,54574951	14,02464066	19,98588816	20,09325986	
	4	74	0-20	16,83103934	21,51963284	15,16142215	16,92826192	30,78635884
	Surcos Continuos		20-40	18,88412017	23,46833637	10,40897278	20,78977933	21,94800301
40-60			14,92555092	20,26348291	9,787105237	25,33259424	20,55481777	
75		0-20	13,05739514	22,47632248	7,850834151	18,02503477	29,28208027	
		20-40	19,72871138	16,39382061	8,350877193	24,03846154	28,43618113	
		40-60	16,27447289	24,57987447	16,54015556	18,69699825	23,03860523	
76		0-20	13,77135093	27,56104154	11,65793751	17,30558598	30,79308817	
		20-40	18,70269234	26,59937658	12,61386139	24,03552844	27,32786701	
		40-60	18,2821815	25,55477281	14,05400248	23,03935121	22,96460879	

Contenido de humedad en cada surco antes y después de cada riego expresada en lámina (mm.).

PUNTO N°	N° SURCO	Profundidad (cm)	Cde H. en Lamina (mm)(Lamina inicial)	C de H. en Lamina (mm)(La Primer riego)	CH en Lamina (mm). Después del segundo Riego	CH en Lamina (mm)Antes del tercer riego	C de H en Lamina (mm). Después del tercer riego
1 Surcos Alternos	44	0-20	45,3956063	56,99705243	47,20593654	74,55030743	85,51010938
		20-40	45,67368259	51,45217827	43,71471173	74,34887376	74,61523418
		40-60	52,2972973	63,31160072	36,50883392	86,43249608	92,67822379
	45	0-20	37,58148148	74,13179899	45,77552044	65,75598563	83,80769936
		20-40	42,24824056	37,15938148	44,77192982	48,1555	76,37490847
		40-60	48,39834025	72,68105232	59,51536767	87,86817714	92,73184639
	46	0-20	50,12190837	83,6492616	59,58943142	71,33012203	82,7092801
		20-40	48,08633674	65,76980419	67,25304649	72,86634681	77,69681965
		40-60	65,42469086	74,88522521	62,74052478	94,89261745	90,37531276
2 Surcos Alternos	44	0-20	44,35073284	75,74006545	56,54928887	32,748054	81,66835626
		20-40	42,78435008	50,335156	47,60549426	110,189083	62,20553659
		40-60	49,38982329	61,37722092	54,66188546	83,41250744	84,30876581
	45	0-20	54,87127806	74,3129771	48,85406984	72,7206005	95,01413901
		20-40	46,52254733	61,48837968	46,29278642	55,94488264	78,34527525
		40-60	87,12389381	75,42625023	26,94775165	84,45195664	99,56003462
	46	0-20	55,28227037	56,63688058	43,91553765	26,78381963	90,3803229
		20-40	53,06614604	61,93198204	42,837567	71,59417619	81,61670942
		40-60	56,39427179	76,91938751	52,68336055	76,78648622	69,34184615
3 Surcos Continuos	74	0-20	55,1490939	57,85290255	36,16973338	60,81703078	83,36660464
		20-40	54,51267357	72,69914516	47,08072488	68,0376569	86,77083333
		40-60	50,62953332	91,08741297	22,69942735	63,77966395	80,20543406
	75	0-20	59,96838407	42,52393576	41,79845422	59,69882468	75,31052404
		20-40	52,39834025	53,73617021	55,53424658	65,50109189	82,60624071
		40-60	54,39159975	77,26022877	51,72110669	69,89710926	80,76235474
	76	0-20	50,82470785	67,20157068	45,79313198	54,62033591	123,732808
		20-40	47,69604407	60,2009085	43,19589322	61,55653554	79,14298336
		40-60	58,90863769	75,31871494	53,06497752	59,24891671	78,83271681
4 Surcos Continuos	74	0-20	46,83261803	58,2014742	25,8142525	51,55865273	80,24281297
		20-40	45,67218582	62,00625772	29,94854202	77,51773836	75,87511345
		40-60	45,1785872	77,76807577	27,16388616	62,36662031	79,68634739
	75	0-20	48,92720422	40,65667512	20,71017544	59,61538462	79,11159499
		20-40	49,79988705	75,21441587	50,61287602	57,21281465	92,1374624
		40-60	47,64887422	95,36120371	40,33646379	59,87732749	90,88606085
	76	0-20	46,38267701	65,96645391	31,28237624	59,60811053	82,47827945
		20-40	55,94347538	78,19760479	43,00524759	70,50041471	89,79163481
		40-60	51,94814065	80,62135922	18,56319036	65,55989041	88,05436953

MEDICIONES Y CALCULOS DE CONTENIDO DE HUMEDAD CON TDR

N° de muestra	Fecha	Met. Grav.	Mediciones TDR		
		% humedad	Estándar	Hi clay	Periodo
1	23/02/2008	13,71	60,1	42,1	3260
2	23/02/2008	28,26	54,2	38,4	3110
3	23/02/2008	16,62	41,9	30,1	2870
4	23/02/2008	15,94	41,9	30,1	2850
5	23/02/2008	15,90	55,7	39,1	3150
6	23/02/2008	15,70	62,5	44,1	3290
7	23/02/2008	19,37	59,6	42,1	3220
8	23/02/2008	20,69	84,1	58,3	3710
9	23/02/2008	16,35	74,3	52	3530
10	23/02/2008	18,13	39,5	28,1	2820
11	23/02/2008	16,38	76,8	53,7	3570
12	23/02/2008	14,82	79,2	55	3610
13	23/02/2008	16,78	38	27,1	2790
14	23/02/2008	16,05	70,4	49,4	3450
15	23/02/2008	8,67	69,9	48,7	3430
16	23/02/2008	15,50	41,4	29,5	2860
17	23/02/2008	15,15	86,1	59,6	3760
18	23/02/2008	14,21	77,8	54	3560
19	23/02/2008	14,28	46,8	31,1	2960
20	23/02/2008		86,6	60	3760

		14,99			
21	23/02/2008	8,48	68,4	48	3420
22	23/02/2008	15,38	60,1	42,1	3220
23	23/02/2008	16,36	81,1	61,6	3820
24	23/02/2008	14,37	86,1	57,6	3750
25	23/02/2008	16,28	46,3	32,8	2950
26	23/02/2008	13,93	81,2	53,3	3650
27	23/02/2008	14,47	83,2	58	3720
28	23/02/2008	11,66	27,7	20,5	2580
29	23/02/2008	10,63	67,5	46,7	3380
30	23/02/2008	9,34	49,8	35,4	3030
31	23/02/2008	10,60	49,8	35,4	3020
32	23/02/2008	15,55	53,2	37,4	3090
33	23/02/2008	12,22	64,5	45,4	3330
34	23/02/2008	12,77	47,8	33,8	2090
35	23/02/2008	13,77	66,5	46,4	3670
36	23/02/2008	7,90	52,7	37,4	3090
37	01/03/2008	22,83	56,2	39,7	3170
38	01/03/2008	22,87	66,5	46,4	3360
39	01/03/2008	20,66	53,1	37,4	3100
40	01/03/2008	20,35	34,1	24,2	2690
41	01/03/2008	16,90	37,5	26,5	2760
+++++					

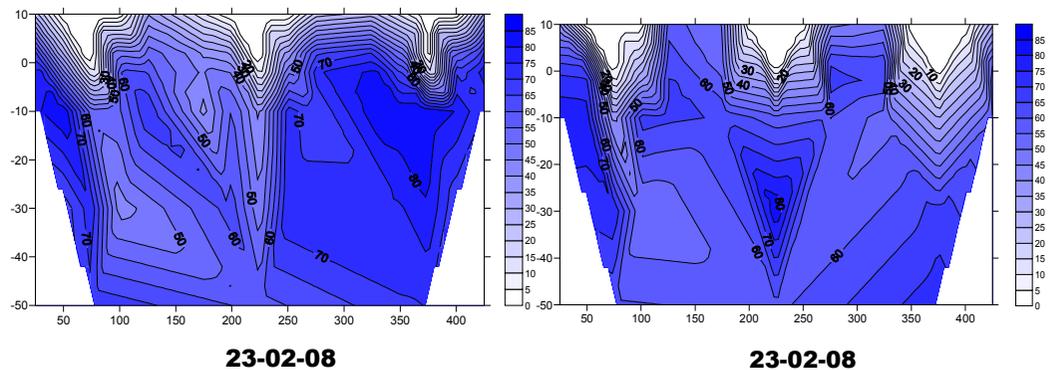
42	01/03/2008	20,90	40,9	28,8	2840
43	01/03/2008	21,73	68,9	48	3410
44	01/03/2008	28,52	84,6	58,3	3730
45	01/03/2008	21,85	77,8	54	3590
46	01/03/2008	11,97	45,9	32,4	2940
47	01/03/2008	29,60	85,6	59,3	3740
48	01/03/2008	20,37	84,6	58,6	3730
49	01/03/2008	22,66	46,3	32,8	2950
50	01/03/2008	18,13	74,8	52,3	3520
51	01/03/2008	20,17	68,4	47,4	3390
52	01/03/2008	17,49	30,6	22,2	2630
53	01/03/2008	21,70	79,7	55,3	3630
54	01/03/2008	18,95	92	63,3	3880
55	01/03/2008	20,58	48,3	34,1	2990
56	01/03/2008	19,25	81,2	56,3	3660
57	01/03/2008	16,52	64	45	3310
58	01/03/2008	20,20	22,8	16,5	2470
59	01/03/2008	18,62	80,2	55,7	3640
60	01/03/2008	17,91	79,2	55,3	3630
61	01/03/2008	18,79	41,4	29,8	2860
62	01/03/2008	17,25	91	63	3870
63	01/03/2008		71,4	50,4	3470

		15,96			
64	01/03/2008	18,47	39	27,8	2800
65	01/03/2008	21,52	89,5	62	3840
66	01/03/2008	16,61	66,5	46,4	3370
67	01/03/2008	20,88	22,8	17,2	2470
68	01/03/2008	17,62	90,5	62,3	2850
69	01/03/2008	16,42	82,7	57	3690
70	01/03/2008	20,56	57,6	40,4	3200
71	01/03/2008	19,96	91,5	63	2870
72	01/03/2008	17,40	74,8	66,1	3340

Coefficiente de correlación	
Estandar	0,102473167
Hi Clay	0,101279826
Periodo	0,091630435

FUENTE: Vargas, et al (2008)

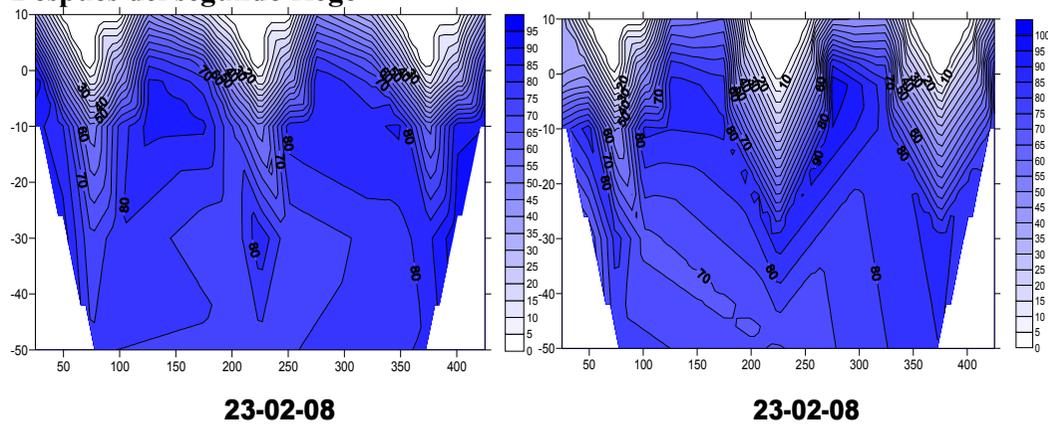
Perfiles de humedad en cada punto de muestreo (3 surcos en cada punto)



PUNTO 1

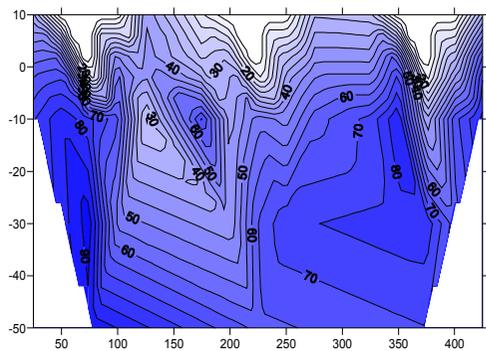
PUNTO 4

Después del segundo riego



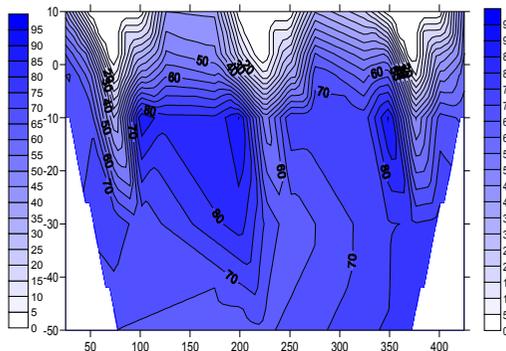
PUNTO 2

PUNTO 3



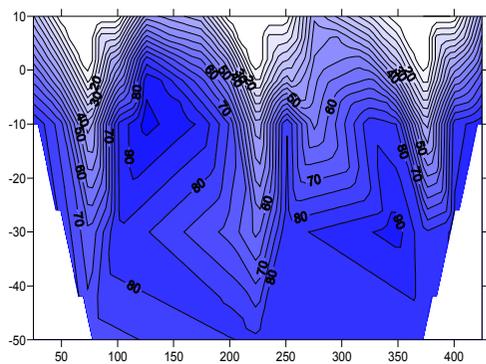
01-03-08

PUNTO 1
PUNTO 4



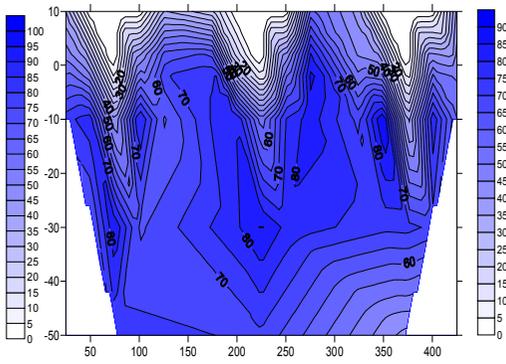
01-03-08

(ANTES DEL 3er RIEGO)



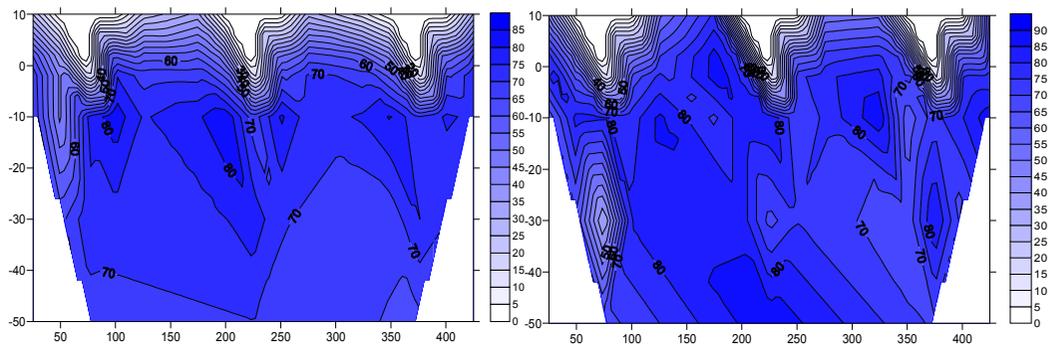
01-03-08

PUNTO 2



01-03-08

PUNTO 3

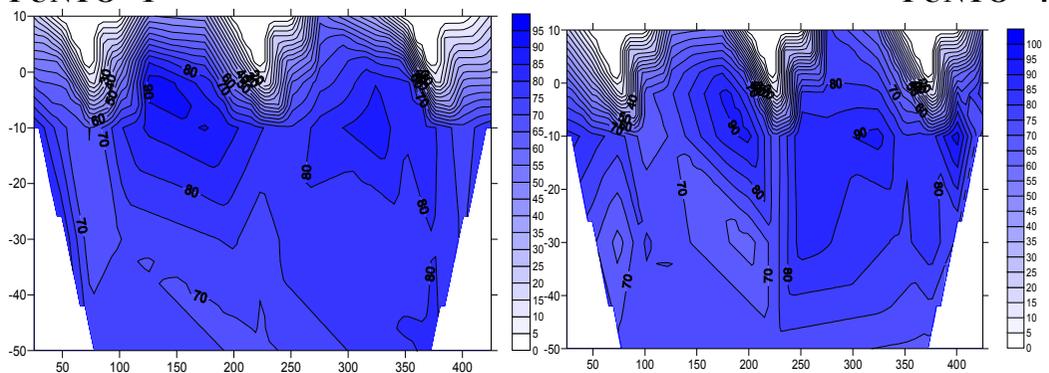


09-03-08

09-03-08

DESPUES DEL 3er RIEGO
PUNTO 1

PUNTO 4



09-03-08

09-03-08

ANEXO E CALCULOS DE EFICIENCIAS DE RIEGO

**ANEXO F MEDICIONES BIOMETRICAS Y DE PRODUCCIÓN DEL
CULTIVO**

MEDICIONES BIOMETRICAS

Fecha: 23/02/08

Agricultor: Fortunato Linares

Semana: # 1

Ubicación: Caserio Quebrada honda, San rafael de onoto Portuguesa

Punto	Nº Surco	Nº de Cepas	Nº de Tallo	Largo (cm)	Anch (cm)	Área Foliar cm2	Diametro del Tallo (cm)	Longitud del Tallo (cm)	Numero de Nudos
1	44	1	5	110	3	330	6,5	53	1
1	44	2	5	104	2,3	239,2	6	52	2
1	44	3	6	78	2,7	210,6	5,1	40	1
1	45	1	4	105	2,9	304,5	6	50	2
1	45	2	4	80	2,5	200	4,8	24	1
1	45	3	4	98	2,2	215,6	4,9	32	1
1	46	1	5	114	2,4	273,6	5,1	32	1
1	46	2	4	86	1,9	163,4	5,6	43	2
1	46	3	3	99	2,8	277,2	5,1	33	1
2	44	1	5	106	2,7	286,2	5,4	38,5	1
2	44	2	7	118	3,2	377,6	4,4	31	1
2	44	3	7	102	2,7	275,4	5,4	34,5	1
2	45	1	5	107	2,6	278,2	4,5	22	1
2	45	2	6	86	2,4	206,4	5,7	19	1
2	45	3	4	96	3	288	4,3	21	1
2	46	1	6	99	2,7	267,3	4,8	36,3	2
2	46	2	4	124	3,3	409,2	5,3	41	2
2	46	3	4	114	2,8	319,2	5,7	43,8	2
3	74	1	7	104	3,3	343,2	6,1	31	2
3	74	2	4	99	2,6	257,4	4,5	35,1	2
3	74	3	6	115	2,8	322	5,7	51,5	3
3	75	1	6	108	3,2	345,6	5,4	45	2
3	75	2	6	94	2,1	197,4	4,6	31,6	1
3	75	3	7	110	3	330	6,4	47,3	3
3	76	1	6	92	2	184	4,3	19,7	0
3	76	2	7	99	2,1	207,9	4,8	27,6	1
3	76	3	4	88	2,1	184,8	5,8	31,7	1
4	74	1	4	84	2,1	176,4	4,7	26	1
4	74	2	3	81	2,2	178,2	4,6	22,7	0
4	74	3	4	76	2,3	174,8	4,9	19,4	2
4	75	1	6	97	2,4	232,8	5,1	36,5	2
4	75	2	6	94	2,8	263,2	5,1	34,3	2
4	75	3	5	111	3	333	5,8	59,2	3

4	76	1	5	93	2,2	204,6	4,9	35	2
4	76	2	5	103	2,7	278,1	6,2	25	1
4	76	3	2	100	2,9	290	5,1	18	1

Fecha: 01/03/08

Semana: # 2

Punto	N° Surco	N° de Cepas	N° de Tallo	Largo (cm)	Anch (cm)	Área Foliar cm2	Diametro del Tallo (cm)	Longitud del Tallo (cm)	Numero de Nudos
1	44	1	5	111	3,2	355,2	7,2	67	1
1	44	2	5	108	2,2	237,6	7,4	61,5	2
1	44	3	6	80	2,9	232	6,8	53,5	1
1	45	1	4	105	2,9	304,5	7,1	54,5	2
1	45	2	4	80	2,5	200	5,1	31	1
1	45	3	4	100	2,5	250	5,5	41,5	1
1	46	1	5	120	2,4	288	5,9	43	1
1	46	2	4	87	2	174	6,2	57,5	2
1	46	3	3	100	2,9	290	5,8	44	1
2	44	1	5	107	2,8	299,6	5,9	45,5	1
2	44	2	7	120	3,2	384	5,1	35,2	1
2	44	3	7	102	2,7	275,4	6,3	39,9	1
2	45	1	5	107	2,6	278,2	5,2	24,7	1
2	45	2	6	87	2,5	217,5	6,4	26,5	1
2	45	3	4	98	3,2	313,6	5,8	37,1	1
2	46	1	6	100	2,8	280	6	43,9	2
2	46	2	4	125	3,5	437,5	6,1	52,5	2
2	46	3	4	115	2,9	333,5	6,6	51	2
3	74	1	7	104	3,5	364	6,8	33	2
3	74	2	4	100	2,6	260	5,2	35,5	2
3	74	3	6	115	2,9	333,5	6,3	58	3
3	75	1	6	109	3	327	6,1	49,2	2
3	75	2	6	95	2,5	237,5	5,2	40	1
3	75	3	7	111	3	333	6,9	59	3
3	76	1	6	95	2	190	5,3	40	0
3	76	2	7	100	2,5	250	5,7	34	1
3	76	3	4	92	2,3	211,6	6,9	34,7	1
4	74	1	4	86	2,4	206,4	5,4	32	1
4	74	2	3	83	2,4	199,2	5,6	33	0
4	74	3	4	78	2,3	179,4	5,8	22,2	2
4	75	1	6	98	2,5	245	5,9	45,8	2
4	75	2	6	96	2,8	268,8	6,1	39	2
4	75	3	5	112	3	336	6,4	55,7	3

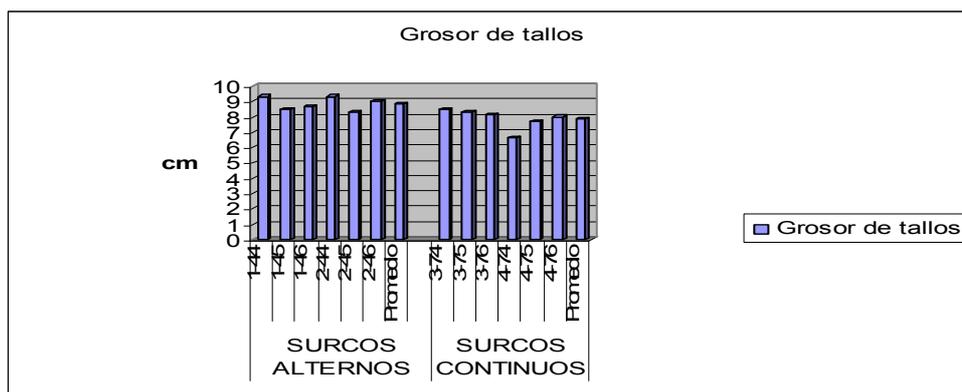
4	76	1	5	94	2,3	216,2	5,8	37,7	2
4	76	2	5	104	2,8	291,2	7,1	34,5	1
4	76	3	2	101	3	303	6,6	29	1

Fecha:09/03/2008

Semana: 3

Punto	Nº Surco	Nº de Cepas	Nº de Tallo	Largo (cm)	Anch (cm)	Área Foliar cm2	Perimetro del Tallo (cm)	Longitud del Tallo (cm)	Numero de Nudos
1	44	1	5	117	2,9	339,3	8,1	81	2
1	44	2	5	102	2,1	214,2	8,6	71	3
1	44	3	7	81	2,8	226,8	8	67	2
1	45	1	5	100	2,5	250	8,3	59	3
1	45	2	5	97	2,8	271,6	7,8	38	2
1	45	3	5	105	2,6	273	7,9	51	2
1	46	1	5	114	3	342	8	54	2
1	46	2	5	85	1,8	153	7,2	72	3
1	46	3	6	91	2,9	263,9	7	55	2
2	44	1	4	114	3,3	376,2	7	52,5	2
2	44	2	6	110	3,1	341	6,8	41,5	2
2	44	3	7	98	2,8	274,4	7,8	43,4	2
2	45	1	6	87	2,4	208,8	6,4	27,5	2
2	45	2	7	90	3	270	7,5	34	2
2	45	3	5	92	2,6	239,2	7	53,3	2
2	46	1	6	98	2,4	235,2	7,2	51,5	3
2	46	2	5	119	3,5	416,5	7,8	64	3
2	46	3	4	106	2,7	286,2	7,9	56,3	3
3	74	1	8	108	2,9	313,2	7,9	36	3
3	74	2	6	100	3,4	340	6,4	36	3
3	74	3	6	78	3	234	7,2	64,4	4
3	75	1	6	95	2,3	218,5	7	51,5	3
3	75	2	6	103	2,7	278,1	6,9	49,3	2
3	75	3	7	113	3,3	372,9	8	70,5	4
3	76	1	7	118	2,7	318,6	6,4	60,2	1
3	76	2	7	95	3,1	294,5	6,9	41,7	2
3	76	3	5	94	2,9	272,6	7,6	37,7	2
4	74	1	4	109	3,6	392,4	6,2	39	2
4	74	2	3	87	2,8	243,6	6,8	43,5	1
4	74	3	5	102	2,4	244,8	6,4	25	3
4	75	1	6	109	3,1	337,9	6,9	55,2	3
4	75	2	6	106	2,6	275,6	7,2	42	3

4	75	3	5	121	3	363	7,2	72,2	4
4	76	1	6	106	2,8	296,8	6,9	40,5	3
4	76	2	5	127	2,7	342,9	8,3	44	2
4	76	3	3	107	2,2	235,4	7,9	40	2



Estimación de cosecha.

Estimación de Cosecha		
	PUNTO N° - SURCO	Kg/ha (A x B)
SURCOS ALTERNOS	1-44	95
	1-45	139
	1-46	106
	2-44	138
	2-45	146
	2-46	124
	Promedio	
SURCOS CONTINUOS	3-74	115
	3-75	130
	3-76	99
	4-74	75
	4-75	67
	4-76	71
	Promedio	

ANEXO G ANALISIS DE SUELO

Análisis de suelo (resultado de laboratorio)



UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES
"EZEQUIEL ZAMORA"
VICE-RECTORADO DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
LABORATORIO DE ANALISIS Y PROCESAMIENTO DE SUELOS

ANALISIS DE RUTINA

Id:	711	Propietario	FORTUNATO LINARES
Finca:	PARCELA 2D-18	Estado:	PORTUGUESA
Municipio:	SAN RAFAEL DE ONOTO	Localidad:	QUEBRADA HONDA
N° Lab:	31415	31416	31417
Ident Muestra:	PUNTO 1	PUNTO 1	PUNTO 1
Cultivo:	CAÑA DE AZÚCAR	CAÑA DE AZÚCAR	CAÑA DE AZÚCAR
Prof (cm):	0-20	20-40	40-60
pH (Rel 1:2):	7,3	7,2	7,6
Cond Elect (dS/m):			
Mat Org (%):	2,46	1,46	0,55
Fosforo (ppm):	16	TRAZAS	TRAZAS
Potasio (ppm):	75	50	30
Calcio (ppm):	3900	2750	1950
Magnesio (ppm):	375	300	275
Al Inter (meq/100gr)			
Textura:	A	A	A
Arena (%):	4,40	4,40	5,60
Arcilla (%):	59,6	63,6	69,6
Limo (%):	36,0	32,0	24,8

Metodos: Materia Organica: Walkley-Black; Sales Solubles: Conductividad Electrica: Fosforo: Olsen o Bray; Potasio, Acetato de Amonio-fotometria de llama: Calcio y Magnesio: Acetato de Amonio pH7-Absorción Atomica: Aluminio Intercambiable: KCL 1N; Textura Bouyuco.

30/07/2008 05:01:51 p.m.



Prof. Ricardo Orellana
Coordinador de Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES
"EZEQUIEL ZAMORA"
VICE-RECTORADO DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
LABORATORIO DE ANALISIS Y PROCESAMIENTO DE SUELOS

ANALISIS DE RUTINA

Id:	712	Propietario	FORTUNATO LINARES
Finca:	PARCELA 2D-18	Estado:	PORTUGUESA
Municipio	SAN RAFAEL DE ONOTO	Localidad:	QUEBRADA HONDA
Nº Lab:	31418	31419	31420
Ident Muestra:	PUNTO 2	PUNTO 2	PUNTO 2
Cultivo:	CAÑA DE AZÚCAR	CAÑA DE AZÚCAR	CAÑA DE AZÚCAR
Prof (cm):	0-20	20-40	40-60
pH (Rel 1:2):	7,2	7,4	7,7
Cond Elect (dS/m):			
Mat Org (%):	2,56	1,38	0,91
Fosforo (ppm):	9	TRAZAS	TRAZAS
Potasio (ppm):	45	35	20
Calcio (ppm):	3175	2600	2000
Magnesio (ppm):	375	400	300
Al Inter (meq/100gr)			
Textura:	A	A	A
Arena (%):	8,40	2,40	4,40
Arcilla (%):	53,6	63,6	59,6
Limo (%):	38,0	34,0	36,0

Metodos: Materia Organica: Walkley-Black; Sales Solubles: Conductividad Electrica: Fosforo: Olsen o Bray; Potasio, Acetato de Amonio-fotometria de llama: Calcio y Magnesio: Acetato de Amonio pH7-Absorción Atomica: Aluminio Intercambiable: KCL 1N: Textura Bouyuco.

30/07/2008 08:27:31 a.m.



Prof. Ricardo Orellana
Coordinador de Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES
"EZEQUIEL ZAMORA"
VICE-RECTORADO DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
LABORATORIO DE ANALISIS Y PROCESAMIENTO DE SUELOS

ANALISIS DE RUTINA

Id:	713	Propietario:	FORTUNATO LINARES
Finca:	PARCELA 2D-18	Estado:	PORTUGUESA
Municipio:	SAN RAFAEL DE ONOTO	Localidad:	QUEBRADA HONDA
Nº Lab:	31421	31422	31423
Ident Muestra:	PUNTO 3	PUNTO 3	PUNTO 3
Cultivo:	CAÑA DE AZÚCAR	CAÑA DE AZÚCAR	CAÑA DE AZÚCAR
Prof (cm):	0-20	20-40	40-60
pH (Rel 1:2):	7,4	7,9	8,0
Cond Elect (dS/m):			
Mat Org (%):	2,24	0,95	0,43
Fosforo (ppm):	TRAZAS	TRAZAS	TRAZAS
Potasio (ppm):	65	30	20
Calcio (ppm):	3375	4000	3500
Magnesio (ppm):	550	425	300
Al Inter (meq/100gr)			
Textura:	A	A	A
Arena (%):	4,40	4,40	4,40
Arcilla (%):	63,6	61,6	55,6
Limo (%):	32,0	34,0	38,0

Metodos: Materia Organica: Walkey-Black; Sales Solubles: Conductividad Electrica: Fosforo: Olsen o Bray; Potasio, Acetato de Amonio-fotometria de llama: Calcio y Magnesio: Acetato de Amonio pH7- Absorción Atomica: Aluminio Intercambiable: KCL IN: Textura Bouyuco.

30/07/2008 08:27:31 a.m.



Prof. Ricardo Orellana
Coordinador de Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES
"EZEQUIEL ZAMORA"
VICE-RECTORADO DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
LABORATORIO DE ANALISIS Y PROCESAMIENTO DE SUELOS

ANALISIS DE RUTINA

Id:	714	Propietario	FORTUNATO LINARES
Finca:	PARCELA 2D-18	Estado:	PORTUGUESA
Municipio	SAN RAFAEL DE ONOTO	Localidad:	QUEBRADA HONDA
N° Lab:	31424	31425	31426
Ident Muestra:	PUNTO 4	PUNTO 4	PUNTO 4
Cultivo:	CAÑA DE AZÚCAR	CAÑA DE AZÚCAR	CAÑA DE AZÚCAR
Prof (cm):	0-20	20-40	40-60
pH (Rel 1:2):	7,7	7,6	7,7
Cond Elect (dS/m):			
Mat Org (%):	1,88	1,84	1,03
Fosforo (ppm):	TRAZAS	TRAZAS	TRAZAS
Potasio (ppm):	65	45	20
Calcio (ppm):	3500	5000	5125
Magnesio (ppm):	575	625	400
Al Inter (meq/100gr)			
Textura:	A	A	AL
Arena (%):	14,4	0,40	4,40
Arcilla (%):	55,6	63,6	53,6
Limo (%):	30,0	36,0	42,0

Metodos: Materia Organica: Walkey-Black; Sales Solubles: Conductividad Electrica: Fosforo: Olsen o Bray; Potasio, Acetato de Amonio-fotometria de llama: Calcio y Magnesio: Acetato de Amonio pH7-Absorción Atomica: Aluminio Intercambiable: KCL IN: Textura Bouyuco.

30/07/2008 08:27:31 a.m.



Prof. Ricardo Orellana
Coordinador de Laboratorio

ANEXO H OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

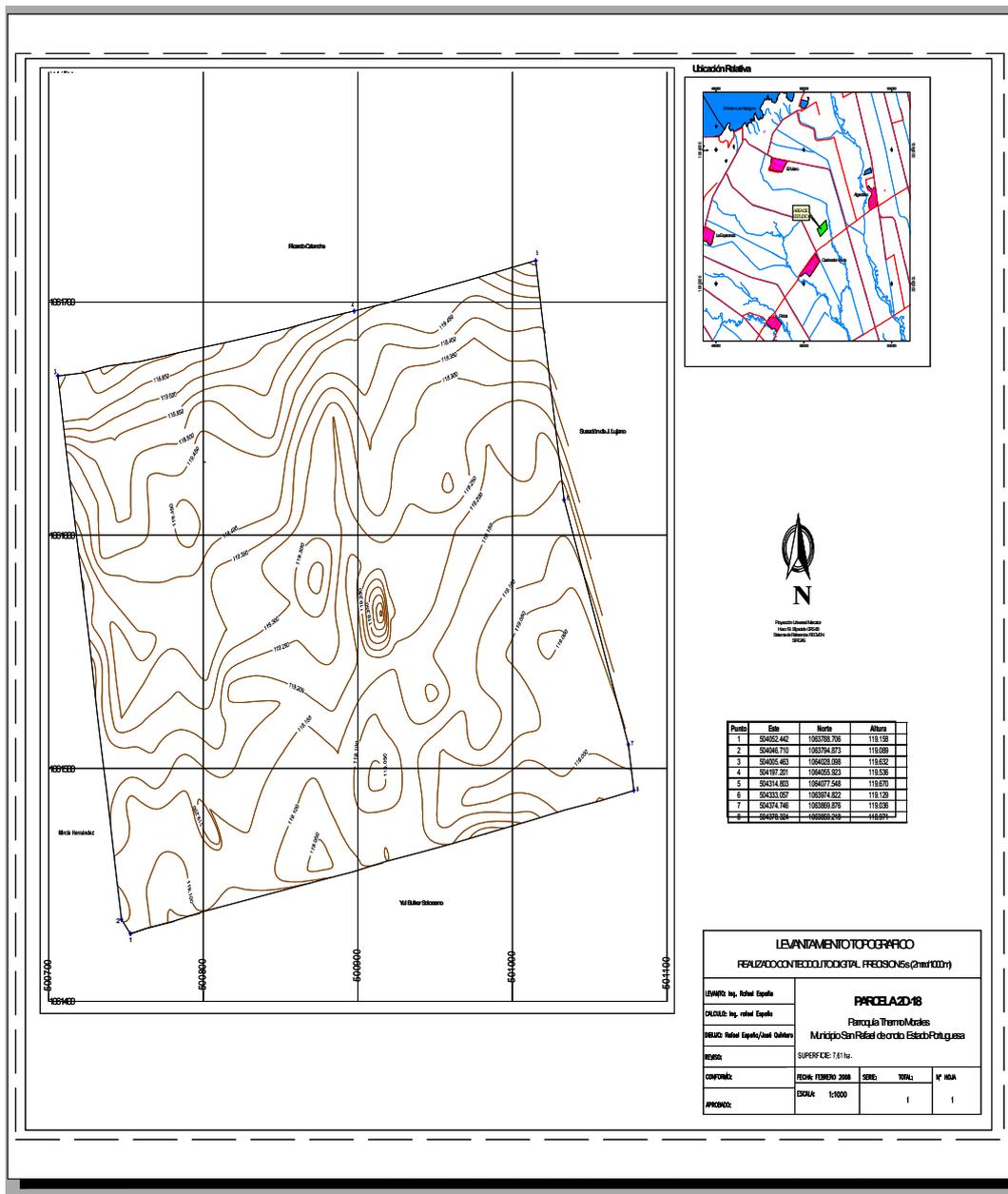
Título de la Investigación: El Riego por surcos alternos como alternativa para el uso eficiente del agua en el cultivo de caña de azúcar.

OBJETIVO ESPECIFICO	VARIABLES	DIMENSION (ES)	INDICADORES
Determinar las condiciones de producción de la zona de estudio.	Condiciones de producción	Área total sembrada, área promedio por parcela, rendimientos obtenidos Nivel de productividad, comparado con el potencial de la zona y/o promedio del estado	Nº de has sembradas Nº de ha por parcela Tn/ha. Productividad baja, media o alta.
Determinar requerimientos hídricos del cultivo en base a los datos climatológicos para la zona.	Requerimientos hídricos del cultivo.	Precipitación Evaporación Evapotranspiración	mm/día mm/día mm/periodo.
Medir la infiltración de agua en el suelo, la acumulación de humedad en el suelo, el gasto, el consumo de agua por el cultivo y la eficiencia de la mano de obra, antes y después de cada riego, en una parcela regada por surcos alternos en otra regada por surcos continuos (método	Infiltración, Acumulación de humedad en el suelo, Consumo de agua. Gasto Eficiencia de mano de obra	Tiempo de infiltración. Lámina acumulada. Caudales Volumen/ha Rendimiento del regador	mm/min mm m3/seg. m3/ha. Horas/hombre.

tradicional).			
Determinar el desarrollo biométrico de la caña de azúcar y la producción en toneladas/ha en la parcela de riego por surcos alternos y en la de surcos continuos.	Desarrollo biométrico del cultivo	Longitud de entrenudos. Grosor del tallo. Cantidad de tallos/cepa. Peso promedio del tallo. Área foliar. Producción por ha.	cm. cm. N° de tallos/cepa gr. 2 cm. Tn/ha
Relación beneficio/costo de la producción de caña para cada la parcela de riego por surcos alternos y para la de surcos continuos	Análisis agro económico de la producción de caña	Rentabilidad	(BsF/BsF)

ANEXO I TOPOGRAFIA DE LA PARCELA

Plano topográfico (curvas a nivel)



ANEXO J RESUMEN FOTOGRAFICO



Figura 5. Aspecto general de la parcela 2D- 18 antes de aplicar el riego, sembrada en surcos.



Figura 6. Toma de muestra de suelos en parcela 2D-18 cultivada con caña de azúcar.



Figura 7. Procesamiento de muestras de suelo para determinación de humedad gravimétrica



Figura 8. Pesaje de las muestras en laboratorio de UNELLEZ Guanare.



Figura 9Sonda TDR para determinación de contenido de humedad en suelo.



Figura 10Levantamiento topográfico en parcela 2D-18



Figura 11. Canales conductores secundarios par el agua de riego.



Figura 12. Riego por surcos alternos en el cultivo de caña de azúcar en primeras etapas de desarrollo del cultivo.



Figura 13. Riego por surcos continuos en caña de azúcar en etapa de crecimiento del cultivo.



Figura 14. Muestreo para determinación de contenido de humedad en el suelo con uso de sonda TDR, en etapa de crecimiento del cultivo.



Figura 15. Aspecto de la medición del contenido de humedad en el suelo con uso de sonda TDR a profundidad de 0-40 y 0-60cm.