

Universidad Nacional Experimental  
de los Llanos Occidentales  
"EZEQUIEL ZAMORA"



LA UNIVERSIDAD QUE SIEMBRA

VICERRECTORADO  
DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA  
ESTADO PORTUGUESA

COORDINACIÓN  
ÁREA DE POSTGRADO

**VALIDACIÓN DEL MODELO CROPWAT  
EN SUELO INCEPTÍPOL  
BAJO CULTIVO COMERCIAL  
DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*).**

**Autor:** José Gabriel Vargas G.

**Tutor:** José A. Guerrero

Guanare, octubre de 2015

**Universidad Nacional Experimental  
de los Llanos Occidentales  
“EZEQUIEL ZAMORA”**



La Universidad que siembra

**Vicerrectorado de Producción Agrícola  
Coordinación de Área de Postgrado  
Postgrado Manejo de los Recursos Agua y Suelo**

**VALIDACIÓN DEL MODELO CROPWAT  
EN SUELO INCEPTÍSOL BAJO CULTIVO COMERCIAL  
DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*)**

**Requisito parcial para optar al grado de  
*Magister Scientiarum***

**AUTOR:** José Gabriel Vargas González

**C.I:** v.-13.520.870

**TUTOR:** José A. Guerrero

Guanare, octubre de 2015

## APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo JOSÉ ANTIQUIANO GERRERO, cédula de identidad Nº 9.251.966, en mi carácter de tutor del Trabajo de Grado titulado: VALIDACIÓN DEL MODELO CROPWAT EN SUELO INCEPTÍSOL BAJO CULTIVO COMERCIAL DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*), presentado por el ciudadano JOSÉ GABRIEL VARGAS GONZÁLEZ, para optar al título de MAGISTER SCIENTIARUM EN MANEJO DE LOS RECURSOS AGUA Y SUELO por medio de la presente certifico que he leído el trabajo y considero que reúne las condiciones necesarias para ser defendido y evaluado por el jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Guanare, a los 01 días del mes de junio del año 2015.

**Nombre y Apellido:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
**Firma de Aprobación del tutor**

**Fecha de entrega:** \_\_\_\_\_

## ÍNDICE GENERAL

<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>viii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>x</b>
<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I.- FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>3</b>
1.1.- Formulación del problema.....	3
1.2.- Importancia de la investigación.....	4
1.3.- Objetivo general.....	5
1.4.- Objetivos específicos .....	5
<b>CAPÍTULO II.- DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>6</b>
2.1.- Bases conceptuales o teóricas preliminares.....	6
2.1.1.- Suelos <i>Inceptisoles</i> ; descripción general.....	6
2.1.2.- Descripción general del modelo <i>CropWat</i> .....	6
2.1.3.- Aceptación del método <i>P-M</i> para el cálculo de la <i>ET<sub>o</sub></i> .....	7
2.1.4.- Importancia de los parámetros edáficos en el cálculo de la <i>ET<sub>o</sub></i> .....	8
2.1.5.- Bases Legales .....	9
<b>CAPÍTULO III.- MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>10</b>
3.1.- Métodos de la investigación.....	10
3.1.1.- Área de Estudio.....	10
3.1.1.1.- Ubicación y zona de vida ( <i>HOLDRIDGE</i> ).....	10
3.1.1.2.- Condiciones morfológicas de los suelos .....	11
3.1.1.3.- Condiciones climáticas .....	11
3.1.2.- Tipo de estudio .....	12
3.1.3.- Población y muestra.....	12
3.1.4.- Métodos de recolección de la información edafoclimática .....	12
3.1.5.- Procedimientos para recolección de la información .....	13

3.1.6.- Plan de tabulación y análisis.....	18
<b>CAPÍTULO IV.- ANÁLISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS .....</b>	<b>19</b>
4.1.- Información edafoclimática.....	19
4.1.1.- Datos meteorológicos; estación ANVC .....	19
4.1.2.- Análisis de integridad de datos pluviométricos; finca Las Brujitas .....	19
4.1.3.- Balance hídrico edáfico.....	23
4.1.4.- Muestreo de suelo .....	24
4.2.- Modelo digital de terreno del área de estudio .....	25
4.3.- Análisis de la información requerida por <i>CW8</i> .....	26
4.3.1.- Precipitación efectiva .....	26
4.3.2.- Eficiencia del riego.....	29
4.3.3.- Módulo de suelo .....	30
4.3.3.1.- Humedad del suelo disponible total (ADT).....	30
4.3.3.2.- Profundidad radical máxima (PRM) .....	31
4.3.3.3.- Tasa máxima de infiltración (TMI).....	32
4.4.- Calendarios de riego.....	32
4.5.- Efecto de los calendarios de riego .....	34
4.5.1.- Periodos inter riego (PIR).....	34
4.5.2.- Láminas aplicadas y caudal o gasto .....	37
4.5.2.1.- Láminas aplicadas .....	37
4.5.2.2.- Caudal o gasto.....	40
4.5.3.- Mediciones biométricas y producción estimada.....	44
4.5.3.1.- Mediciones biométricas.....	44
4.5.3.2.- Producción estimada.....	47
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>49</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>51</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....</b>	<b>52</b>
ANEXO A.- Registros de precipitación diaria-anual; finca Las Brujitas. ....	57
ANEXO B.- Registros climáticos mensual-anual; Aeropuerto Nacional Virgen de Coromoto .....	61
ANEXO C.- Cálculos de la tasa máxima de infiltración (TMI) .....	65

ANEXO D.- Resumen de los calendarios por tratamiento .....	66
ANEXO E.- Fecha, tiempo y gasto del riego en T <sub>3</sub> .....	67
ANEXO F.- Registro de mediciones biométricas .....	68
ANEXO G.- Sección transversal y área del canal de distribución.....	71
ANEXO H.- ANDEVA para Periodos Inter Riego.....	71
ANEXO I.- ANDEVA para Lámina bruta.....	71
ANEXO J.- ANDEVA para déficit y excesos en las láminas aplicadas .....	72
ANEXO K.- ANDEVA para Longitud entre Nudos.....	72
ANEXO L.- ANDEVA para Diámetro del Tallo.....	72
ANEXO M.- Galería fotográfica.....	73

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.- Parámetros físicos del suelo a ser determinados.....	13
Tabla 2.- Control químico de malezas. ....	15
Tabla 3.- Información básica requerida por el modelo <i>CW8</i> . ....	17
Tabla 4.- Intervalos de tiempo para datos climáticos.....	19
Tabla 5.- Aspectos considerados en el control de calidad de datos climáticos. ....	20
Tabla 6.- Datos de precipitación finca Las Brujitas (en mm). ....	21
Tabla 7.- Análisis estadístico para integridad de datos pluviométricos (en mm). ....	21
Tabla 8.- Valores poco probables de precipitación mensual; finca Las Brujitas. ....	22
Tabla 9.- Balance hídrico edáfico; ANVC. ....	23
Tabla 10.- Parámetros físicos del suelo.....	25
Tabla 11.- Análisis matemático de los métodos F-FAO, F-Emp y USDA. ....	27
Tabla 12.- Eficiencias parciales y global del riego, finca Las Brujitas. ....	29
Tabla 13.- Calendario de riego para $T_0$ .....	33
Tabla 14.- Calendario de riego para $T_1$ .....	33
Tabla 15.- Calendario de riego para $T_2$ .....	34
Tabla 16.- Ejecución del riego en $T_3$ .....	34
Tabla 17.- Edad del cultivo y periodos inter-riego por tratamiento. ....	35
Tabla 18.- Promedios de PIR y prueba de comparación de medias (Tukey; $P < 0,05$ )	37
Tabla 19.- Norma bruta (lamina bruta) para cada tratamiento.....	38
Tabla 20.- Promedios de la Lamina bruta y prueba de comparación de medias (Tukey; $P < 0,05$ ) .....	39
Tabla 21.- Contribución del riego expresado en Lámina neta ( $L_n$ ) y porcentaje. ....	40
Tabla 22.- Valores de caudal calculados ( <i>CW8</i> ) y reales aplicados.....	41
Tabla 23.- Déficit y excesos en la lámina aplicada. ....	41
Tabla 24.- Caudales y tiempos de riego sugeridos por tratamiento. ....	44
Tabla 25.- Promedios de longitud entre nudos y diámetro del tallo. ....	45
Tabla 26.- Longitud entre nudos y diámetro del tallo en cosecha. ....	47
Tabla 27.- Producción estimada y porcentaje de pérdidas. ....	48

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 .- Ubicación relativa del área de estudio.....	10
Figura 2.- Ubicación espacial de tratamientos y aforadores. ....	14
Figura 3.- Clima Diagrama (1970-2003); ANVC. ....	24
Figura 4.- Diagrama de déficits y excesos de precipitaciones. ....	24
Figura 5.- Curvas de nivel y orientación de los surcos. ....	26
Figura 6.- Curvas de la fracción de lluvia efectiva; métodos F-FAO, F-Emp y USDA...	28
Figura 7.- Variación de los periodos inter riego. ....	36
Figura 8.- Déficit y excesos de las láminas aplicadas en T <sub>1</sub> . ....	42
Figura 9.- Déficit y excesos de las láminas aplicadas en T <sub>2</sub> . ....	42
Figura 10.- Déficit y excesos de las láminas aplicadas en T <sub>3</sub> . ....	43
Figura 11.- Tendencias de crecimiento de la longitud entre nudos.....	45
Figura 12.- Tendencia de crecimiento de diámetro del tallo.....	46

UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DE LOS LLANOS  
OCCIDENTALES “EZEQUIEL ZAMORA”  
VICERRECTORADO DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA  
COORDINACIÓN DE ÁREA DE POSTGRADO  
MAESTRÍA MANEJO DE LOS RECURSOS AGUA Y SUELO

**VALIDACIÓN DEL MODELO CROPWAT  
EN SUELO INCEPTÍ SOL BAJO CULTIVO COMERCIAL  
DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*)**

**AUTOR:** José Gabriel Vargas González

**TUTOR:** José A. Guerrero

**AÑO:** 2015

**RESUMEN**

Para validar el uso del modelo predictivo *CropWat v-8.0 (CW8)* en suelo *Inceptisol* bajo cultivo comercial de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), se evaluaron los tratamientos:  $T_0$  = Riego con frecuencia fija (11 días) y lamina variable;  $T_1$  = Calendario de riego *CW8* con datos climáticos de fuente oficial y datos edáficos *in situ*;  $T_2$  = Calendario de riego *CW8* con registros pluviométricos de la finca Las Brujitas, resto de la información climática de fuente oficial y datos edáficos *in situ*;  $T_3$  = Riego según criterios del productor. Los periodos inter-riego (PIR) prolongados están relacionados con un bajo coeficiente de cultivo (0,5) en la etapa inicial. Los valores de Lámina neta revelan similitud entre  $T_0$ ;  $T_1$  y  $T_2$ , con aportes de los requerimientos totales de riego de 94,5%; 97,6% y 97,6%, respectivamente, mientras que  $T_3$  aportó solo 63%. Los valores de caudal calculados son inferiores a los aplicados, lo cual evidencia subestimación por parte de *CW8*, a tales efectos, se sugiere aplicar caudales de entre 0,85 y 1,00 l s<sup>-1</sup> en surco, y aumentar los tiempos de riego en función de la infiltración, ya que *CW8* no proporciona esta información. La producción estimada fue superior al promedio general de la finca (43,37 TM ha<sup>-1</sup>) en todos los tratamientos, lo que sugiere posibilidad de incrementos productivos en estos suelos con el manejo del riego. Sin embargo, esta se vio afectada por el diámetro del tallo, el cual está influenciado por los PIR prolongados, lo que ocasionó su escaso desarrollo, debido al estrés por déficit hídrico, cuya recuperación fue lenta, no así por la longitud entre nudos. Se concluye, que la programación del riego a través de *CW8* en suelo *Inceptisol* bajo cultivo comercial de caña de azúcar, es viable en cuanto se consideren los aspectos descritos en este trabajo.

**Palabras clave:** Validación, *CropWat*, calendario de riego, cultivo comercial de caña de azúcar.

UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DE LOS LLANOS  
OCCIDENTALES “EZEQUIEL ZAMORA”  
VICERRECTORADO DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA  
COORDINACIÓN DE ÁREA DE POSTGRADO  
MAESTRÍA MANEJO DE LOS RECURSOS AGUA Y SUELO

**MODEL VALIDATION CROPWAT  
IN SOIL *INCEPTISOL* UNDER COMMERCIAL CROP  
SUGAR CANE (*Saccharum officinarum*)**

**AUTHOR:** José Gabriel Vargas González

**TUTOR:** José A. Guerrero

**YEAR:** 2015

**ABSTRACT**

To validate the use of predictive model *CropWat v-8.0 (CW8)* in soil *Inceptisol* under commercial cultivation sugarcane (*Saccharum officinarum*), the treatments were evaluated:  $T_0$  = Irrigation fixed frequency (11 days) and varying lamina;  $T_1$  = Calendar irrigation *CW8* with official source of weather data and *in situ* soil data;  $T_2$  = Calendar *CW8* irrigation with rainfall records of the farm The Brujitas, other climate information from official sources and *in situ* soil data;  $T_3$  = Irrigation according to criteria of the producer. The inter-irrigation periods (PIR) prolonged are related to low crop coefficient (0,5) in the initial stage. Print net values show similarity between  $T_0$ ;  $T_1$  and  $T_2$ , with contributions of total irrigation requirements of 94,5%; 97,6% and 97,6%, respectively, while only 63%  $T_3$  provided. The calculated flow values are lower than those, which shows underestimation by *CW8*, to that end, it is suggested to apply flow rates between 0,85 and 1,00 l s<sup>-1</sup> groove, and increase irrigation times depending infiltration, as *CW8* not provide this information. The estimated production was higher than the overall average of the farm (43,37 ha<sup>-1</sup> TM) in all treatments, suggesting possibility of production increases in these soils with irrigation management. However, this was affected by the diameter of the stem, which is influenced by the prolonged PIR, which caused its underdevelopment due to water stress, the recovery was slow, but not by the length between nodes. It is concluded, that irrigation scheduling through *CW8* in soil *Inceptisol* under commercial cultivation of sugar cane, is viable considered feasible as the aspects described in this work.

**Key words:** Validation, *CropWat*, irrigation scheduling, commercial crop sugar cane.

## INTRODUCCION

En algunos países, la agricultura es la actividad que demanda más agua (Martelo, 1989), llegando a representar más del 85% del consumo total y agravado por una muy baja eficiencia global del 30 al 40%. Así mismo, Aldaya *et al.* (2008) advirtieron que el consumo total de agua dulce (agua de regadío) alcanzó alrededor del 70% y estimaron que estas cifras pueden ser mayores en países áridos y semiáridos.

De acuerdo con Nuñez *et al.* (2009), Venezuela cuenta con una superficie potencial para riego de 1.700.000 ha, de las cuales unas 570.219 ha (33,54%) están en esta condición. Por otra parte, en el año 2013 fueron cosechadas unas 129.429 ha de caña de azúcar, según datos reportados por FEDEAGRO (2015), lo que representó un 22,70% del área total bajo riego. No obstante, el riego debe cubrir entre 300 y 600 mm de la demanda total de agua de la caña de azúcar que oscila entre los 1.683 y los 1.880 mm anuales (Guntín *et al.*, 2005), lo que supone un requerimiento total anual de entre 388.287.000 y 776.574.000 m<sup>3</sup> de agua para riego a nivel nacional, solo para el cultivo de la caña de azúcar, pero si consideramos las bajas eficiencias globales, estas cifras pueden aumentar significativamente.

No obstante, Pérez y Terán (1980) previeron que el riego en la agricultura no debe significar el uso de grandes cantidades de agua, sino más bien la optimización del uso de la misma a través del estudio de diferentes frecuencias y láminas aplicadas. Del mismo modo, Martelo (1989) propuso que los trabajos de investigación deben ser orientados hacia el mejoramiento de la eficiencia del riego, a través de la determinación de sus montos y frecuencias, de acuerdo a las propiedades físicas del suelo y a la tasa evapotranspiratoria del cultivo, la cual depende de las condiciones climáticas locales.

Por su parte, Rázuri *et al.* (2005) aseguraron que la programación del riego utilizando el potencial hídrico del suelo, provee un método preciso para el mantenimiento adecuado de la humedad en el mismo, con lo cual es posible lograr

óptimos rendimientos en las cosechas. Sin embargo, Ojeda *et al.* (2006) citados por Trezza *et al.* (2008) aseguraron que la programación del riego requiere modelos de fácil implementación en sistemas computarizados. En este sentido, Aldaya *et al.* (2008), señalaron al modelo *CropWat* como el método más utilizado para estimar la demanda evapotranspiratoria de los distintos cultivos y en los distintos climas.

Por otro lado, Rázuri *et al.* (2005) afirmaron que los modelos de simulación virtual son generalmente utilizados con fines educativos y/o científicos, pero presentan muy poca utilidad en cultivos comerciales, por lo que Aldaya *et al.* (2008) aseguraron que al igual que *CropWat*, los modelos virtuales de predicción y simulación son generalmente presentados como físicamente válidos, pero advirtieron sobre la necesidad de realizar certificaciones locales para poder utilizarlos de manera adecuada y segura.

Por lo tanto, resulta imprescindible realizar experimentos *in situ* con el objetivo de evaluar estas aplicaciones antes de establecer un plan de riego (Rodríguez, 1999) que permita hacer un aprovechamiento más eficaz del agua disponible y lograr mayores rendimientos de los cultivos. Así, la selección del modelo predictivo *CW8* para la programación del riego de la caña de azúcar en el presente trabajo, se basa en su amplia aceptación por la comunidad científica. Sin embargo, éste es altamente dependiente de la veracidad de la información climática y edáfica suministrada. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es validar el uso del modelo predictivo *CW8* para la programación del calendario de riego en suelo *Inceptisol* bajo cultivo comercial de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).

## CAPÍTULO I.- FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1.- Formulación del problema

Debido a su ciclo anual, los cultivos comerciales de caña de azúcar demandan una gran cantidad de agua para mantener su producción durante la época seca (Guntín *et al.*, 2005), y dado el alto valor cultural de este recurso, es necesario magnificar la eficiencia en la gestión del riego. Con el objeto de lograr este propósito, podemos recurrir a los modelos de simulación virtual, cuyo éxito depende más de la calidad de la información suministrada, que del modelo por sí mismo.

A este respecto, cuando se comenzaba a trabajar con modelos computacionales, un consejo común era: “No confiar en ningún modelo hasta que este haya sido validado usando datos independientes”. Sin embargo, en la actualidad y con algunos de los modelos determinísticos mas comunes ya probados y comprobados en su credibilidad (como es el caso de CW8), la expresión ha cambiado hacia; “No confiar en ninguna serie de datos hasta que esta haya sido validada usando un modelo” (Allen *et al.*, 1998). En este sentido, podemos formular la siguiente interrogante:

*¿Cuál es la aplicabilidad de la información climática local conjugada con la información edáfica in situ, en la programación del riego de cultivos comerciales de caña de azúcar mediante la utilización del modelo predictivo CW8?*

De tal manera, que en la siguiente investigación se propone hacer un estudio sobre la influencia de la información climática disponible, pero con énfasis en la información edáfica local, en la programación de los calendarios de riego a través de la utilización del modelo CW8.

## 1.2.- Importancia de la investigación

La marcada tendencia hacia la valoración y uso eficiente de los recursos hídricos disponibles, requieren prácticas de manejo de vanguardia. En este sentido, Rázuri *et al.* (2005) señalaron que el reconocimiento de la complejidad de los sistemas agua-suelo-planta y la disponibilidad de computadores personales, han acelerado la demanda de los modelos predictivos, por parte de los gestores y profesionales de la comunidad agrícola, pero advirtieron que los modelos determinísticos disponibles han sido usados mayormente en la investigación, retrasando su utilización en la gestión agrícola hasta que sean probados y verificados bajo condiciones locales.

En este sentido, para validar el uso del modelo predictivo *CW8* para la programación de los calendarios de riego en suelo *Inceptisol* bajo cultivo comercial de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), se evaluaron las relaciones existentes entre la programación del riego de la caña de azúcar (a partir de la información climática disponible y la información edáfica local) y su ejecución, en función de las variables; periodos inter-riego, lámina o volumen de agua aplicado y la producción estimada, con la finalidad de poder utilizarlo como herramienta en la agricultura cañera de la región.

De tal manera, que la ejecución de esta investigación sería de gran utilidad para la agricultura de riego de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), puesto que permitiría un mejor aprovechamiento de las potencialidades edafoclimáticas propias de la zona de producción comercial, además posibilitaría una eventual disminución de la excesiva utilización del agua de riego a través de una mejor gestión, lo que redundaría categóricamente sobre la importancia en el manejo de los recursos hídricos y edáficos, para garantizar una agricultura sustentable.

### **1.3.- Objetivo general**

Validar el uso del modelo predictivo *CW8* para la programación del calendario de riego en suelo *Inceptisol* bajo cultivo comercial de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).

### **1.4.- Objetivos específicos**

- Determinar los parámetros edáficos (*in situ*) requeridos en el modelo predictivo *CW8* para la programación de calendarios de riego.
- Generar los calendarios de riego mediante la aplicación del modelo predictivo *CW8* a partir de la información climática disponible.
- Comprobar los efectos de los parámetros usados en los calendarios de riego sobre los periodos inter-riego, lámina o volumen de agua aplicado y la producción estimada.

## CAPÍTULO II.- DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

### 2.1.- Bases conceptuales o teóricas preliminares

#### 2.1.1.- Suelos *Inceptisoles*; descripción general

El concepto central de suelos *Inceptisoles* es el de suelos poco desarrollados, debido a que la dirección del desarrollo del suelo no es todavía evidente, ya sea porque las marcas dejadas por los procesos de formación del suelo no son claras o son demasiado débiles para permitir la clasificación dentro de otra categoría. Estos suelos presentan un horizonte *cámbico* pero sin otros horizontes de diagnóstico. No tienen limitaciones de textura si su profundidad es mayor de 50 cm. Estos suelos aparecen entre los más abundantes del país, presentes en la región nor-occidental y en algunos estados orientales como: Sucre, Monagas y Delta Amacuro (MAT-CVA, 2005).

#### 2.1.2.- Descripción general del modelo *CropWat*

El modelo predictivo llamado *CropWat* (en cualquiera de sus versiones) es un programa de ordenador desarrollado por la *Food Agricultural Organization* (FAO) para planificar y manejar el riego, mediante simulación de los procesos dinámicos de los sistemas naturales que afectan la producción de los cultivos, para calcular las necesidades hídricas de los mismos, basado en datos de suelo, clima y cultivo. Así, el modelo *CW8* es una herramienta de gran utilidad para la determinación de la evapotranspiración (ET<sub>o</sub>) del cultivo, ya que la calcula de manera automática en función de la ecuación que define al método de *Penman-Monteith* (P-M) señalada por Allen *et al.* (1998).

### 2.1.3.- Aceptación del método *P-M* para el cálculo de la ETo

Los datos de ETo son necesarios con antelación al planteamiento de proyectos o para programar calendarios de riego. Para cubrir esta necesidad, Doorenbos y Pruitt (1977) desarrollaron y publicaron en el documento FAO N° 24 (FAO-24) algunas guías, con el fin de adecuarse a las necesidades de usuarios con diversa disponibilidad de datos, donde incluyeron cuatro métodos para calcular la ETo del cultivo de referencia: *Blaney-Criddle*, *Radiación*, *Penman modificado* y el método del *Tanque evaporimetro*. Posteriormente, Allen *et al.* (1998) señalaron el método P-M en el documento FAO N° 56 (FAO-56), el cual se basa en una complicada ecuación, no solo por la dificultad al hacer los cálculos de forma manual, sino porque además, su aplicación requiere datos climáticos completos durante un periodo suficientemente largo de observación (Guevara, 2006).

A este respecto, Rodríguez (1999) evaluó en Cuba el ajuste de algunos de los métodos propuestos en FAO-24 y FAO-56 para el cálculo de la ETo de referencia y su aplicación en el cultivo de la caña de azúcar, al utilizar una serie climática de 20 años (1975 a 1994), para lo cual determinó que el método P-M es el que mejor se ajusta a la localidad de Jovellanos como modelo de predicción de la ETo del cultivo.

Por otro lado, Martínez *et al.* (2005) correlacionaron la ETo de referencia, calculada a través de cinco ecuaciones diferentes, con la Evaporación registrada en cinco estaciones climatológicas de los estados Yaracuy, Lara y Portuguesa para un periodo de 12 años (1989-2000), y señalaron que para la estación Mesa de Cavacas la ecuación que produjo el mayor coeficiente de correlación es *Hargreaves*, aunque también proponen la utilización de la ecuación de P-M para esta estación, pero en dependencia de la disponibilidad de datos, lo cual coincide con Pardo y Proaño (2008), quienes encontraron similitudes en los resultados obtenidos con el método P-M y el método del *tanque evaporimetro tipo "A"* en la programación del riego mediante *Balance Hídrico* en una plantación de caña de azúcar.

Trezza *et al.* (2008) consideraron que el método P-M proporciona los valores más aceptables de ETo y lo utilizaron como referencia para compararlo con los otros dos métodos indicados en FAO-56; *Hargreaves y Tina de Evaporación*, en la programación del riego en caña de azúcar en una zona semiárida del estado Lara. Por su parte, Trezza (2008) señaló que este método ha sido reportado por el *Comité de Requerimientos de Agua para Riego de la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles* (ASCE) y por la *Comunidad Europea*, como aquel que produce resultados relativamente exactos y consistentes tanto en climas áridos como en húmedos, y lo recomendó como método estándar de cálculo y único método para determinar la ETo de referencia, además, aseguró que el método P-M es el más aceptado por la comunidad científica para la estimación de la ETo de los cultivos.

#### **2.1.4.- Importancia de los parámetros edáficos en el cálculo de la ETo**

Martelo (1989) advirtió sobre el importante papel que juega el suelo en el proceso evapotranspiratorio, y propuso la inclusión de parámetros edáficos, especialmente los referidos a sus propiedades físicas, para mejorar el cálculo de la ETo, al medir sistemáticamente el contenido de humedad del suelo para obtener la ETo como término residual de un balance hídrico. Por su parte, Guntín *et al.* (2005) estudiaron las condiciones edafoclimáticas en el norte de las Tunas en Cuba, y encontraron diferencias en las necesidades hídricas del cultivo de la caña de azúcar, con requerimientos de 287 y 316 mm de agua en suelos *pardo c/Carbonatos* y *Vertisoles*, respectivamente, al considerar las características climáticas de la zona, los tipos de suelo con sus variantes físicas y el modelo *CropWat*, para procesamiento de los datos.

Por otro lado, Trezza *et al.* (2008) evaluaron la aplicación de una lámina variable, pero con una frecuencia fija en suelos de textura franca, y encontraron que la ejecución del riego definida según el agotamiento de humedad del suelo (*mediante balance hídrico*) en la zona radical del cultivo evita pérdidas de agua por percolación profunda en las primeras etapas de desarrollo del cultivo y situaciones de déficit

hídrico en las etapas de máxima demanda, debido a la influencia directa de las propiedades físicas del suelo.

### **2.1.5.- Bases Legales**

El presente trabajo está sustentado en el Artículo 305 de la *Constitución de la República Bolivariana de Venezuela* (1999), en el cual se establece la política nacional de *seguridad alimentaria*.

En la ley del *Plan de la Patria* (2013) se contempla en su objetivo nacional 1.4, la ampliación de la superficie agrícola bajo riego y la transferencia tecnológica e inversiones para el saneamiento de suelos con estructura de drenaje y riego, entre otros, como mecanismos de ampliación de la frontera agrícola y la consolidación del desarrollo rural en áreas con gran potencial agrícola e hídrico, con el propósito de lograr la soberanía alimentaria que garantice el sagrado derecho a la alimentación del pueblo venezolano.

Así mismo, en los artículos 10 y 11 (numeral 2) de la Ley de Aguas (2007), se establece la conservación y el aprovechamiento sustentable de las aguas, así como los criterios para garantizar la disponibilidad en cantidad, respectivamente.

Por otra parte, en el Artículo 3 de la Ley de Meteorología e Hidrología Nacional (2006) queda establecido el carácter de interés general y uso público de la información básica meteorológica e hidrológica, y su consideración como patrimonio de la República Bolivariana de Venezuela. Así mismo, en el Artículo 24 *ejusdem*, se establece el carácter oficial, de toda publicación de la información básica meteorológica e hidrológica por parte del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH).

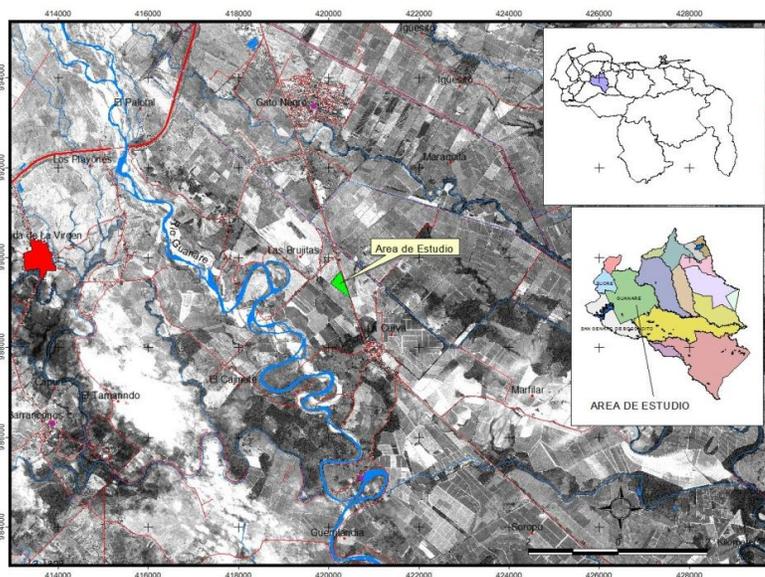
## CAPÍTULO III.- MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1.- Métodos de la investigación

#### 3.1.1.- Área de Estudio

##### 3.1.1.1.- Ubicación y zona de vida (*HOLDRIDGE*)

El área experimental pertenece a la finca Las Brujitas, ubicada entre el sector La Curva y el sector Los Tubos, a unos 9 km al sur de la ciudad de Guanare, con un área total de 250 ha, de las que 230 ha se encuentran bajo cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). Geográficamente se encuentra ubicada entre las coordenadas (*Universal Transversal Mercator (UTM) Huso 19, Datum – SIRGAS REGVEN*) 997881 y 994814 (Norte) y 429678 y 430758 (Este). La vegetación característica corresponde al bosque seco tropical (sistema *HOLDRIDGE*; Ewel *et al.* (1976) y Salas y Quero (1983). Esta parcela fue seleccionada por la disponibilidad y cercanía de la fuente de agua y por presentar un plan de riego.



**Figura 1 .-** Ubicación relativa del área de estudio.

### 3.1.1.2.- Condiciones morfológicas de los suelos

El área de estudio presenta suelos con condiciones morfológicas y tipo de paisaje clasificado como planicie de desborde y planicie de explayamiento y un tipo de relieve de llanura de desborde o desbordamiento, los cuales pertenecen al orden *Inceptisoles* donde se incluye el gran grupo *Ustropepts* con 14% de prevalencia. Su asociado más importante corresponde al orden *Entisoles*, el cual incluye el gran grupo *Ustorthents* (escala 1:100.000). Morfodinámicamente, la infiltración y el escurrimiento suscitan sobre pendientes muy bajas (menor al 1%), por lo tanto la erosión hídrica es muy baja o muy débil y muy localizada (Salas y Quero, 1983). No obstante, las principales características o cualidades de estos suelos, exceptuando su fertilidad y profundidad, no son limitantes para el aprovechamiento agrícola (MAT-CVA, 2005).

### 3.1.1.3.- Condiciones climáticas

Climatológicamente, el área de estudio está influenciada por la estación meteorológica del Aeropuerto Nacional Virgen de Coromoto (ANVC) serial 2296, ubicada en la ciudad de Guanare, estado Portuguesa a  $9,0427^{\circ}$  de latitud y  $-69,76^{\circ}$  de longitud, y una altitud de 163 msnm, la cual se seleccionó no solo por ser la más cercana, sino por estar en similar piso altitudinal. En promedio, la precipitación media anual es de unos 1.615,3 mm y se distribuye entre los meses de abril a noviembre, con valores máximos en junio y julio. El periodo seco va desde diciembre hasta marzo. La evaporación presenta valores promedios de 1.840,9 mm año<sup>-1</sup>, una humedad relativa aproximada de 75% anual y temperatura promedio de alrededor de 26,2 °C año<sup>-1</sup> (INAMEH, 2012).

### **3.1.2.- Tipo de estudio**

El tipo de estudio corresponde a una investigación *Aplicada* de acuerdo al propósito perseguido y de tipo *Evaluativa* por sus objetivos internos, con un diseño experimental.

### **3.1.3.- Población y muestra**

El área dispuesta para el estudio consta de 9,09 hectáreas, de las cuales se tomaron 0,8 hectáreas para realizar los muestreos de suelo, cuyo propósito fue determinar la información edáfica requerida por *CW8*, de acuerdo con el propósito del objetivo número 1. Por otra parte, se tomaron los datos pluviométricos y los datos meteorológicos de la finca Las Brujitas y de la página web del INAMEH (2012), respectivamente, para la generación de los calendarios de riego (objetivo número 2). Por último, se hicieron mediciones de caudal en 3 (tres) puntos espaciados a 30 metros a lo largo del surco central de cada sub-parcela (inicio, medio y fin). Además, se tomó una muestra de 15 tallos por cada sub-parcela, para un total de 60 tallos destinados para las mediciones biométricas y estimar la producción final, en concordancia con el objetivo número 3.

### **3.1.4.- Métodos de recolección de la información edafoclimática**

Los parámetros climáticos requeridos por el modelo *CW8* fueron obtenidos desde la página web del INAMEH (2012) y de registros propios de la finca (anexos A y B, respectivamente). Se realizó un levantamiento topográfico con un equipo digital (estación total). Por otra parte, la determinación de los parámetros físicos del suelo se realizó mediante muestreo sistemático rectangular (probabilístico), el cual consistió en tomar las muestras siguiendo un patrón regular preestablecido de una cuadrícula de 20 m x 20 m, para reducir la variabilidad de la muestra de acuerdo con Lozano (2006), a excepción de la *Infiltración Básica* y la *Profundidad Radical Máxima*, que

fueron muestreados puntualmente, con la finalidad de fijar los valores requeridos en el programa *CW8*, como se muestra en la tabla 1. Las muestras de suelo obtenidas en campo fueron procesadas y analizadas en el laboratorio de edafología de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora (UNELLEZ-Guanare).

**Tabla 1.-** Parámetros físicos del suelo a ser determinados.

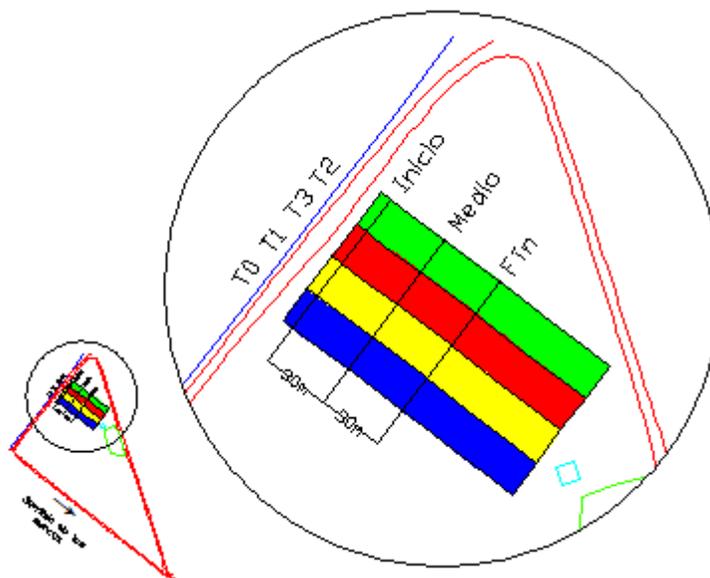
Características	Parámetros	Método	Muestra
Físicas	Granulometría (%) y Textura	Bouyoucos	Compuesta
	Capacidad de campo (%)	Programa PIRAS v-3	Compuesta
	Punto de marchitez permanente (%)	Programa PIRAS v-3	Compuesta
	Densidad aparente ( $\text{gr cm}^{-3}$ )	Cilindro UHLAND	Simple
	Infiltración básica (mm/día)	Cilindro infiltrómetro	Simple
	Profundidad radical máxima	Medición directa (calicata)	Simple

**Fuente:** Lozano (2006).

**Nota:** PIRAS v-3 (Programa para Interpretación de Resultados de Análisis de Suelo); estima los valores a través de la relación arena, limo y arcilla (autor: Prof. Ricardo Orellana; UNELLEZ-Guanare).

### 3.1.5.- Procedimientos para recolección de la información

Para validar la aplicación del modelo *CW8*, se instaló un ensayo con diseño completamente aleatorizado con 4 (cuatro) tratamientos y 12 (doce) repeticiones (figura 2):  $T_0$  = Aplicación del riego con una frecuencia fija (11 días) y lamina variable en todas las etapas de desarrollo del cultivo, según Trezza (2008),  $T_1$  = Aplicación del riego según calendario *CW8* generado a partir de todos los datos climáticos de la fuente oficial y los datos edáficos *in situ*,  $T_2$  = Aplicación del riego según calendario *CW8* generado a partir de los registros de precipitación de la finca Las Brujitas y el resto de la información climática de la fuente oficial, además de los datos edáficos *in situ*,  $T_3$  = Aplicación del riego según criterios del productor.



**Figura 2.-** Ubicación espacial de tratamientos y aforadores.

En el menú “configuración; opciones” del modelo *CW8* se seleccionó el botón “volver a configuración FAO por defecto” desde la pestaña “clima/ETo” con el propósito de estandarizar criterios de configuración, exceptuando las unidades de “Velocidad del viento”, la cual fue establecida como “ $m s^{-1}$ ”, en concordancia con las unidades presentadas por el INAMEH (2012) referente a la estación meteorología de influencia. Por otra parte, para seleccionar el método de cálculo de la *Precipitación Efectiva*, se realizó un análisis matemático para determinar el cociente entre ésta y la precipitación total, mediante datos de precipitación simulados y valores de *Precipitación Efectiva* obtenidos a través del modelo *CW8* para cada método.

El ensayo fue establecido en un total de 44 surcos de 120 metros de longitud, distribuidos en los 4 tratamientos (11 surcos por tratamiento), con una caña soca de 2<sup>do</sup> corte de la variedad Cubana 266-70, por presentar mejor adaptabilidad edáfica en 8 años de experiencia, de acuerdo con lo señalado por el productor. Los eventos de riego iniciaron para todos los tratamientos 3 (tres) días después de la cosecha y posteriormente fueron ejecutados de acuerdo a cada tratamiento. Para mantener el

ensayo libre de malezas, se realizaron los controles necesarios para este fin, donde se incluyeron el control mecánico, con el empleo de la rastra aporcadora desaporcadora (grada múltiple) y el control químico, aplicado según se muestra en la tabla 2.

**Tabla 2.-** Control químico de malezas.

Periodo	Característica	Nombre comercial	Ingrediente activo	Dosis/ha
Pre-emergentes	Herbicida	HIERBATOX <sup>®</sup> 500 SUSPENSIÓN	DIURON	1 kg ó 1 L.
	Surfactante	SURFATRON <sup>®</sup> 350	ALKIL ARIL POLIETER ALCOHOL	0,25-0,5 L
Post-emergentes	Herbicida fenoxi	2,4-D AMINA <sup>®</sup> (6 LIBRAS)	ÁCIDO 2,4-D	1 L
	Herbicida triazina	AMETROL <sup>®</sup> FÁCIL	AMETRINA	3 L
	Herbicida arsenical	INITOX <sup>®</sup> CS 720	M.S.M.A.	1 L
	Surfactante	SURFATRON <sup>®</sup> 350	ALKIL ARIL POLIETER ALCOHOL	0,25-0,5 L

**Fuente:** Manual Técnico Agroisleña (2008).

Por otra parte, se realizó un análisis de integridad (calidad de los datos medidos) de los registros pluviométricos procedentes de la finca Las Brujitas, el cual determina su total confiabilidad para la gestión agrícola, de acuerdo con lo señalado por Allen *et al.* (1998) y Guevara (2003) quienes coincidieron en que los datos tomados en estaciones no agrometeorológicas requieren de un análisis cuidadoso de validez antes de ser utilizados, a través de la metodología propuesta por Pérez *et al.* (2007), que consiste en: a) Análisis preliminar; donde se consideraron las observaciones diarias, la calibración de los equipos de medición, el cumplimiento de las normas establecidas por la Organización Mundial de Meteorología (OMM), y b) Análisis estadístico, que incluyó: promedio mensual de precipitación, desviación estándar, nivel de significancia y los intervalos de confianza. Posteriormente se realizó un balance hídrico para diferenciar los meses secos y húmedos.

El área de estudio se delimitó y modeló con la información obtenida del levantamiento topográfico (planialtimétrico), el cual fue enlazado a la red geodésica

nacional (UTM, Huso 19, *Datum – SIRGAS-REGVEN*). La información obtenida fue descargada mediante conexión USB (estación total-computador) a través del Software *Leica Survey Office*, con la finalidad de eliminar el riesgo de pérdida y error al transcribir datos, para posteriormente ser exportados a los programas *AutoCad 2010* y *Surfer 10* para finalmente generar el *Modelo Digital de Terreno* (MDT) y verificar el diseño de riego.

Por otra parte, las mediciones de caudal o gasto se realizaron mediante la utilización de aforadores tipo vertedero de sección triangular ( $60^\circ$ ) y pared delgada, colocados en el surco central de cada tratamiento, para minimizar el efecto de borde entre tratamientos, debido al movimiento horizontal del agua de riego. Estos fueron colocados en series de tres por cada tratamiento, a una distancia de 30 metros entre vertederos y a 5 metros de la cabecera del surco, con el fin de medir el caudal que fluye a través de los surcos en la parte superior, en la parte media y en la parte inferior de los mismos en los tramos indicados. Para todos los tratamientos se registraron las variables dependientes; número y días de aplicación de los eventos de riego y lámina aplicada (mm).

El seguimiento sistemático del desarrollo de las plantas se realizó a través de monitoreo biométrico de las mismas, el cual consistió en medir la longitud entre nudos (L/N) y el diámetro de los tallos (DT) en su tercio medio, cada 30 días durante el tiempo del ensayo, de acuerdo con la metodología señalada por Peña (2012), en pro de determinar la evolución del desarrollo vegetal durante las etapas que incluyen el tiempo de estudio. Por otra parte, la eficiencia del sistema de riego fue determinada a través de la ecuación utilizada por Schilardi (2010) y Guerrero (2010), simplificada como;

$$E_{f_{riego}} = E_{f_c} * E_{f_a} * E_{f_{al}}$$

Donde:

$$E_{fc} = \frac{Q_e}{Q_a} \quad E_{fc} = \text{Eficiencia de conducción}$$

$$E_{fa} = \frac{L_r}{L_b} \quad E_{fa} = \text{Ef de aplicación}$$

$$E_{fal} = \frac{L_{inf}}{L_r} \quad E_{fal} = \text{Ef de almacenamiento}$$

$Q_a = \text{Caudal afluente (l s}^{-1} \text{ ó m}^3 \text{ h}^{-1}\text{)}$   
 $Q_e = \text{Caudal efluente (l s}^{-1} \text{ ó m}^3 \text{ h}^{-1}\text{)}$   
 $L_r = \text{Lámina de reposición (mm)}$   
 $L_b = \text{Lámina bruta o aplicada (mm)}$   
 $L_{inf} = \text{Lámina infiltrada (mm)}$

Por último, para la generación de los calendarios de riego se cargaron los datos requeridos en cada uno de los módulos del modelo CW8 y se ajustaron los parámetros de configuración, de acuerdo a lo señalado en la tabla 3.

**Tabla 3.-** Información básica requerida por el modelo CW8.

Menú <i>CropWat</i>	Parámetros requeridos	Valores	Fuente
Módulo de clima/ETo	Temperatura mínima media mensual Temperatura máxima media mensual Humedad relativa media mensual Velocidad media del viento (a 2 m) mensual Insolación media mensual	Anexo B	INAMEH (2012)
Módulo de Precipitación	Precipitación media mensual	Anexos A y B	Finca Las Brujitas e INAMEH (2012)
Módulo de cultivo	Coeficientes de cultivo <sup>(1)</sup>	Inc = 0,5; Des = 1,25; Fin = 0,74	Trezza <i>et al.</i> , 2008 y <i>CropWat</i>
	Duración de las etapas de desarrollo (días)	Inc = 60; Des = 60 Med = 150; Fin = 90	
	Profundidad Radical	Ini = 0,2 m; Des = 0,4 m	Wagner <i>et al.</i> , 1995
	Fracción de agotamiento crítico <sup>(2)</sup>	0,67	Allen <i>et al.</i> , 1998
	Factor de respuesta al rendimiento (Ky)	Inc = 0,5; Des = 0,6 Med = 1,5; Flo = 0,9; Fin = 1,5	Doorenbos <i>et al.</i> , 1979
Módulo de suelo	Altura del cultivo	2 m	Asumido
	Humedad del suelo disponible total (ADT) <sup>(3)</sup>	-----	Determinado
	Profundidad Radical Máxima	-----	Determinado
	Tasa máxima de infiltración	-----	Determinado
Configuración <sup>(5)</sup>	Agotamiento inicial de humedad del suelo <sup>(4)</sup>	0 %	Allen <i>et al.</i> , 1998
	Eficiencia del sistema de riego	-----	Determinado
	Precipitación efectiva	-----	Análisis de métodos

<sup>(1)</sup> = Relacionan los efectos de la transpiración de las plantas y la evaporación que ocurre a partir de las superficies húmedas del suelo.

<sup>(2)</sup> = El valor de “p” representa el nivel crítico de humedad en el suelo a partir del cual ocurre estrés por falta de agua, lo cual afecta la ETo del cultivo y por ende su producción. Estos valores son expresados como una fracción del ADT y pueden ser ajustados para diferentes valores de ETo a través de la siguiente expresión:

$$P_{aju} = P_{\text{Cuadro 22}} + 0,04 (5 - ETo)$$

Donde:  $ET_o = 4,62 \text{ mm día}^{-1}$  (Promedio de  $ET_o$  de los meses secos; Nov, Dic, Ene; Feb, Mar y Abr, de acuerdo al balance hídrico).

- <sup>(3)</sup> = La disponibilidad de agua en el suelo se refiere a la capacidad de un suelo de retener el agua disponible para las plantas y se conoce como Humedad del suelo disponible total (ADT) (Allen et al., 1998).
- <sup>(4)</sup> = Se asume que el contenido de humedad en la zona radical estará cerca de la capacidad de campo, ya que se aplicará riego 3 días después de la cosecha.
- <sup>(5)</sup> = En las opciones de configuración fueron establecidos los valores por defecto de la FAO, exceptuando las unidades de “Velocidad del viento”, el método utilizado para calcular la “Precipitación efectiva” y el valor de “Eficiencia de riego”.

### 3.1.6.- Plan de tabulación y análisis

Para el análisis estadístico de la información, se aplicó análisis de la varianza (ANDEVA) para modelo aleatorizado en cada ensayo, y las pruebas de comparación de medias de Tukey al 5% y/o al 1%. Los resultados encontrados fueron comparados con los resultados tabulados (Tabla de Fischer). El modelo lineal aditivo de componentes y variabilidad, está representado por la siguiente expresión matemática:

$$X_{ij} = \mu + T_i + \xi_{ij}$$

Donde:  $X_{ij}$  = Observación

$\mu$  = Media general

$T_i$  = Efecto del Tratamiento

$\xi_{ijk}$  = Error experimental

## CAPÍTULO IV.- ANÁLISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

### 4.1.- Información edafoclimática

#### 4.1.1.- Datos meteorológicos; estación ANVC

La información climática requerida por el modelo *CW8* proveniente de la estación ANVC, presenta ausencia de los reportes correspondientes a los últimos 9; 22 y 29 años para los diferentes parámetros como se muestra en la tabla 4 (INAMEH, 2012), con periodos de registro que oscilan entre el año 1970 y el año 2003 (anexo B). Esto coincide con lo reportado por (Guevara, 2006), quien aseveró que la derivación de información climática proveniente de sitios con estaciones agroclimatológicas es una condición excepcional en casi todos los países y en especial, los ubicados en zonas intertropicales. No obstante, la información disponible en Venezuela derivada de las estaciones meteorológicas, es de carácter oficial, por lo tanto, es asumida como veraz por estudiantes, investigadores y más aun, por nuestros productores.

**Tabla 4.-** Intervalos de tiempo para datos climáticos (ANVC).

Parámetros consultados	Periodo de registro (años)		
	Desde	Hasta	Intervalo
Evaporación	1971	1983	13
Temperatura mínima	1973	1990	18
Temperatura máxima	1972	1990	19
Humedad relativa media	1970	1990	21
Velocidad media del viento a 2 m de altura	1970	1990	21
Insolación media	1970	1990	21
Precipitación	1970	2003	34

#### 4.1.2.- Análisis de integridad de datos pluviométricos; finca Las Brujitas

El análisis de la fase de procesamiento de la información pluviométrica obtenida de la finca Las Brujitas es mostrada en la tabla 5. A este respecto, se pudo apreciar

bajo nivel tecnológico en los procedimientos utilizados, lo cual pudiera acarrear imprecisión en los datos registrados y su posterior utilización en las estimaciones de la ETo de referencia, ya que la calidad de la misma, depende de la calidad y precisión de los datos climáticos sobre los cuales se basan (Allen *et al.*, 1998).

**Tabla 5.- Aspectos considerados en el control de calidad de datos climáticos.**

<b>Aspectos evaluados</b>	<b>Resultados encontrados</b>
Observaciones diarias	La existencia de casillas en blanco sugiere la posibilidad de que el dato no haya sido registrado. Varias personas hacen las mediciones
Calibración de los equipos de medición	El pluviómetro es un cilindro comercial graduado con escala milimétrica. No requiere calibración
Cumplimiento de las normas establecidas por la Organización Mundial de Meteorología (OMM)	El pluviómetro está ubicado en una zona concéntrica de la finca cercana a la casa y al galpón de reparaciones, próximo además a la vegetación arbórea. Lo que en muchas ocasiones pudiera generar mediciones erradas.
Transcripción de datos	No fue posible constatar errores en la transcripción de los datos, ya que no se tuvo acceso al libro diario. Solo se pudo acceder a las planillas finales. En estas si se pudo notar errores en la sumatorias.

En el análisis preliminar, se observó que de acuerdo a los criterios de anotación de registros adoptados en la finca Las Brujitas, los valores de cero son omitidos, lo cual trae como consecuencia la dificultad para determinar datos faltantes, ya que los mismos son confundidos con los registros “cero” (anexo A). Además, la omisión en las anotaciones podría implicar el registro de eventos consecutivos como un evento particular.

Por otra parte, los datos de precipitación obtenidos en la finca Las Brujitas, son presentados en la tabla 6. La serie disponible es de solo 10 años de registros (2000-2007 y 2011-2012) y además interrumpidos. La brevedad de la serie y la interrupción presentada en los registros (años 2008; 2009 y 2010), dificulta la posibilidad de lograr un análisis más completo y veraz.

**Tabla 6.-** Datos de precipitación finca Las Brujitas (en mm).

Periodo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2000	0	13	58	55	127	245	300	165	195	81	60	20
2001	0	0	52	30	310	315	130	190	230	125	0	110
2002	0	0	60	50	265	545	145	235	170	140	170	20
2003	0	0	0	153	226	277	243	340	210	235	190	70
2004	0	0	15	115	440	340	280	235	70	95	75	0
2005	0	0	0	195	480	260	105	300	80	180	185	0
2006	95	0	0	105	135	215	345	175	75	215	80	90
2007	0	0	70	130	150	295	190	245	75	40	0	0
2008	SR											
2009	SR											
2010	SR											
2011	5	0	45	206	426	193	167	171	227	268	129	23
2012	0	10	158	88	504	402	305	264	180	179	30	22

SR = Sin Registro

El análisis estadístico realizado permitió establecer los intervalos de confianza para ser comparados con los registros mensuales, como se presenta en la tabla 7. En este sentido, el valor obtenido de precipitación anual calculada (1.673,2 mm) a través del promedio de los límites superior e inferior, se aproxima al valor de 1.615,3 mm reportado por el INAMEH (2012), esto sugiere veracidad en los resultados del análisis estadístico realizado.

**Tabla 7.-** Análisis estadístico para integridad de datos pluviométricos (en mm).

Meses	n	Promedio de Precipitación	Desviación Estándar	Nivel Significancia	Intervalos de Confianza	
				0.05		
Enero	10	10.00	29.91	18.54	-8.54 ≈ 0	28.54
Febrero	10	2.30	4.90	3.04	-0.74 ≈ 0	5.34
Marzo	10	45.80	48.08	29.80	16.00	75.60
Abril	10	112.70	59.79	37.06	75.64	149.76
Mayo	10	306.30	147.40	91.36	214.94	397.66
Junio	10	308.70	102.93	63.80	244.90	372.50
Julio	10	221.00	84.35	52.28	168.72	273.28
Agosto	10	232.00	58.43	36.21	195.79	268.21
Septiembre	10	151.20	68.14	42.23	108.97	193.43
Octubre	10	155.80	72.56	44.97	110.83	200.77
Noviembre	10	91.90	72.98	45.23	46.67	137.13
Diciembre	10	35.50	39.88	24.71	10.79	60.21
<b>Totales Calculados (mm)</b>					1183.97	2162.43
<b>Precipitación anual calculada (mm)</b>					1673.2	

Por otra parte, la gran cantidad de valores poco probables por mes presentados en la tabla 8, determinados a través del análisis estadístico, sugieren poca veracidad de la data disponible. Estos errores pueden derivar de tres fuentes potenciales: a) Lecturas, b) Transcripción y/o c) Cálculo.

**Tabla 8.-** Valores poco probables de precipitación mensual; finca Las Brujitas.

Periodos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2000	0	13	58	55	127	245	300	165	195	81	60	20
2001	0	0	52	30	310	315	130	190	230	125	0	110
2002	0	0	60	50	265	545	145	235	170	140	170	20
2003	0	0	0	153	226	277	243	340	210	235	190	70
2004	0	0	15	115	440	340	280	235	70	95	75	0
2005	0	0	0	195	480	260	105	300	80	180	185	0
2006	95	0	0	105	135	215	345	175	75	215	80	90
2007	0	0	70	130	150	295	190	245	75	40	0	0
2008	SR											
2009	SR											
2010	SR											
2011	5	0	45	206	426	193	167	171	227	268	129	23
2012	0	10	158	88	504	402	305	264	180	179	30	22

SR = Sin Registro

■ = Valores poco probables

El intervalo de tiempo de registro de precipitación tomado de la finca Las Brujitas de solo 10 años, es 4 (cuatro) veces inferior al valor recomendado por Jagannathan *et al.* (1967) citados por Pérez *et al.* (2007) para zonas de llanura intertropical. Por otro lado, el periodo optimo de registros para el análisis de una serie climática, depende del elemento climático y del tipo de clima regional, por lo tanto, a mayor variabilidad del elemento climático, la duración de la serie de datos debe ser mayor (Guevara, 2003), la cual debe permitir la obtención de una distribución de frecuencia estable para estudios agroclimáticos en zonas de llanura intertropical. A este respecto, Pérez *et al.* (2007), señalaron que para obtener resultados confiables se recomienda usar series climáticas para regiones con clima templado y cálido lluvioso con la duración intermedia entre 20 y 30 años de registro en el caso de precipitación. De tal manera,

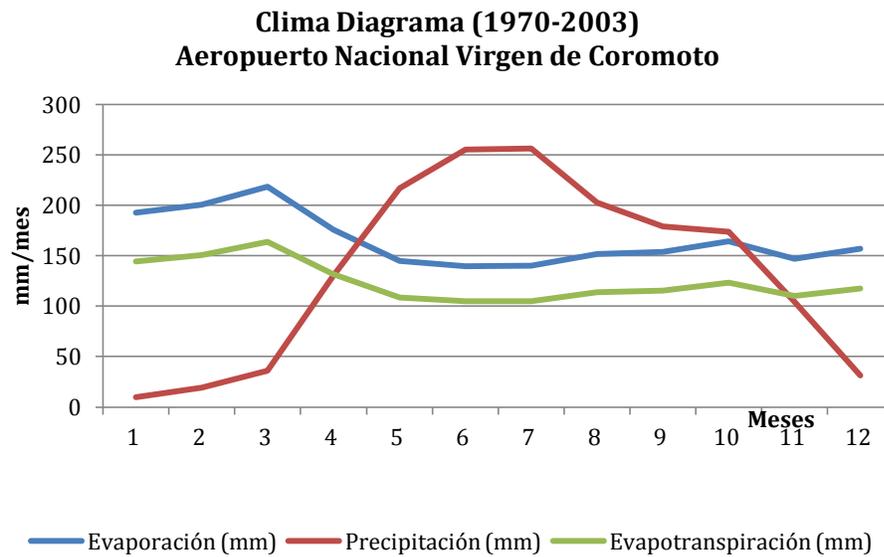
que solo 10 años de registro y además interrumpidos, son poco representativos desde el punto de vista estadístico para su total confiabilidad en la programación del calendario de riego a partir de la implementación del modelo predictivo CW8.

#### 4.1.3.- Balance hídrico edáfico

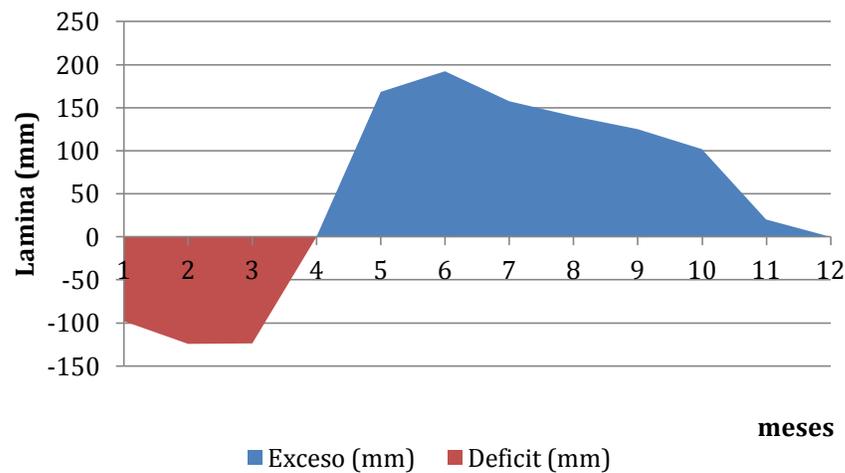
El balance hídrico edáfico calculado y presentado en la tabla 9, fue utilizado para determinar la distribución de la lluvia durante el año, con el propósito de distinguir el comienzo y duración del periodo seco. El registro de precipitación promedio anual en el periodo estudiado (1970-2003) presenta una curva *unimodal* (figura 3). El periodo húmedo se presenta desde el mes de mayo hasta el mes de octubre (excesos de humedad) con valores máximos cercanos a los 260 mm en el mes de julio. El periodo seco (déficit de humedad) comienza en el mes de noviembre y se prolonga hasta el mes de abril con valores máximos de Evaporación y ETo de 218,41 mm y 163,81 mm respectivamente, como se muestra en la figura 4.

**Tabla 9.-** Balance hídrico edáfico; ANVC.

Parámetros	Meses												Anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Factor Ajuste	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	
Evapotranspiración (mm)	144.60	150.62	163.81	131.83	108.85	104.84	105.14	113.89	115.26	123.39	110.40	117.80	
P - ETo (mm)	-134.72	-131.33	-127.70	-1.62	107.89	150.32	151.28	88.82	63.83	50.56	-5.80	-86.65	124.88
Almacenamiento	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	94.20	7.55	701.75
Evapot. Real (mm)	144.60	150.62	163.81	131.83	108.85	104.84	105.14	113.89	115.26	123.39	110.40	117.80	1490.43
Exceso (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	7.89	150.32	151.28	88.82	63.83	50.56	0.00	0.00	512.70
Déficit (mm)	127.17	131.33	127.70	1.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	387.82
Evaporación media (mm)	72.30	75.31	81.90	65.91	54.42	52.42	52.57	56.94	57.63	61.70	55.20	58.90	745.22
<b>P - ETo = 124,88 mm</b>													
<b>Ex - Df = 124,88 mm</b>													
<b>Almacenamiento máximo = 100 mm</b>													



**Figura 3.-** Clima Diagrama (1970-2003); ANVC.



**Figura 4.-** Diagrama de déficits y excesos de precipitaciones.

#### 4.1.4.- Muestreo de suelo

Los datos preliminares que permitieron determinar las variantes requeridas en los diferentes módulos de procesamiento de CW8 son presentadas en la tabla 10. Los contenidos de arcilla y arena se encuentran por debajo de los límites señalados por

Fernández *et al.* (2004) para cultivos de caña de azúcar, mientras que el contenido de limo presenta un valor superior para este cultivo. No obstante, el suelo en estudio presentó una textura franco-arcillo-limosa (FAL), lo cual coincide con lo obtenido por (Manrique y Mancilla, 1997) en un ensayo realizado en suelos de orden *Inceptisol*.

**Tabla 10.-** Parámetros físicos del suelo.

Parámetro	Valor Determinado		Valor Referencial		Autor
	Unidad	Valor	Rep.	Adc.	
Arena	%	18	---	< 35	Fernández <i>et al.</i> (2004)
Arcilla	%	34	---	< 38	Fernández <i>et al.</i> (2004)
Limo	%	48	---	< 20	Fernández <i>et al.</i> (2004)
Clase Textural	----	FAL	FAL	---	Manrique y Mancilla, 1997
CC	%	34	32,77	---	Lozano <i>et al.</i> (2000)
PMP	%	19	11,18	---	Lozano <i>et al.</i> (2000)
Agua útil	%	15	21,59	---	Lozano <i>et al.</i> (2000)
Da	Mg m <sup>-3</sup>	1,29	1,27	---	Lozano <i>et al.</i> (2000)

Rep. = Reportado, Adc. = Adecuado

En cuanto a las variables hidráulicas del suelo, la capacidad de campo (CC) fue de 34 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, similar a la de 32,77 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> reportado por Lozano *et al.* (2000) para suelos *Inceptisoles* de la serie Guanare, lo cual sugiere que esta propiedad no sufre cambios significativos a través del tiempo y del manejo del suelo. No obstante, el Punto de Marchites Permanente (PMP) fue superior (19 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) al valor de 11,18 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> reportado por Lozano *et al.* (2000) en el mismo estudio, esto se debe al posible incremento de la densidad aparente en los estratos inferiores originado por el tránsito de maquinarias durante la cosecha, lo cual aumenta la capacidad de almacenamiento del agua en el suelo, de acuerdo con Cabrera (1994).

#### 4.2.- Modelo digital de terreno del área de estudio

Con un total de 447 puntos levantados para una densidad de 49,18 puntos por ha, el levantamiento topográfico (planialtimétrico) permitió establecer la ubicación geográfica, conocer las obras de infraestructura presentes y la variación altimétrica

existente en el área de estudio, como se muestra en la figura 5. La superficie total del lote alcanza un máximo de 9,09 hectáreas, de las cuales 0,85 hectáreas fueron ocupadas por el ensayo. La información espacial y altimétrica, permitió generar un MDT, del cual se precisa la presencia de un relieve plano, con pendiente natural general cercana al 2 por 1000, con (0,24%) en sentido de los surcos (Nor-Este) y 0,22% en sentido del canal de riego (Sur-Este).

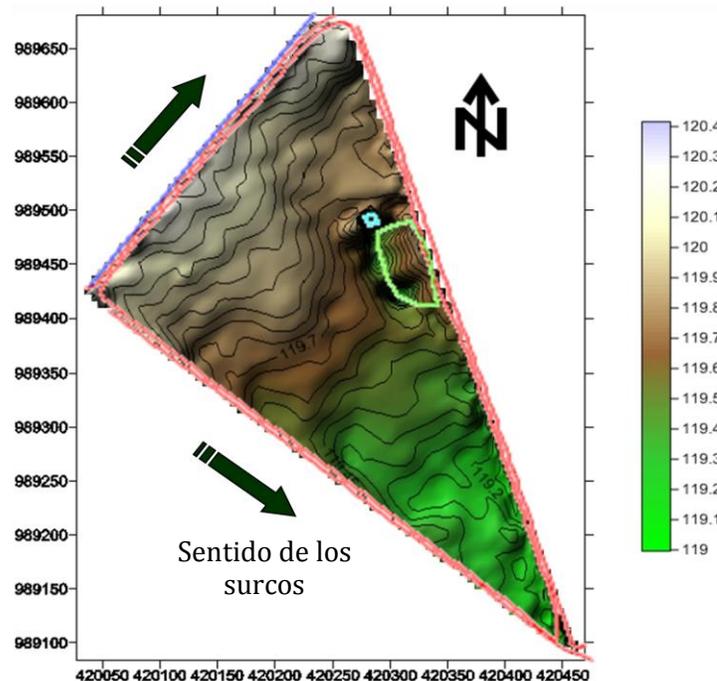


Figura 5.- Curvas de nivel y orientación de los surcos.

### 4.3.- Análisis de la información requerida por CW8

#### 4.3.1.- Precipitación efectiva

El modelo predictivo CW8 permite seleccionar de entre varias alternativas para el cálculo de la precipitación efectiva; a) *Porcentaje fijo*, b) *Precipitación efectiva = 0* (no considerada para las estimaciones de riego), c) *Precipitación confiable*;

ecuación FAO/AGLW (F-FAO), d) *Formulas empíricas* (F-Emp) y e) *USDA Soil Conservation Service* (USDA). A efectos de seleccionar el método más adecuado para ser utilizado en CW8 en el cálculo de la *Precipitación Efectiva*, fueron descartadas las opciones “*Porcentaje fijo*” y “*Precipitación efectiva = 0*”, debido a que sus fundamentos no son representativos de la realidad que pueda presentarse en campo. Por otra parte, los resultados encontrados entre los métodos F-FAO, F-Emp y USDA, son mostrados en la tabla 11.

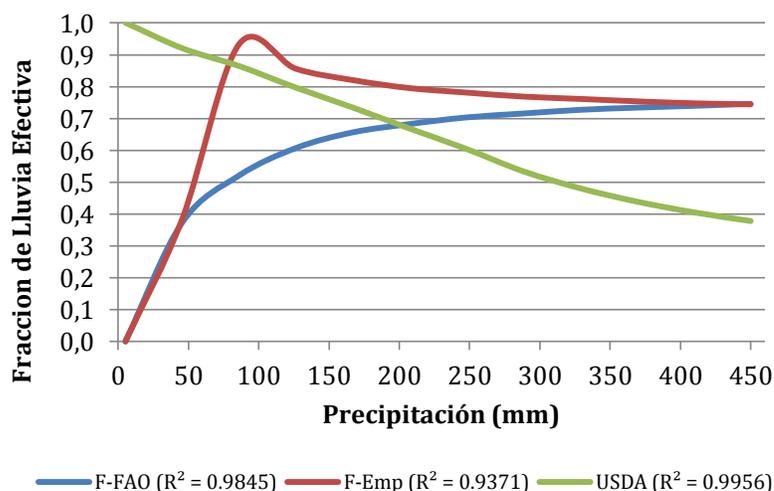
**Tabla 11.-** Análisis matemático de los métodos F-FAO, F-Emp y USDA.

Precipitación simulada (mm)	Precipitación efectiva (mm)			Fracción de Precipitación efectiva		
	F-FAO	F-Emp	USDA	F-FAO	F-Emp	USDA
5	0	0	5	0.000	0.000	1.000
45	17	17.5	41.8	0.374	0.385	0.920
86	44.8	80.2	74.2	0.522	0.934	0.864
126	76.8	108.2	100.6	0.608	0.856	0.796
167	109.6	136.9	122.4	0.657	0.821	0.734
207	141.6	164.9	138.4	0.683	0.796	0.668
248	174.4	193.6	149.6	0.704	0.782	0.604
288	206.4	221.6	153.8	0.716	0.769	0.534
329	239.2	250.3	157.9	0.728	0.762	0.481
369	271.2	278.3	161.9	0.735	0.754	0.439
409	303.2	306.3	165.9	0.741	0.748	0.405
450	336	335	170	0.747	0.745	0.378

En la figura 6, se muestran las curvas obtenidas del análisis matemático para los tres métodos de cálculo de la precipitación efectiva. En el caso del método de la USDA, se aprecia que la efectividad de la lluvia es inversamente proporcional a la precipitación total, con una tendencia *Exponencial* ( $y = 1,0421e^{-0,002x}$ ) con  $R^2 = 0,9956$ . Esto sugiere, que a menor precipitación, mayor será la efectividad de la misma, lo cual difiere de Allen *et al.* (1998), quienes aseguraron que las bajas precipitaciones son poco efectivas pues se pierden rápidamente por evaporación.

En relación al método F-FAO, se puede apreciar que la efectividad de la lluvia es menor cuando los valores de precipitación son menores, incrementándose a medida que esta aumenta. Sin embargo, la curva presenta una tendencia *Logarítmica* ( $y = 0,171\ln(x) - 0,2562$ ) con  $R^2 = 0.9845$ , cuyo crecimiento solo tiende a la estabilización

sin llegar a descender. Esta tendencia difiere de lo señalado por Allen *et al.* (1998), quienes aseguraron que a mayores precipitaciones habrá más escorrentía superficial, por lo tanto, una menor efectividad de la lluvia. Por su parte, el método F-Emp presenta una mayor sensibilidad a los razonamientos teóricos señalados por Allen *et al.* (1998) para los métodos anteriores. En este caso, la curva presenta una tendencia polinómica de quinto grado ( $y = 2E-13x^5 - 5E-10x^4 + 4E-07x^3 - 0.0001x^2 + 0.0196x - 0.1295$ ) con  $R^2 = 0.9371$ , lo cual indica que la efectividad de la lluvia asciende en la medida que aumenta el valor de las precipitaciones, hasta alcanzar un tope máximo, desde el cual comienza a descender (perder efectividad).



**Figura 6.-** Curvas de la fracción de lluvia efectiva; métodos F-FAO, F-Emp y USDA

De acuerdo con Allen *et al.*, (1998), el método más preciso para determinar la precipitación efectiva es a través de observaciones en campo, sin embargo, *CW8* no permite calcular la precipitación efectiva por periodos vegetativos. Además, Allen *et al.* (1998), aseguraron que la cantidad de agua que se infiltra en el suelo depende del tipo de suelo, de su pendiente y de su contenido inicial de agua, del tipo de cultivo y su estado de desarrollo y de la intensidad de la precipitación. De tal manera, que el método F-Emp resultó ser el más apropiado para ser utilizado en los cálculos de precipitación efectiva a través de *CW8* en el presente trabajo.

#### 4.3.2.- Eficiencia del riego

La eficiencia global del sistema de riego ( $E_f$ ) por superficie empleado en la finca Las Brujitas fue de 17,07%, con valores parciales para la eficiencia de conducción ( $E_{fc}$ ), la eficiencia de aplicación ( $E_{fa}$ ) y la eficiencia de almacenamiento ( $E_{fal}$ ) de 68,65%; 48,48% y 51,28%, respectivamente, como se muestra en la tabla 12, los cuales son inferiores a los valores mínimos señalados por Meneses (2000) de 75% para  $E_{fc}$ , 60% para  $E_{fa}$  y 75% para  $E_{fal}$ . El valor de  $E_f$  determinado es inferior al 25% utilizado por Guerrero (2010), quien basó su elección, en los criterios de uso común determinados por la FAO. Los mayores problemas que afectan la eficiencia del riego en este estudio, estuvieron marcados por la baja eficiencia de aplicación en surco, ya que fue aplicada una lámina considerablemente alta, la cual sobrepasó la capacidad de infiltración del suelo, lo que a su vez originó escorrentía.

**Tabla 12.-** Eficiencias parciales y global del riego, finca Las Brujitas.

Resumen datos	Unidad	Valor	Método de cálculo
$E_{fr}$ = Eficiencia de riego	%	17,07	$E_{fr} = E_{fc} * E_{fa} * E_{fal}$
$E_{fc}$ = Eficiencia de conducción	%	68,65	$E_{fc} = Q_e / Q_a$
$E_{fa}$ = Ef de aplicación en surco	%	48,48	$E_{fa} = L_r / L_b$
$E_{fal}$ = Ef de almacenamiento	%	51,28	$E_{fal} = L_{inf} / L_r$
$Q_a$ = Caudal afluyente (pozo)	l s-1	96,35	Medición directa
$Q_e$ = Caudal efluente (fin del canal)	l s-1	66,14	Medición directa
$L_r$ = Lámina de reposición	mm	75	Agua Útil = (CC - PMP) * Pr
$L_b$ = Lámina bruta o aplicada	mm	154,69	Despejado de; $Q = (L_b * A) / t$
$L_{inf}$ = Lámina infiltrada	mm	38,46	Inf. Acu. = $2.1467t^{0.1142}$

$$\text{Caudal} = 0.003 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Tiempo} = 9900 \text{ segundos (2:45 horas)}$$

$$\text{Área} = 192 \text{ m}^2 (1,6 \text{ m} * 120 \text{ m})$$

$$R^2 \text{ para Inf. Acu.} = 0,9283 \text{ (tomados del cálculo de Infiltración Básica)}$$

Por otro lado, el tiempo de riego empleado fue insuficiente para alcanzar la lámina de reposición, evidenciado por la baja eficiencia de almacenamiento y originado por los bajos valores de la velocidad de infiltración. Por último, la eficiencia de conducción está ínfimamente afectada por las pérdidas en la fuente, por

las condiciones de suelo en el canal y por la larga distancia de recorrido (1.135 m), esta última origina una mayor superficie expuesta a la infiltración.

Por otra parte, Grassi (1993) aseguró que un 65% de eficiencia es razonablemente bueno en riego por superficie y propone su utilización en los cálculos para planeamientos de riego. Sin embargo, la baja eficiencia encontrada evidencia los riesgos de asumir valores reportados en la literatura, por lo que estos deben ser calculados *in situ*, ya que algunas características inadecuadas en los sistemas de riego, como la disposición del terreno, en el caso de métodos de riego por gravedad (nivelación deficiente del suelo, deficiente aplicación), originan pérdidas importantes del agua de riego.

#### 4.3.3.- Módulo de suelo

##### 4.3.3.1.- Humedad del suelo disponible total (ADT)

El valor de ADT determinado fue de  $150 \text{ mm m}^{-1}$ , definida en el módulo de suelo de CW8 como  $(CC - PMP)$ . Sin embargo, tal expresión está referida al *Agua Almacenable Máxima* o *Agua Útil*, de acuerdo con Grassi (2001), quien consideró necesario adicionar el valor de la densidad aparente ( $\delta$ ) del suelo para el cálculo de la ADT para posteriormente definirla como *Lamina Almacenable*. Por su parte, Allen *et al.* (1998) consideraron la zona radical para el cálculo del ADT en lugar de la  $\delta$ , como se muestra a continuación:

$$\text{Allen et al. (1998)} \rightarrow ADT = 1000 (\Theta_{CC} - \Theta_{PMP})Z_r$$

$$\text{Grassi (2001)} \rightarrow ADT = 1000 (\Theta_{CC} - \Theta_{PMP})\delta$$

**Donde:**  $\Theta_{CC}$  = Contenido de humedad a CC ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ).

$\Theta_{PMP}$  = Contenido de humedad en el PMP ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ).

$Z_r$  = Profundidad de las raíces (m).

$\delta$  = Densidad aparente ( $\text{Mg m}^{-3}$ ).

No obstante, Trezza (2003), recomendó la utilización de la ecuación de Grassi (2001) para este fin, ya que en el mismo módulo es solicitado el valor de la profundidad radical máxima y además, se objeta el valor de la  $\delta$ . Mientras que por su parte, Guerrero (2010) utilizó la expresión “CC - PMP” para calcular la ADT a introducir en CW8, y la expresión “ $C_e = (CC - PMP) * \delta * P_s * 10$ ” para conocer lo que denominó; “Capacidad de almacenaje” o “Lamina de almacenaje máxima” real en campo. Tal variación de métodos y ecuaciones, sugiere diferencias importantes en la determinación del valor de ADT a introducir en el módulo de suelo de CW8, por lo tanto, el ADT no debe ser estimado a partir de un modo distinto al requerido en el programa.

#### **4.3.3.2.- Profundidad radical máxima (PRM)**

La PRM fue determinada en 0,80 metros, al considerar la limitante ocasionada por la poca profundidad efectiva del suelo y la presencia de un estrato inferior de material rocoso (granzón). El valor de PRM coincide con el valor reportado por Peña (2012) de 0,80 m para cultivos de caña de azúcar de 4 a 20 meses en suelo *Inceptisol*, sin embargo, señala para estos suelos propiedades *vérticas* y arcillas expansibles tipo 2:1 (se agrietan en seco y se expanden en húmedo), los cuales son rasgos propios de suelos *Vertisoles* de acuerdo con Ibáñez *et al.* (2011).

Por otro lado, la PRM determinada es 46,66 % inferior a la PRM de 1,5 m utilizada por Guerrero (2010) para la determinación de los requerimientos hídricos del cultivo de la caña de azúcar mediante el empleo del CW8, en suelo más profundo perteneciente al orden *Vertisol*. Sin embargo, la máxima profundidad radical efectiva se logra al inicio de la etapa de mediados de temporada (generalmente floración).

#### 4.3.3.3.- Tasa máxima de infiltración (TMI)

La TMI determinada a través de la ecuación de Kostiacov ( $I_b = 2,24 * 535,34^{-0,89}$ ) (anexo C), fue de  $3,2 \text{ mm h}^{-1}$ , lo cual va de baja a muy baja, de acuerdo con Grassi (2001). Este resultado difiere de lo reportado por Guerrero (2010), quien señala una infiltración de  $10,3 \text{ mm h}^{-1}$  para suelos de textura Arcillo-Limoso y densidad aparente similar ( $1,33 \text{ g (cm}^3)^{-1}$ ) e igualmente cultivados con *Saccharum officinarum*, y del valor de  $18 \text{ mm h}^{-1}$  obtenido por Álvarez y Fernández (2010) en bloques de suelo *Inceptisol* sin cobertura, monitoreados en laboratorio. Esta diferencia en las TMI, puede ser debido a; a) posibles capas compactadas de suelo en los estratos inferiores o piso de arado, debido al tránsito previo de maquinarias inherentes al proceso de cosecha y acondicionamiento del suelo, lo cual reduce significativamente la velocidad de infiltración (Alvarado y Forsythe, 2005) pero aumenta la capacidad de almacenamiento del agua en el mismo (Cabrera, 1994), b) a la reducción de la actividad biológica desarrollada en los estratos inferiores, lo cual aumenta la densidad aparente (Alvarado y Forsythe, 2005), y c) a los métodos de cálculo utilizados por los diferentes autores para esta variable.

Por otro lado, la  $\delta$  determinada para el estrato superficial (0-15 cm) fue de  $1,29 \text{ Mg m}^{-3}$ , el cual se ajusta a los valores promedios por intervalo de profundidad que oscilan entre  $1,19$  y  $1,28 \text{ Mg m}^{-3}$  ( $1,21 \text{ Mg m}^{-3}$  para el horizonte superficial) reportado por Alvarado y Forsythe (2005) en un estudio sobre la variación de la  $\delta$  en diferentes órdenes de suelos. Por otra parte, este valor, coincide con el reportado por Lozano *et al.* (2000) de  $\delta = 1,27 \text{ Mg m}^{-3}$  para el estrato superficial (0-15 cm), quienes lo señalan como característico en suelos *Inceptisoles* de la serie Guanare.

#### 4.4.- Calendarios de riego

Los calendarios de riego generados a través del modelo CW8 de acuerdo con los tratamientos planteados para  $T_0$ ,  $T_1$  y  $T_2$ , y son presentados en las tablas 13; 14 y 15. Mientras que por otro lado, los eventos de riego ejecutados para  $T_3$  son presentados

en la tabla 16. En estos se incluye: Numero de riego (N° R), Días Post-Cosecha (DPC), Periodos Inter Riego (PIR); Etapa del Cultivo (EC), Agotamiento (A), Lamina neta (Ln), Lamina bruta (Lb) y Caudal (Q).

**Tabla 13.-** Calendario de riego para T<sub>0</sub>

N° R	Fecha	DPC	PIR (días)	EC	A (%)	Ln (mm)	Lb (mm)	Q (l/s/ha)
1	08-nov	3	3	Ini	13	4.1	20.3	0.78
2	19-nov	14	11	Ini	18	6.1	30.4	0.32
3	30-nov	25	11	Ini	22	8.1	40.7	0.43
4	11-dic	36	11	Ini	26	10.2	51.2	0.54
5	22-dic	47	11	Ini	40	16.8	83.9	0.88
6	02-ene	58	11	Ini	47	20.9	104.5	1.10
7	13-ene	69	11	Des	52	24.5	122.5	1.29
8	24-ene	80	11	Des	66	32.9	164.4	1.73
9	04-feb	91	11	Des	74	39.1	195.6	2.06
10	15-feb	102	11	Des	82	45.5	227.4	2.39
11	26-feb	113	11	Des	86	50	250.1	2.63
12	09-mar	124	11	Med	90	53.7	268.7	2.83
13	20-mar	135	11	Med	90	54	270.2	2.84
14	31-mar	146	11	Med	75	45.3	226.3	2.38
15	11-abr	157	11	Med	64	38.5	192.3	2.02
16	22-abr	168	11	Med	68	41	205	2.16
Totales						490.7	2453.5	26.38

N° R. = Numero de riego; DPC = Días Post-Cosecha; PIR = Periodos Inter-Riego; EC = Etapa del Cultivo; A = Agotamiento; Ln = Lamina neta; Lb = Lamina bruta y Q = Caudal.

**Tabla 14.-** Calendario de riego para T<sub>1</sub>

N° R	Fecha	DPC	PIR (días)	EC	A (%)	Ln (mm)	Lb (mm)	Q (l/s/ha)
1	08-nov	3	3	Ini	13	4.1	20.3	0.78
2	22-dic	47	44	Ini	68	28.6	168.2	0.41
3	09-ene	65	18	Des	71	32.7	192.3	1.24
4	21-ene	77	12	Des	69	33.9	199.4	1.92
5	01-feb	88	11	Des	73	37.8	222.2	2.34
6	11-feb	98	10	Des	73	39.8	233.9	2.71
7	20-feb	107	9	Des	71	40.4	237.8	3.06
8	01-mar	116	9	Des	74	43.8	257.8	3.32
9	09-mar	124	8	Med	69	41.7	245.1	3.55
10	17-mar	132	8	Med	69	41.5	243.9	3.53
11	26-mar	141	9	Med	74	44.3	260.7	3.35
12	02-abr	148	7	Med	68	41	241	3.98
13	21-abr	167	19	Med	72	43.4	255.2	1.55
Totales						473	2777.8	31.74

N° R. = Numero de riego; DPC = Días Post-Cosecha; PIR = Periodos Inter-Riego; EC = Etapa del Cultivo; A = Agotamiento; Ln = Lamina neta; Lb = Lamina bruta y Q = Caudal.

**Tabla 15.-** Calendario de riego para T<sub>2</sub>

N° R	Fecha	DPC	PIR (días)	EC	A (%)	Ln (mm)	Lb (mm)	Q (l/s/ha)
1	08-nov	3	3	Ini	13	4.1	20.3	0.78
2	26-dic	51	48	Ini	71	30.5	179.7	0.41
3	11-ene	67	16	Des	68	31.7	186.5	1.35
4	23-ene	79	12	Des	69	34.3	201.8	1.95
5	02-feb	89	10	Des	71	37.3	219.3	2.54
6	11-feb	98	9	Des	74	40.3	237.1	3.05
7	19-feb	106	8	Des	73	41.4	243.4	3.52
8	27-feb	114	8	Des	74	43.2	254.3	3.68
9	08-mar	123	9	Med	76	45.4	267	3.43
10	16-mar	131	8	Med	71	42.7	251	3.63
11	25-mar	140	9	Med	73	43.6	256.7	3.3
12	02-abr	148	8	Med	68	41	241	3.49
13	12-abr	158	10	Med	73	43.8	257.6	2.98
Totales						479.3	2815.7	34.11

N° R. = Numero de riego; DPC = Días Post-Cosecha; PIR = Periodos Inter-Riego; EC = Etapa del Cultivo; A = Agotamiento; Ln = Lamina neta; Lb = Lamina bruta y Q = Caudal.

**Tabla 16.-** Ejecución del riego en T<sub>3</sub>

N° R	Fecha	DPC	PIR (días)	EC	A (%)	Ln (mm)	Lb (mm)	Q (l/s/ha)
1	16-nov	11	11	Ini	25	12.56	154.69	0.5
2	21-dic	46	35	Ini	64	32.16	146.81	0.51
3	13-ene	69	22	Des	84	42.21	147.57	1.18
4	10-feb	97	27	Des	96	48.24	147.71	1.27
5	28-feb	115	18	Des	94	47.24	144.38	2.08
6	25-mar	140	27	Med	94	47.24	136.50	1.53
7	16-abr	162	21	Med	86	43.22	121.88	1.59
Totales						272.87	999.53	8.66

N° R. = Numero de riego; DPC = Días Post-Cosecha; PIR = Periodos Inter-Riego; EC = Etapa del Cultivo; A = Agotamiento; Ln = Lamina neta; Lb = Lamina bruta y Q = Caudal.

#### 4.5.- Efecto de los calendarios de riego

##### 4.5.1.- Periodos inter riego (PIR)

La edad del cultivo y los PIR para cada tratamiento son presentados en la tabla 17. Los PIR oscilan entre 7 a 44 días, entre 8 a 48 días y entre 11 a 35 días, para T<sub>1</sub>; T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>, respectivamente. Los valores máximos se presentan para el primer riego en

T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>, mientras que en T<sub>3</sub> se corresponde con el segundo riego, siendo en todos los casos durante la etapa inicial del cultivo. En esta etapa, la caña presenta mayor susceptibilidad fisiológica al déficit hídrico, ya que se requiere un mantenimiento de la lamina de agua para reactivar las cepas en cultivos de caña soca durante los primeros riegos (Pardo y Proaño, 2008). Esto puede estar relacionado principalmente con el valor de K<sub>c</sub> (0,5) utilizado para la etapa inicial del cultivo, así, un valor superior (entre 0,7 y 0,8) originaria PIR menos prolongados.

**Tabla 17.-** Edad del cultivo y periodos inter-riego por tratamiento.

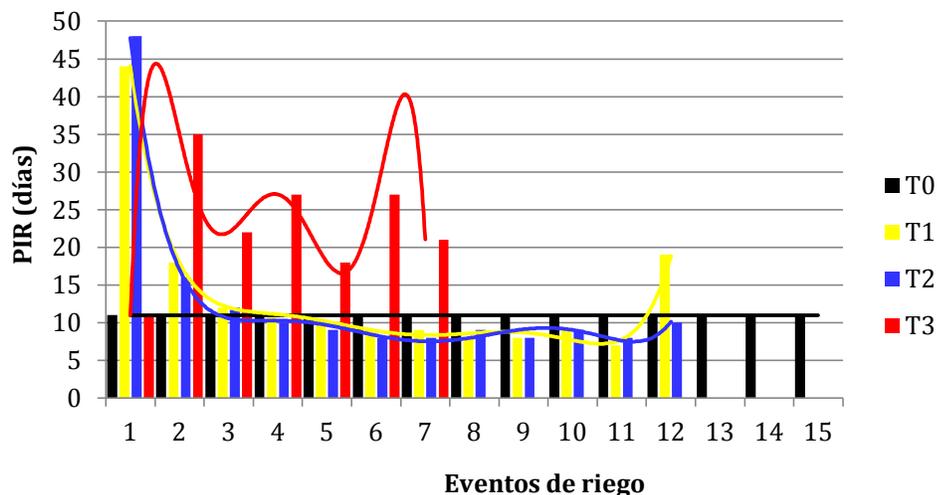
Evento	T <sub>0</sub>		T <sub>1</sub>		T <sub>2</sub>		T <sub>3</sub>	
	Edad (días)	PIR (días)						
1	14	11	47	44	51	48	11	11
2	25	11	65	18	67	16	46	35
3	36	11	77	12	79	12	69	22
4	47	11	88	11	89	10	97	27
5	58	11	98	10	98	9	115	18
6	69	11	107	9	106	8	140	27
7	80	11	116	9	114	8	162	21
8	91	11	124	8	123	9		SR
9	102	11	132	8	131	8		SR
10	113	11	141	9	140	9		SR
11	124	11	148	7	148	8		SR
12	135	11	167	19	158	10		SR
13	146	11		SR		SR		SR
14	157	11		SR		SR		SR
15	168	11		SR		SR		SR

SR = Sin riego

Por otra parte, los valores mínimos se presentan a finales de la etapa de desarrollo y la etapa media del cultivo en T<sub>1</sub>, a mediados de la etapa de desarrollo y la etapa media del cultivo en T<sub>2</sub> y en la etapa de desarrollo en T<sub>3</sub>. Esta situación es favorable al desarrollo del cultivo, ya que se corresponde con la etapa de rápido crecimiento del mismo (Viveros, 2011) y con los meses de máxima ETo (febrero y marzo = 5,20 mm día<sup>-1</sup>), de acuerdo con el balance hídrico de la tabla 9.

En la figura 7, es posible apreciar la similitud que presentan los patrones para la ejecución de los eventos de riego y el ajuste de los PIR a las necesidades hídricas del

cultivo en comparación con  $T_0$ , determinados para  $T_1$  y  $T_2$ . Mientras que por su parte,  $T_3$  presenta un patrón irregular para la ejecución de los eventos de riego, con PIR muy prolongados, en los cuales el cultivo estuvo sometido a estrés por déficit hídrico. No obstante, tal situación pudo estar asociada a las prioridades del productor.



**Figura 7.-** Variación de los periodos inter riego.

Los resultados del ANDEVA son presentados en el anexo H. Existen evidencias significativas ( $P < 0,05$ ) que indican que los PIR difieren en al menos dos de los tratamientos evaluados. Por su parte, el coeficiente de variación (CV) para el análisis de varianza realizado resultó ser de 55%, un valor muy alto desde el punto de vista estadístico ( $> 20\%$ ) de acuerdo con Negrín (1982). No obstante, el CV está influenciado por el valor de media aritmética general de los PIR, y ésta por su parte, está afectada por los elevados PIR señalados durante la etapa inicial para cada tratamiento. Por lo tanto, siendo la media aritmética muy sensible a los valores extremos, podemos asegurar que al reducir el valor de los PIR en la etapa inicial, se reduciría el valor del CV, lo cual evidencia imperfección en la programación de los calendarios de riego mediante la aplicación CW8 para los casos estudiados.

En el tabla 18 se presentan los valores promedios de los PIR del efecto tratamiento, en los calendarios para la ejecución del riego y los resultados de la prueba de comparación de medias de Tukey al 5%. Se encontraron evidencias significativas para asegurar que T<sub>3</sub> difiere del resto de los tratamientos aplicados con un promedio de PIR de 23,00 días, mientras que por su parte, los tratamientos T<sub>0</sub>; T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> (con promedios de PIR de 11,00 días; 13,67 días y 12,92 días, respectivamente) no presentaron diferencias significativas desde el punto de vista estadístico.

**Tabla 18.-** Promedios de PIR y prueba de comparación de medias (Tukey; P<0,05)

Tratamientos	Eventos de riego	Suma PIR (días)	Promedio PIR (días)	Varianza
T <sub>0</sub>	15	165	11,00 a	0
T <sub>1</sub>	12	164	13,67 a	105,88
T <sub>2</sub>	12	155	12,92 a	127,36
T <sub>3</sub>	7	161	23,00 b	58,33

Letras iguales en la misma columna; No presentaron diferencias significativas (Tukey, P<0,05).

Pardo y Proaño (2008), reportaron PIR de 10 días para la época seca y 20 días para la época húmeda (secano), pero en suelos de textura moderadamente arenosa, lo cual sugiere que en suelos de textura FAL estos valores pueden ser mayor. No obstante, el PIR es un valor máximo (Grassi, 2001), por lo que T<sub>2</sub> presenta superioridad sobre el resto de los tratamientos, bajo las condiciones edafoclimáticas descritas en este estudio.

#### 4.5.2.- Láminas aplicadas y caudal o gasto

##### 4.5.2.1.- Láminas aplicadas

La norma bruta de riego o lamina bruta (Lb) para cada tratamiento es presentada en la tabla 19. Los valores de Lb van desde 30,4 hasta 270,2 mm, desde 168,2 hasta 260,7 mm, desde 179,7 hasta 267 mm y desde 61,3 hasta 154,7 mm, para T<sub>0</sub>; T<sub>1</sub>; T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> respectivamente. Los valores máximos se presentan para el doceavo riego en T<sub>0</sub> y para el décimo riego en T<sub>1</sub>, lo cual coincide, en ambos casos, con la etapa media del

cultivo, mientras que para  $T_2$  y  $T_3$ , el valor máximo de Lb corresponde al octavo y al primer riego, en las etapas de desarrollo e inicial, respectivamente.

**Tabla 19.-** Norma bruta (lamina bruta) para cada tratamiento.

Evento de riego	$T_0$	$T_1$	$T_2$	$T_3$
1	30.4	168.2	179.7	154.7
2	40.7	192.3	186.5	146.8
3	51.2	199.4	201.8	61.3
4	83.9	222.2	219.3	147.7
5	104.5	233.9	237.1	144.4
6	122.5	237.8	243.4	136.5
7	164.4	257.8	254.3	121.9
8	195.6	245.1	267	SR
9	227.4	243.9	251	SR
10	250.1	260.7	256.7	SR
11	268.7	241	241	SR
12	270.2	255.2	257.6	SR
13	226.3	SR	SR	SR
14	192.3	SR	SR	SR
15	205	SR	SR	SR
Totales	2433.2	2757.5	2795.4	913.22

SR = Sin riego

Por otra parte, los valores mínimos de Lb se presentan durante el primer riego para  $T_0$ ;  $T_1$  y  $T_2$ , mismos que corresponden con la etapa inicial del cultivo, mientras que para  $T_3$ , este se presenta para el tercer riego, durante la etapa de desarrollo vegetativo.

El resultado del ANDEVA realizado para determinar la variabilidad de la Lb entre tratamientos (anexo I), revela que existen evidencias altamente significativas ( $P < 0,01$ ) para afirmar que los valores de Lb difieren en al menos dos de los tratamientos evaluados, con un CV de 28,7%. El alto valor encontrado para el CV ( $> 20\%$  (Negrín, 1982), refleja una desviación entre tratamientos, la cual se debe a los bajos valores de Lb para  $T_0$ , entre los riegos primero al cuarto. Esto indica que existe una sobrestimación de la Lb en  $T_1$  y  $T_2$  generada por el modelo CW8, lo que repercutió en problemas de escorrentía, percolación o lixiviación de nutrientes.

Los valores promedios de Lb del efecto tratamiento, evaluados en los calendarios para la ejecución del riego y los resultados de la prueba de comparación de medias de Tukey al 5%, son presentados en la tabla 20. Existen evidencias significativas para asegurar que hay semejanzas estadísticas entre T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> con promedios de 229,79 mm y 232,95 mm, respectivamente, y entre T<sub>0</sub> y T<sub>3</sub> con promedios de 162,21 mm y 130,46 mm, respectivamente. No obstante, el bajo promedio para la Lb en T<sub>0</sub>, está directamente influenciado por las bajas láminas aplicadas durante la etapa inicial del cultivo. Sin embargo, esta deficiencia es compensada con un mayor número de riegos total, lo cual implica a su vez un mayor gasto operacional.

**Tabla 20.-** Promedios de la Lamina bruta y prueba de comparación de medias (Tukey; P<0,05)

Tratamientos	Eventos de riego	Suma Lb (mm)	Promedio Lb (mm)	Varianza
T <sub>0</sub>	15	2433,2	162,21 b	7031,54
T <sub>1</sub>	12	2757,5	229,79 a	836,90
T <sub>2</sub>	12	2795,4	232,95 a	859,43
T <sub>3</sub>	7	913,22	130,45 b	1040,83

Letras iguales en la misma columna; No presentaron diferencias significativas (Tukey, P<0,05).

Por otra parte, la contribución del riego expresado en Lámina neta (Ln) y sus porcentajes respecto al aporte total, son presentados en la tabla 21. La contribución total de riego para el desarrollo del cultivo, respecto a los requerimientos de agua total, de T<sub>0</sub>; T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> es superior en comparación con la de T<sub>3</sub>, con valores de 32,2% para T<sub>0</sub>; de 31,9% para T<sub>1</sub> y de 32,3% para T<sub>2</sub>. Estos resultados se asemejan a lo reportado por Guntín *et al.*, (2005), quienes aseguraron que la demanda total de agua de la caña de azúcar oscila entre 1.683 y 1.880 mm anuales dependiendo de las condiciones de suelo y zona climática, de los cuales entre 300 y 600 mm deben ser cubiertos por el riego, es decir; entre 17,83% y 31,91%, respectivamente. Sin embargo, los requerimientos de agua de los cultivos pueden variar significativamente según las condiciones *edafoclimáticas* imperantes (Guntín *et al.*, 2005).

**Tabla 21.-** Contribución del riego expresado en Lámina neta (Ln) y porcentaje.

Condición hídrica	Método de cálculo	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
Precipitación total (mm)	<i>CropWat v-8.0</i>	1594.1	1594.1	1654.8	1594.1
PE (mm)	<i>CropWat v-8.0</i>	968.9	988.8	983.4	1010.0
Lamina bruta total (mm)	<i>CropWat v-8.0</i>	2780.6	2757.5	2789.3	1701.5
Ln (mm)	<i>CropWat v-8.0</i>	472.7	468.8	474.2	289.3
RAT (mm)	RRR + PE	1469.2	1469.2	1469.2	1469.2
RRR (mm)	<i>CropWat v-8.0</i>	500.3	480.4	485.8	459.2
RRR (%)	(RRR/RAT)*100	34.1	32.7	33.1	31.3
CTR (%)	(Ln/RAT)*100	32.2	31.9	32.3	19.7
Déficit de riego (mm)	RRR - Ln	27.6	11.6	11.6	169.9
Aporte real del riego (%)	(CTR/RRR)*100	94.5	97.6	97.6	63.0

RRR = Requerimientos reales de riego, RAT = Requerimientos de agua total, Ln = Lamina neta total, CTR = Contribución total de riego, PE = Precipitación efectiva total, CTR = Contribución total de riego.

El aporte real del riego alcanza valores cercanos al 100% de los requerimientos reales totales en T<sub>0</sub>; T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>, con 94,5%; 97,6% y 97,6%, respectivamente, mientras que para T<sub>3</sub>, este valor es de solo 63%. Por lo tanto, T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> presentan una mejor adecuación a los requerimientos totales de riego del cultivo, pero a expensas de los excesos aportados, mientras que T<sub>3</sub> puede perjudicar el desarrollo general del mismo, ya que no satisface sus necesidades hídricas totales durante la época seca.

#### 4.5.2.2.- Caudal o gasto

Los valores de caudal calculados en el módulo de programación del modelo CW8 y los valores reales aplicados en campo, son presentados en la tabla 22. Se refleja una amplia diferencia entre los valores generados por el modelo CW8 y los valores reales equivalentes por hectárea, con máximos de 2,84 y 158,3 l/s/ha; 3,98 y 157,3 l/s/ha y 3,68 y 156,8 l/s/ha, respectivamente para T<sub>0</sub>; T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>, y valores mínimos de 0,32 y 125,0 l/s/ha para T<sub>0</sub>; 0,41 y 138,0 l/s/ha para T<sub>1</sub> y 0,41 y 134,9 l/s/ha para T<sub>2</sub>. No obstante, Trezza (2003) asegura que el modelo CW8, toma en cuenta la eficiencia del sistema de riego para el campo de abastecimiento de agua y que todos los valores (ET<sub>0</sub>, K<sub>c</sub>, precipitación, lluvia efectiva, requerimiento de riego) corresponden a periodos decadiarios tomados por defecto por el modelo CW8.

**Tabla 22.-** Valores de caudal calculados (CW8) y reales aplicados.

<b>T<sub>0</sub></b>			<b>T<sub>1</sub></b>			<b>T<sub>2</sub></b>			<b>T<sub>3</sub></b>	
CW8 l/s/ha	Real l/s/ha l/s/sur		CW8 l/s/ha	Real l/s/ha l/s/sur		CW8 l/s/ha	Real l/s/ha l/s/sur		Real l/s/ha l/s/sur	
0.32	135.4	2.60	0.41	150.5	2.89	0.41	149.0	2.86	156.3	3.00
0.43	125.0	2.40	1.24	145.3	2.79	1.35	147.4	2.83	151.0	2.90
0.54	145.8	2.80	1.92	153.6	2.95	1.95	144.3	2.77	57.3	1.10
0.88	143.2	2.75	2.34	157.3	3.02	2.54	138.0	2.65	135.4	2.60
1.10	154.7	2.97	2.71	156.8	3.01	3.05	156.8	3.01	145.8	2.80
1.29	156.3	3.00	3.06	144.3	2.77	3.52	134.9	2.59	135.4	2.60
1.73	139.6	2.68	3.32	147.9	2.84	3.68	142.2	2.73	135.4	2.60
2.06	148.4	2.85	3.55	138.0	2.65	3.43	151.6	2.91	SR	SR
2.39	154.2	2.96	3.53	144.8	2.78	3.63	147.9	2.84	SR	SR
2.63	143.8	2.76	3.35	140.1	2.69	3.3	147.4	2.83	SR	SR
2.83	147.9	2.84	3.98	150.0	2.88	3.49	143.2	2.75	SR	SR
2.84	155.7	2.99	1.55	156.3	3.00	2.98	137.5	2.64	SR	SR
2.38	156.8	3.01	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR
2.02	155.7	2.99	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR
2.16	158.3	3.04	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR

l/s/sur = Litros por segundo por surco

l/s/ha = Litros por segundo por hectárea; equivalencia basada en el caudal aplicado en surcos de 192 m<sup>2</sup> (120 m por 1,6 m).

Por otra parte, los valores de déficit y excesos presentados en la tabla 23, evidencian una notable subestimación de los caudales reales por parte del modelo CW8, ya que con los caudales reales aplicados, no se alcanzó la totalidad de la norma de riego o Ln requerida en algunos de los eventos de riego. Esta diferencia puede estar afectada por uso o conversión de unidades por el modelo CW8.

**Tabla 23.-** Déficit y excesos en la lámina aplicada.

N°	<b>T<sub>0</sub></b>			<b>T<sub>1</sub></b>			<b>T<sub>2</sub></b>			<b>T<sub>3</sub></b>		
	Inf. (mm)	Ln (mm)	Exc-Def (mm)									
1	38.6	6.1	32.5	38.6	28.6	10.0	38.5	30.5	8.0	38.0	12.6	25.4
2	38.6	8.1	30.5	38.5	32.7	5.8	38.7	31.7	7.0	37.9	32.2	5.7
3	38.9	10.2	28.7	38.8	33.9	4.9	38.6	34.3	4.3	38.2	42.2	-4.0
4	38.7	16.8	21.9	38.7	37.8	0.9	38.6	37.3	1.3	38.9	48.2	-9.4
5	38.7	20.9	17.8	38.4	39.8	-1.4	38.8	40.3	-1.5	38.0	47.2	-9.3
6	38.6	24.5	14.1	38.5	40.4	-1.9	38.8	41.4	-2.6	38.0	47.2	-9.2
7	39.1	32.9	6.2	38.5	43.8	-5.3	38.6	43.2	-4.6	37.7	43.2	-5.5
8	39.1	39.1	0.0	38.7	41.7	-3.0	38.6	45.4	-6.8	SR	SR	SR
9	38.7	45.5	-6.8	38.6	41.5	-2.9	38.5	42.7	-4.2	SR	SR	SR
10	38.7	50.0	-11.3	38.8	44.3	-5.5	38.6	43.6	-5.0	SR	SR	SR
11	38.9	53.7	-14.8	38.6	41.0	-2.4	38.5	41.0	-2.5	SR	SR	SR
12	38.9	54.0	-15.1	39.0	43.4	-4.4	38.6	43.8	-5.2	SR	SR	SR
13	38.8	45.3	-6.5	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR
14	38.9	38.5	0.4	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR
15	38.7	41.0	-2.3	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR

Inf. = Lámina infiltrada según los tiempos de riego (anexo C), Ln = Lámina neta o norma de riego (anexo D), Exc-Def = Excesos y déficit de riego, SR = Sin riego.

En las figuras 8; 9 y 10 son presentados los valores de déficit y excesos correspondientes a los eventos de riego. Los excesos en la lámina aplicada van desde el riego número uno al riego número siete en  $T_0$  (a mediados de la etapa de desarrollo del cultivo), mientras que en  $T_1$  y  $T_2$  los excesos en la lámina aplicada se distribuyen entre los riegos uno y cuatro, lo que corresponde a mediados de la etapa de desarrollo en ambos casos. Por su parte, en  $T_3$  los excesos se presentaron solo en los riegos uno y dos, durante la etapa inicial del cultivo.

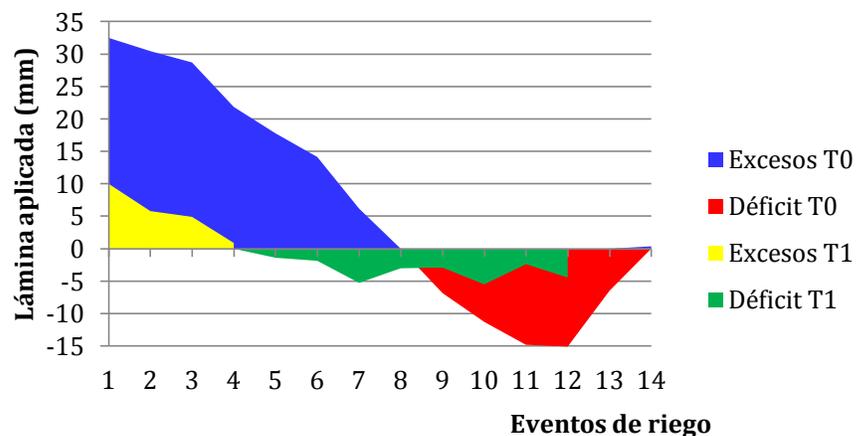


Figura 8.- Déficit y excesos de las láminas aplicadas en  $T_1$ .

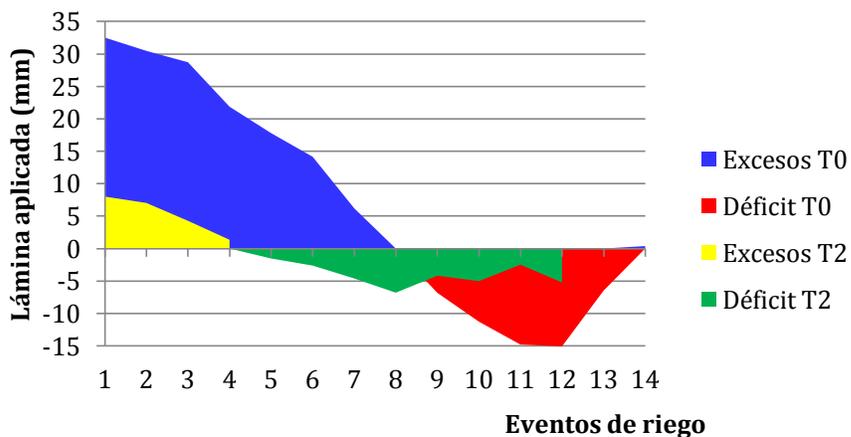
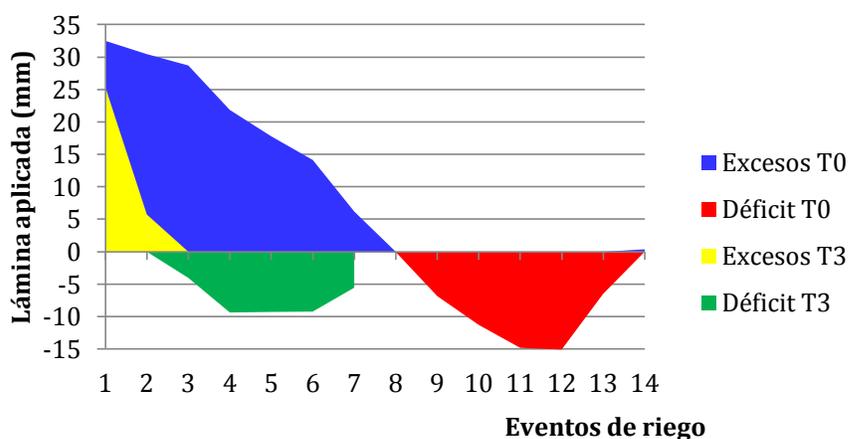


Figura 9.- Déficit y excesos de las láminas aplicadas en  $T_2$ .

Por otra parte, los déficits en la lámina aplicada van desde el riego número nueve hasta el riego número trece en  $T_0$ , lo cual corresponde a las etapas de mediados de desarrollo y media del cultivo. Por su parte, los déficit en la lámina aplicada aparecen desde el 5<sup>to</sup> riego en adelante, conjuntamente para  $T_1$  y  $T_2$ , abarcando mediados de la etapa de desarrollo y la etapa media del cultivo en ambos casos. Mientras que para  $T_3$ , los déficit van desde el 3<sup>er</sup> riego en adelante, durante toda la etapa de desarrollo y la etapa media de cultivo.



**Figura 10.-** Déficit y excesos de las láminas aplicadas en  $T_3$ .

Los resultados del ANDEVA (anexo J) reflejan que no existen evidencias significativas para asegurar que hay diferencias entre tratamientos, en relación a los déficit y excesos originados por los caudales aplicados, con un CV de 11,28% (< 20% (Negrín, 1982)). No obstante,  $T_1$  y  $T_2$  presentan un patrón de variaciones más compacto en comparación con  $T_0$ , lo que indica que presentan menos situaciones de estrés hídrico en las plantas por déficit o por excesos de humedad.

Por último, para evitar situaciones muy acentuadas de déficit y excesos, se sugiere reducir los caudales aplicados a valores de entre 0,85 y 1,00 l s<sup>-1</sup> en surco, y aumentar los tiempos de riego en función de la norma deseada; “Tiempo de riego = Ln / Infiltración” de acuerdo con Grassi (2001), exceptuando a  $T_3$ , ya que debido a que sus

PIR fueron más prolongados, se presenta un mayor porcentaje de agotamiento, por lo que la norma requerida es mayor, en consecuencia, sería necesario reducir aún más los caudales e incrementar los tiempos de riego, como se muestra en la tabla 24, lo cual resulta contraproducente a efectos logísticos. De esta manera, es posible incrementar la eficiencia del sistema, regar una mayor superficie cultivada y mejorar el rendimiento hombre por jornada.

**Tabla 24.-** Caudales y tiempos de riego sugeridos por tratamiento.

N°	T <sub>0</sub>			T <sub>1</sub>			T <sub>2</sub>			T <sub>3</sub>		
	Tr (h)	Q l/s/ha	Q l/s/s	Tr (h)	Q l/s/ha	Q l/s/s	Tr (h)	Q l/s/ha	Q l/s/s	Tr (h)	Q l/s/ha	Q l/s/s
1	1.91	44.30	0.85	8.94	52.28	1.00	9.53	52.37	1.01	3.93	109.47	2.10
2	2.53	44.66	0.86	10.22	52.27	1.00	9.91	52.30	1.00	10.05	40.58	0.78
3	3.19	44.62	0.86	10.59	52.28	1.00	10.72	52.30	1.00	13.19	31.08	0.60
4	5.25	44.39	0.85	11.81	52.25	1.00	11.66	52.26	1.00	15.08	27.22	0.52
5	6.53	44.44	0.85	12.44	52.24	1.00	12.59	52.30	1.00	14.76	27.17	0.52
6	7.66	44.44	0.85	12.63	52.32	1.00	12.94	52.26	1.00	14.76	25.68	0.49
7	10.28	44.42	0.85	13.69	52.32	1.00	13.50	52.33	1.00	13.51	25.07	0.48
8	12.22	44.47	0.85	13.03	52.25	1.00	14.19	52.28	1.00	SR	SR	SR
9	14.22	44.42	0.85	12.97	52.24	1.00	13.34	52.25	1.00	SR	SR	SR
10	15.63	44.46	0.85	13.84	52.31	1.00	13.63	52.33	1.00	SR	SR	SR
11	16.78	44.48	0.85	12.81	52.25	1.00	12.81	52.25	1.00	SR	SR	SR
12	16.88	44.48	0.85	13.56	52.27	1.00	13.69	52.28	1.00	SR	SR	SR
13	14.16	44.41	0.85	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR
14	12.03	44.40	0.85	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR
15	12.81	44.44	0.85	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR

Tr = Tiempo de riego. Q = Caudal. l/s/s = Litros por segundo por surco. SR = Sin riego

#### 4.5.3.- Mediciones biométricas y producción estimada

##### 4.5.3.1.- Mediciones biométricas

Los valores promedio de los parámetros biométricos (L/N y DT) medidos y utilizados como indicadores del desarrollo vegetativo del cultivo, son resumidos en la tabla 25. Los valores de L/N - DT a los 30 días de edad del cultivo fueron de 1,72 - 0,38 cm; 1,27 - 0,26 cm; 1,20 - 0,25 cm y 2,3 - 2,37 cm para T<sub>0</sub>; T<sub>1</sub>; T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>, respectivamente, mientras que al final del periodo de riego (150 días) fueron de 8,62-

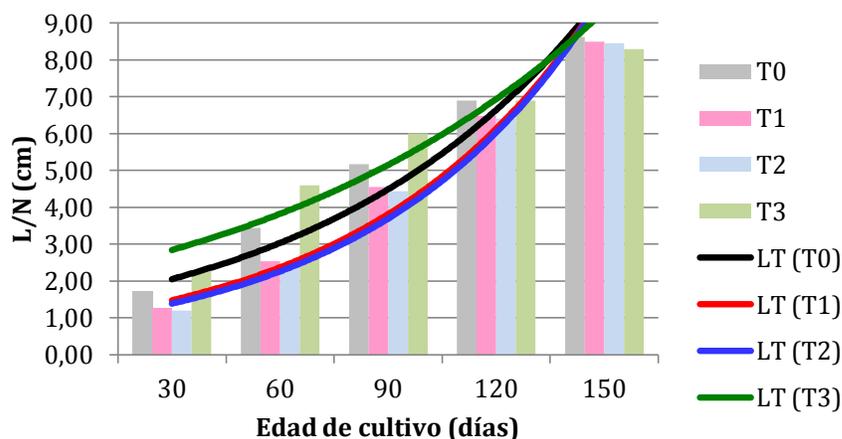
1,91 cm; 8,50 - 1,75 cm; 8,45 - 1,73 cm y 8,30 - 1,35 cm para T<sub>0</sub>; T<sub>1</sub>; T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>, respectivamente.

**Tabla 25.-** Promedios de longitud entre nudos y diámetro del tallo.

Edad (días)	T <sub>0</sub>		T <sub>1</sub>		T <sub>2</sub>		T <sub>3</sub>	
	L/N (cm)	DT (cm)						
30	1.72	0.38	1.27	0.26	1.20	0.25	2.30	0.37
60	3.45	0.76	2.54	0.52	2.40	0.49	4.60	0.75
90	5.17	1.15	4.56	0.94	4.44	0.91	6.00	0.98
120	6.90	1.53	6.48	1.33	6.40	1.31	6.90	1.12
150	8.62	1.91	8.50	1.75	8.45	1.73	8.30	1.35

L/N = Longitud entre nudos, DT = Diámetro del tallo

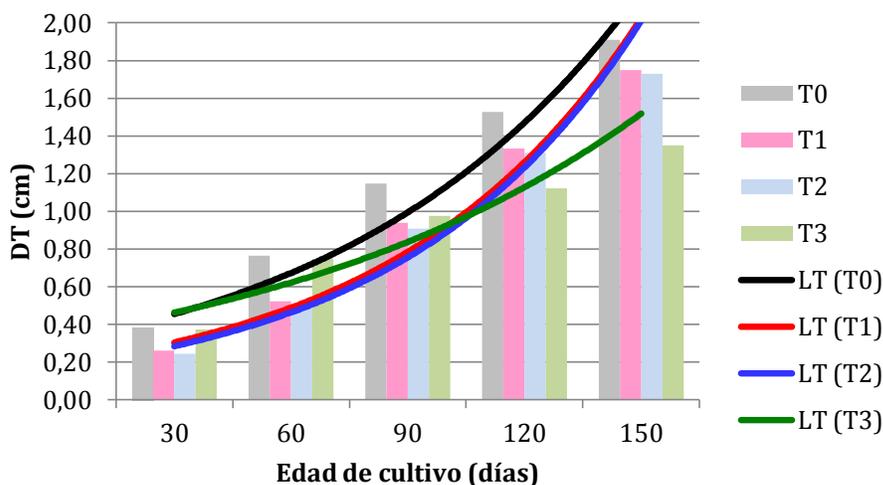
En la figura 11 son presentadas las líneas de tendencia de crecimiento de L/N. Es posible apreciar un crecimiento inferior al inicio del periodo vegetativo en T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>, mientras que en T<sub>3</sub> se presenta un crecimiento superior al ser comparados con T<sub>0</sub>. Estas variaciones pudieron haber sido originadas por los PIR prolongados en T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>, y PIR reducidos en T<sub>3</sub> durante la etapa inicial de cultivo, lo cual evidencia un crecimiento más lento en T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> debido al estrés hídrico ocasionado, mientras que en T<sub>3</sub> el crecimiento es más acelerado. Sin embargo, la L/N tiende a igualarse en todos los tratamientos a medida que aumenta la edad de cultivo.



**Figura 11.-** Tendencias de crecimiento de la longitud entre nudos.

Los resultados del ANDEVA reflejan que no existen evidencias significativas (Tukey,  $P < 0,05$ ) para asegurar que hay diferencias entre tratamientos (anexo K), con un CV de 2,18% ( $< 20\%$  (Negrín, 1982)). No obstante, aunque  $T_3$  presenta un comportamiento superior al resto de los tratamientos, su tendencia final es hacia la igualdad, por lo tanto, los PIR prolongados no afectan de manera significativa este parámetro.

Por otra parte, las líneas de tendencia de crecimiento del DT presentadas en la figura 12, reflejan un desarrollo similar, aunque ligeramente inferior en  $T_1$  y  $T_2$ , al ser comparadas con  $T_0$ . Esta inferioridad sugiere escaso desarrollo, debido al estrés por déficit hídrico causado en la etapa inicial del cultivo, cuya recuperación es lenta. No obstante, se aprecia una marcada afectación por déficit hídrico en  $T_3$ , ya que, pese a una superioridad inicial en el crecimiento, esta tiende a desacelerarse al incrementarse la edad del cultivo, hasta llegar a niveles inferiores respecto al resto de los tratamientos. Esta desaceleración evidencia una marcada influencia del riego, ya que el cultivo sacrifica el espesor del tallo para dar prioridad al crecimiento.



**Figura 12.-** Tendencia de crecimiento de diámetro del tallo.

Por otra parte, no se encontraron evidencias significativas (Tukey,  $P < 0,05$ ) para asegurar que hay diferencias entre tratamientos, de acuerdo con los resultados del ANDEVA presentados en el anexo L, cuyo CV de 2,24% ( $< 20\%$  (Negrín, 1982)). No obstante, la evidente tendencia a la desaceleración de los valores de DT presentados para  $T_3$  sugiere una potencial reducción en el rendimiento final del cultivo.

#### 4.5.3.2.- Producción estimada

En la tabla 26 son presentados los valores finales (en cosecha) obtenidos para la L/N – DT, los cuales se corresponden con las tendencias mostradas. El valor de la L/N es inferior al reportado por Peña (2012) para la variedad CC 85-92 en todos los tratamientos, mientras que el valor del DT es inferior al reportado por Peña (2012) en todos los tratamientos, pero superior a los valores reportados por Fernández (2004) para la variedad San Pablo 72 y por Digonzelli (2009) para la variedad LCP 85-384, solo en  $T_0$ ;  $T_1$ ;  $T_2$ . El desarrollo de estas variedades puede estar afectado no solo por el potencial genético, sino además por las condiciones edafoclimáticas de cultivo.

**Tabla 26.-** Longitud entre nudos y diámetro del tallo en cosecha.

Autor	Variedad	Comparado		Encontrado								
		L / N	$\Phi$ T	$T_0$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_0$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	
		(cm)	(cm)	L / N (cm)				$\Phi$ T (cm)				
Fernández (2004)	San Pablo 72	---	2,20									
Digonzelli (2009)	LCP 85-384	---	2,05	12,93	12,89	12,76	12,18	2,86	2,63	2,60	2,03	
Peña (2012)	CC 85-92	13,85	3,33									

L/N = Longitud entre nudos,  $\Phi$  T = Diámetro del tallo

Los valores de producción estimada en toneladas métricas (TM) por hectárea y sus porcentajes de pérdida, son presentados en la tabla 27. La producción estimada alcanzó valores de 79,07; 72,75; 71,96 y 53,77 TM/ha, respectivamente para  $T_0$ ;  $T_1$ ;  $T_2$  y  $T_3$ , siendo superior en todos los casos al promedio general de la finca, cuyo valor es de 43,37 TM/ha, mientras que las pérdidas estimadas se ubicaron en 8,0 y 9,0 %

para T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> respectivamente en comparación con T<sub>0</sub>, lo cual coincide con el 8,9 % de pérdidas en riego con lamina fija reportado por Trezza *et al.* (2008).

**Tabla 27.-** Producción estimada y porcentaje de pérdidas.

Tratamiento	P / T (kg)	T / m	Producción estimada (TM)		Perdidas (%)	
			Parcela	Hectárea	Estimada	CW8
T <sub>0</sub>	0.68	18.50	8,99	79,07	0,0	1,6
T <sub>1</sub>	0.63	18.50	8,28	72,75	8,0	0,0
T <sub>2</sub>	0.62	18.50	8,19	71,96	9,0	0,0
T <sub>3</sub>	0.46	18.50	6,12	53,77	32,0	16,2

P / T = Peso por tallos, T / m = Tallos por metro lineal

Por su parte, T<sub>3</sub> presentó una reducción del rendimiento mucho mayor (32,0 %) en comparación con T<sub>0</sub>. Esta reducción en el rendimiento pudiera estar asociada a los PIR prolongados descritos para T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> al inicio de cultivo y a los PIR prolongados e irregulares suscitados para T<sub>3</sub>, durante toda la etapa de riego, ya que de acuerdo con Allen *et al.* (1998), en general para todo el período de cultivo, la disminución en el rendimiento es proporcionalmente mayor con el aumento del déficit hídrico ( $K_y > 1$ ) para cultivos caña de azúcar.

Por otro lado, los porcentajes de perdidas estimados son superiores a los valores reportados por el modelo CW8 para T<sub>1</sub>; T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>, lo cual indica una subestimación de este valor. Esta situación se debe a que el método de *P-M* es utilizado solo para la estimación de la tasa de ETo del cultivo estándar de referencia (Allen *et al.*, 1998), debido a una considerable falta de información para los diferentes cultivos. Por lo tanto, el modelo CW8 asume que las necesidades hídricas de los cultivos son satisfechas completamente, lo cual no ocurre con frecuencia (Aldaya *et al.*, 2008). Esto implica que la demanda evapotranspiratoria calculada en el modelo fue menor que la real mientras que la producción en toneladas por hectárea es menor que la supuesta.

## CONCLUSIONES

La información climática proveniente de la estación meteorológica ANVC no presenta limitantes para la generación de los calendarios de riego a través del modelo *CW8*, no obstante, la ausencia de los últimos 9 ó 29 años de los reportes climáticos requeridos para la gestión del riego.

La corta duración de la serie de registros de precipitación, procedente de la finca Las Brujitas, no mostró diferencias significativas en las variables estudiadas, en comparación con los resultados obtenidos a merced de los datos de precipitación procedentes del ANVC. Por otra parte, la agrupación de eventos consecutivos y la omisión de los valores “cero” no influyen en la determinación de los requerimientos de agua del cultivo, ya que el modelo *CW8* efectúa este cálculo en periodos decadiarios. No obstante, las anomalías encontradas en el análisis estadístico.

Las condiciones edáficas no representan limitantes para el desarrollo de cultivos comerciales de caña de azúcar, a excepción del contenido de limo y la profundidad efectiva, no obstante, el valor del PMP sugiere una reducción del contenido de agua útil en el suelo.

Los métodos opcionales para el cálculo de la precipitación efectiva en el menú configuración del modelo *CW8*, presentan poca sensibilidad a los razonamientos teóricos para este parámetro, a excepción del método F-Emp, el cual se ajusta mejor a los conceptos y principios fundamentales para su correcta utilización.

La baja eficiencia global de riego encontrada, refleja los riesgos de seleccionar este valor a través de la literatura científica especializada, ya que en esta se sobreestiman los valores reales que suelen depender de las condiciones locales y operativas de cada sistema.

Los prolongados PIR observados durante la etapa inicial de cultivo están influenciados por los datos climáticos disponibles y por el valor de  $K_c$  (tomado de la literatura), el cual no se adapta a las condiciones edafoclimáticas constituidas en el presente trabajo.

Los valores de  $L_b$  fueron sobreestimados por el modelo *CW8* en todos los tratamientos. No obstante, más del 94 % de los requerimientos totales de agua del cultivo expresados en  $L_n$  fueron satisfechos en  $T_1$ ;  $T_2$  y  $T_3$ , pero a expensas de los excesos aportados.

Los caudales aportados fueron superiores a los caudales calculados por el modelo predictivo *CW8* en todos los tratamientos, lo que evidencia subestimación de este parámetro por parte del modelo.

La  $L/N$  no es afectada de manera significativa por los PIR prolongados, ya que este tiende a igualarse entre tratamientos. Sin embargo, el DT presenta mayor afectación debido al estrés por déficit hídrico causado en las etapas iniciales de cultivo.

Los porcentajes de pérdidas estimados fueron superiores a los auspicios del modelo predictivo *CW8* en todos los tratamientos, lo cual indica subestimación de este valor debido a que las necesidades hídricas del cultivo en su etapa inicial no fueron satisfechas.

La programación del riego a través del modelo predictivo *CW8*, con los datos climáticos disponibles y la información edáfica local, es viable siempre y cuando se consideren los aspectos generales descritos en este trabajo.

## RECOMENDACIONES

Fomentar la actualización de los reportes climáticos en la página web del INAMEH, ya que su accesibilidad es de carácter imperativo en la gestión del riego.

Usar valores de eficiencia global de riego ajustados a la realidad local, para la configuración del modelo *CW8* y modificar el valor del  $K_c$  inicial para reducir los PIR en esta etapa.

Realizar los cálculos de ADT de acuerdo al método solicitado en *CW8*, ya que la variabilidad encontrada en la literatura para el cálculo de este parámetro podría resultar difusa.

Determinar los caudales en función de la norma deseada, de los tiempos de riego y de la Infiltración básica, ya que el modelo predictivo *CW8* subestima estos valores.

Repetir el presente trabajo para incluir una comparación entre el balance de agua en el suelo reportado por el modelo *CW8* y el contenido real de humedad en el mismo, al momento de los eventos de riego. Además, considerar la pendiente longitudinal de los surcos e incluir otras variables agronómicas de rendimiento, como por ejemplo; grados Brix.

## BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Aldaya, M., Llamas, M., Garrido, A. y Varela, C. 2008. Importancia del conocimiento de la huella hidrológica para la política española del agua. Revista Encuentros Multidisciplinares. 10(29): 1-12. [Revista en línea]. En; <http://oa.upm.es/2239/>. [Consulta: Julio, 25 de 2010].
- Allen, R., Pereira, D and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. Series Irrigation and Drainage. Paper FAO-56. Roma. 322 p. [Libro en línea]. En; [http://www4.fao.org/cgi-bin/faobib.exe?vq\\_query=A%3DAllen,%20R.G.&database=faobib&search\\_type=view\\_query\\_search&table=mona&page\\_header=ephmon&lang=eng](http://www4.fao.org/cgi-bin/faobib.exe?vq_query=A%3DAllen,%20R.G.&database=faobib&search_type=view_query_search&table=mona&page_header=ephmon&lang=eng). [Consulta: junio, 01 de 2015].
- Alvarado, A y Forsythe, W. 2005. Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. Revista Agronomía Costarricense 29(1): 85-94. [Revista en línea]. En; [http://www.mag.go.cr/rev\\_agr/v29n01\\_085.pdf](http://www.mag.go.cr/rev_agr/v29n01_085.pdf). [Consulta: julio, 01 de 2014].
- Álvarez, J. and Fernández, J. 2010. Evaluating erosion in an Inceptisol (soil) in Tunja (Boyacá department, Colombia) having different coverage regarding the impact of simulated rainfall. Revista Ingeniería e Investigación. 29: 86-91. [Revista en línea]. En; <http://doaj.org/toc/be86c5b12dfc469eb492c1ad96fb7ead/29>. [Consulta: Noviembre, 09 de 2014].
- Cabrera, R. 1994. Consideraciones sobre la tecnología del riego superficial en caña de azúcar. Revista Caña de Azúcar. 12(2): 85- 97. [Revista en línea]. En; [http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas\\_ci/canadeazucar/tcca\\_12.htm#No.2](http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/canadeazucar/tcca_12.htm#No.2). [Consulta: Noviembre, 09 de 2014].
- Digonzelli, P.; Romero, E; Scandaliaris, J. Giardina, J. 2009. Comparación de la calidad de semilla de caña de azúcar en el segundo corte según el método de saneamiento. Revista Industrial y Agrícola de Tucumán. 86(1): 1-8. [Revista en línea]. En; [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1851-30182009000100001&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1851-30182009000100001&script=sci_arttext). [Consulta: Octubre, 27 de 2014].
- Doorenbos, J. and Pruitt, W. O. 1977. Crop water requirements. Series Irrigation and Drainage. Paper FAO-24. Roma. 145 p. [Libro en línea]. En; [http://www4.fao.org/cgi-bin/faobib.exe?vq\\_query=A%3DDoorenbos,%20J.&database=faobib&search\\_type=view\\_query\\_search&table=mona&page\\_header=ephmon&lang=eng](http://www4.fao.org/cgi-bin/faobib.exe?vq_query=A%3DDoorenbos,%20J.&database=faobib&search_type=view_query_search&table=mona&page_header=ephmon&lang=eng). [Consulta: junio, 01 de 2015].

- Doorenbos, J., Kassam, A., Bentvelsen, C., Branscheid, V. and Plusje, J. 1979. Yield response to water. Series Irrigation and Drainage. Paper FAO-33. Roma. 200 p. [Libro en línea]. En; [http://www4.fao.org/cgi-bin/faobib.exe?vq\\_query=A%3D%20Doorenbos,%20J.&database=faobib&search\\_type=view\\_query\\_search&table=mona&page\\_header=ephmon&lang=eng](http://www4.fao.org/cgi-bin/faobib.exe?vq_query=A%3D%20Doorenbos,%20J.&database=faobib&search_type=view_query_search&table=mona&page_header=ephmon&lang=eng). [Consulta: junio, 01 de 2015].
- Ewel, J., Madriz, A. y Toso, J. 1976. Zonas de vida de Venezuela. Memorias sobre el mapa ecológico. FONAIAP. Caracas.
- FEDEAGRO. 2015. Confederación de Asociaciones de Productores Agropecuarios. Estadísticas agropecuarias. <http://www.fedeagro.org/>
- Fernández, O.; Pérez, R. y Gubinelli, A. 2004. Influencia de la variabilidad espacial del suelo sobre parámetros del cultivo caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en Monay, estado Trujillo. *Venesuelos* 12:30-43.
- Grassi, C. 2001. Operación y mantenimiento de sistemas de riego. Serie Riego y Drenaje. RD-44. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT-Mérida, Venezuela). 2<sup>da</sup> edición.
- Grassi, C. 1993. Fundamentos de riego. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial CIDIAT. Mérida, Venezuela. 325 p.
- Guerrero, J. 2010. Evaluación del riego por surcos alternos y continuos para el uso eficiente del agua en el cultivo caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). Tesis de Maestría. UNELLEZ, Guanare. 153 pp.
- Guevara, J. M. 2003. Métodos de estimación y ajuste de datos climáticos. Boletín Técnico N° 13. 2da edición. Editorial de la Universidad central de Venezuela. Caracas, Venezuela. 128 p.
- Guevara, J. M. 2006. La fórmula Penman-Monteith FAO 1998 para determinar la evapotranspiración de referencia, ETo. *Revista Terra* 22(31): 31-72. [Revista en línea]. En; [http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev\\_terr/issue/view/179/showToc](http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_terr/issue/view/179/showToc). [Consulta: Junio, 01 de 2015].
- Guntín, M., Tejeda, V. y Pérez, J. R. 2005. Un estudio de las condiciones edafoclimáticas en el norte de las tunas para el cálculo de las necesidades hídricas del cultivo de la caña de azúcar. EPICA Tunas. Majibacoa. [Documento en línea]. En; <http://www.santiago.cu/hosting/etica/Sede40/tec/t33.htm>. [Consulta: Abril, 12 de 2010].

- Ibañez, A.; Gisbert, B. y Moreno, R. (2011). *Inceptisoles*. Universidad Politécnica de Valencia. [Documento en línea]. En: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12884/inceptisoles.pdf?sequence=3>. [Consulta: Marzo, 22 de 2014].
- INAMEH (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología). 2012. Web: <http://www.inameh.gob.ve>
- Lozano, Z; Lobo, D. y Pla, I. 2000. Diagnóstico de limitaciones físicas en *Inceptisoles* de los llanos occidentales venezolanos. Revista Bioagro 12(1): 15-24.
- Lozano, Z. 2006. Muestreo con fines de caracterización y evaluación de propiedades de los suelos. Revista VENESUELOS 14(1): 70-79.
- Manual Técnico Agroisleña. Edición 2008. Pp 398. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.agroisleña.com/default.php>. [Consulta: Agosto, 17 de 2010].
- Manrique, A. y Mancilla, L. 1997. Efecto de las épocas de corte, dos fuentes nitrogenadas y tres niveles de nitrógeno en la producción y calidad de la semilla de *Andropogon gayanus* Kunth. Zootecnia Tropical, 15(1):17-30.
- Martelo M. 1989. Selección de la fórmula de evapotranspiración mejor adaptada al área de Guanare-Masparro. Revista de la Facultad de Agronomía, UCV. 15: 185-206.
- Martínez, R., Boueri, M. y Escalona, P. (2005). Correlación entre la evaporación en tina y la evapotranspiración de referencia en cinco estaciones climatológicas de Venezuela. Revista BIOAGRO. 17(2): 79-83.
- Meneses, J. 2000. ¿Cómo elevar la eficiencia del riego por gravedad en el cultivo de la caña de azúcar?. INICA-MINAZ. Estación territorial de investigaciones de la caña de azúcar, Habana-pinar del Río (Cuba). [Documento en línea]. En: <http://www.fao.org/docs/eims/upload/cuba/1042/cuf0100s.pdf>. [Consulta: agosto, 12 de 2013].
- MAT-CVA (Ministerio de Agricultura y Tierras y Corporación Venezolana Agraria). 2005. Curso para cañicultores. Servicio Autónomo Imprenta Oficial del estado Lara, Venezuela. 83 pp.
- Negrín, A. 1982. Iniciación a la estadística. Editorial José Martí. Caracas, Venezuela. Pp. 307-315.
- Nuñez, G., Lahoud, F. y Trezza, R. 2009. Historia del riego en Venezuela - una versión crítica. Revista ACADEMIA, 8(15): 73-85.

- Pardo, J. y Proaño, J. 2008. Programación del riego mediante el balance hídrico en una plantación de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en el Cantón Marcelino Maridueña provincia de Guayas. In XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Universidad Agraria del Ecuador [Documento en línea]. En; <http://sites.google.com/site/uaeproyectosdeinvestigacion/coupons>. [Consulta: Julio, 09 de 2010].
- Peña, J. (2012). Evaluación de los efectos en las propiedades hidrodinámicas de un suelo *Inceptisol* y en el desarrollo de un cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) por la aplicación de *biosólidos* provenientes de la PTAR cañaveralejo de Cali. Revista EIDENAR. 11:51-62. [Revista en línea]. En; <http://eidenar.uni valle.edu.co/revista.htm>. [Consulta: Noviembre, 02 de 2014].
- Pérez, H. y Terán, G. 1980. Efecto del régimen de riego sobre el comportamiento de variedades de caña de azúcar en el sistema de riego Río Guanare. Centro de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras (CIDIAT) y Ministerio de Agricultura y Cría; Dirección General de Riego, Dirección de Desarrollo Agro-económico y División de Tecnología Aplicada.
- Pérez, M., Puche, M. y Bracho, G. 2007. Herramientas para el control de calidad de datos climáticos y su análisis con fines de uso agropecuarios. Revista CENIAP HOY. Número 13.
- Rázuri, L., Grismaldo, J., Linares, D., Rosales, J., Romero, E. y Hernández, J. 2005. Validación del modelo LEACHM para predecir la salinidad en un suelo del valle de Quibor, con cultivo de cebolla bajo riego localizado. Revista Forestal Latinoamericana. 20 2(38): 97–117. [Revista en línea]. En; <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/4892>. [Consulta: Julio, 15 de 2010].
- Rodríguez, T. 1999. Métodos propuestos por la FAO para estimar la evapotranspiración y su aplicación en el cultivo de la caña de azúcar. Tesis presentada en opción al grado científico de Master en Ciencias en Riego y Drenaje. UNAH-IIRD, La Habana, Cuba, 97 pp. [Documento en línea]. En; <http://www.cbmet.com/cbm-files/12-3e26b376daaf4fb68e2892c2b8c8afe5.pdf>. [Consulta: Julio, 15 de 2010].
- Salas, S. y Quero, A. 1983. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora (UNELLEZ-Guanare), Centro cartográfico y Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, Dirección General de Información e Investigación del Ambiente y Dirección de Suelos, Vegetación y Fauna, Programa Inventario Nacional de Tierras.
- Schilardi, C. 2010. Desempeño del riego por superficie en el área de regadío de la cuenca del río Tunuyán superior, Mendoza, Argentina. Tesis de maestría en riego y drenaje. Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ciencias

- Agrarias. [Documento en línea]. En; [http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos\\_digitales/3639/tesis-schilardi-01-11-2010.pdf](http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/3639/tesis-schilardi-01-11-2010.pdf). [Consulta: Noviembre, 10 de 2014].
- Trezza, R. 2003. Cropwat para windows. Web del Profesor. [Documento en línea]. En; [http://webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/rtrezza/CROPWAT\\_MANUAL.pdf](http://webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/rtrezza/CROPWAT_MANUAL.pdf). [Consulta: Junio, 10 de 2010].
- Trezza, R., Pacheco, Y., Suárez, Y., Núñez, A. y Umbría, I. 2008. Programación del riego en caña de azúcar en una zona semiárida del estado Lara, Venezuela, utilizando la metodología FAO-56. Revista BIOAGRO. 20(1): 21-27.
- Trezza, R. 2008. Estimación de evapotranspiración de referencia a nivel mensual en Venezuela. ¿Cuál método utilizar?. Revista BIOAGRO. 20(2): 89-95.
- Venezuela. 1999. Constitución de la República Bolivariana de Venezuela. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 36.860. Caracas, diciembre 30.
- Venezuela. 2006. Ley de Meteorología e Hidrología Nacional. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 5.833. Caracas, diciembre 22.
- Venezuela. 2007. Ley de Aguas. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 38.595. Caracas, enero 02.
- Venezuela. 2013. Ley del Plan de la Patria, Segundo Plan Socialista de Desarrollo Económico y Social de la Nación 2013-2019. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 6.118 Extraordinario. Caracas, diciembre 04.
- Viveros, C. 2011. Identificación de características asociadas con la mayor eficiencia en el uso de agua para la producción de caña de azúcar. Tesis doctoral en ciencias agropecuarias, área agraria con énfasis en fitomejoramiento. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ciencias agropecuarias. Coordinación general de postgrados, Palmira. [Documento en línea]. En; <http://www.bdigital.unal.edu.co/5839/1/carlosarturoviverosvalens.2011.pdf> [Consulta: Junio, 18 de 2014].

## ANEXO A.- Registros de precipitación diaria-anual; finca Las Brujitas.

### Año 2012

Mes	Días																															Total			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
Ene																																			0
Feb								10																											10
Mar			6							15						6							31	20	40	30		10						158	
Abr		6							26	11										11			7		27									88	
May			50	88		24	32		6	10		39	29				13					78	11	17	30		22	27	28				504		
Jun	27							118	28	10		9	46	91		15	8						8		36			6					402		
Jul	10		35		20		7				12	14			21	15	5	6	18			27		23	8		84						305		
Ago	4		46				6			18	3	26			8	38	26			46				20		11	12						264		
Sep	9					15				26	17		3				52						14	18		8	18						180		
Oct	32	12					13						64	25								13					20						179		
Nov																													30					30	
Dic																		12							10									22	

### Año 2011

Mes	Días																															Total			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
Ene																																		5	5
Feb																																			0
Mar																									45										45
Abr				22									49	75	9	12	18	11					10											206	
May	85				35			12	33		17	103	10		15						22			52			22	20					426		
Jun						25		19	62	12							9	12		3	45			2				4						193	
Jul			9		50				52	8	6						2					20					20							167	
Ago						65			25					19						30			15	15				2						171	
Sep	31								40		20	10		45			22						59											227	
Oct			38	40			7					16					70	1		12							16	68						268	
Nov					70						7	17					8	7													20			129	
Dic	2										17																					4		23	





## Año 2001

Mes	Días																															Total		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
Ene																																		0
Feb																																		0
Mar																					22					20	10							52
Abr				15	15																													30
May					10		35	85					10	15	15		65											15	15		45		310	
Jun	120									20				50						65					10		15		35			315		
Jul				15			15						15	15		30												40					130	
Ago	30	30					40	20					30						20		20												190	
Sep	30			10							35	35			35			20		65													230	
Oct					20					10					20								40	15						20			125	
Nov																																		0
Dic									15	15					20	30										30								110

## Año 2000

Mes	Días																															Total		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
Ene																																		0
Feb																						8	5											13
Mar																							19	15	24									58
Abr				10																			30	15										55
May					15				12	20											10	15						25	30					127
Jun	10				10		30	50					45			10					15	30						45					245	
Jul					110	15							20	90						20			5					40					300	
Ago				30			25	15					10		30								35				10		10				165	
Sep			30							30	20			10	10			20				40	35										195	
Oct		30					15			20					16																			81
Nov					10										20	30																		60
Dic																														20				20

## ANEXO B.- Registros climáticos mensual-anual; Aeropuerto Nacional Virgen de Coromoto

### Datos mensuales de temperatura mínima (°C)

N° Reg	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
1	1973	20.7	21.0	22.7	23.5	22.4	22.1	21.1	20.5	21.3	21.9	21.7	19.4	19.4
2	1974	19.3	20.7	21.8	23.2	22.0	21.9	20.7	21.1	20.7	21.3	21.3	18.4	18.4
3	1975	19.1	21.3	22.8	22.8	21.7	21.1	20.1	20.5	21.3	20.9	20.8	19.8	19.1
4	1976	19.0	20.1	21.9	22.1	22.3	21.3	21.0	20.9	22.0	22.0	21.4	20.4	19.0
5	1977	20.1	21.1	22.7	24.0	22.6	21.9	21.6	22.3	21.8	22.5	22.6	20.9	20.1
6	1978	19.9	22.4	23.4	22.9	22.3	21.8	21.7	21.4	21.7	22.6	22.5	20.6	19.9
7	1979	19.8	21.2	23.0	23.4	23.1	22.7	22.1	22.4	22.4	22.3	22.4	21.3	19.8
8	1980	20.6	20.6	22.1	23.0	22.8	22.3	21.6	21.6	22.1	22.2	21.4	20.8	20.6
9	1981	20.1	21.9	22.0	22.9	22.6	22.0	20.9	21.4	21.3	22.1	22.1	21.4	20.1
10	1982	20.2	22.1	28.2	22.4	21.9	22.4	21.8	21.8	22.9	21.6	21.0	19.9	19.9
11	1983	20.1	19.8	22.0	22.3	22.6	22.0	21.4	21.6	21.9	22.0	21.8	20.5	19.8
12	1984	20.6	21.9	23.1	32.9	23.2	22.3	21.6	22.4	22.2	21.9	21.7	20.0	20.0
13	1985	18.9	20.3	22.7	23.0	22.1	21.7	20.6	21.2	21.7	21.8	21.5	20.2	18.9
14	1986	20.2	21.4	22.1	23.3	22.4	21.7	21.1	21.6	21.9	22.0	21.3	20.8	20.2
15	1987	20.7	22.2	23.0	22.8	22.9	22.6	22.5	22.3	22.6	22.7	23.0	22.2	20.7
16	1988	20.7	23.0	23.3	24.6	24.7	22.4	22.1	22.5	22.6	21.8	21.7	20.5	20.5
17	1989	20.5	21.3	22.4	23.3	22.7	22.1	21.9	20.7	22.1	21.8	22.0	20.1	20.1
18	1990	21.7	21.6	23.5	23.6	22.8	22.4	21.8	22.3	22.0	22.3	22.1	21.0	21.0
<b>Promedios</b>		<b>20.1</b>	<b>21.3</b>	<b>22.9</b>	<b>23.7</b>	<b>22.6</b>	<b>22.0</b>	<b>21.4</b>	<b>21.6</b>	<b>21.9</b>	<b>22.0</b>	<b>21.8</b>	<b>20.5</b>	<b>21.8</b>

### Datos mensuales de temperatura máxima (°C)

N° Reg	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
1	1972	33.2	32.6	31	32.6	30.2	31.4	31.2	30.8	31.2	31.9	32.4	32	33.2
2	1973	33.4	34.7	34.8	34.4	32	30.6	30.1	30.1	30.7	31.4	31.1	31.8	34.8
3	1974	32.7	33.4	34.2	32.6	30.6	30.9	29.5	29.8	29.9	31	30.9	31.7	34.2
4	1975	33.1	33.5	34.2	33.5	30.7	29.3	31.2	29.4	32.1	30.8	30.9	31.2	34.2
5	1976	31.9	33.2	32.6	31.2	29.5	28.8	29.2	30.7	32	32.2	32.5	32.3	33.2
6	1977	33.9	34.1	33.7	34.8	31.3	30.2	30	31.4	31.4	31.9	32.3	32.4	34.8
7	1978	33.3	34.9	34.5	30.6	30.2	29.6	30.8	29.4	32.1	32	32.1	31.7	34.9
8	1979	34.3	35.1	34.2	31.7	33.9	30.1	30.7	31.5	31.5	31.6	31.8	31.6	35.1
9	1980	32.7	34.1	34.4	33.8	30.7	30	30	30.7	31.8	31.8	31.5	32.4	34.4
10	1981	34.3	33.2	34.1	30.3	29.9	29.7	29.3	30.6	30.5	30.8	32.8	32.1	34.3
11	1982	33.1	32.8	31.4	28.6	30.8	29.7	37.3	30.9	32.2	31	30.8	30.6	37.3
12	1983	31.2	32.8	34.5	30.1	31.3	28.5	30.6	30.6	31.4	31.6	31.8	32.1	34.5
13	1984	33.7	34	35.6	35	33.6	30.8	29.8	30.9	31.3	32.2	31.9	32.5	35.6
14	1985	34.1	34.5	34.2	33.8	31.3	29.4	29.7	30.4	31.5	31.7	32.3	32.4	34.5
15	1986	33.1	33.5	34	30.8	31.3	30	30.2	31.1	30.8	31.3	31.5	33.7	34.0
16	1987	33.3	34.8	34.4	33.3	31.2	31.3	30.9	31.1	32	32.4	33.1	33.9	34.8
17	1988	34.6	35.1	36.4	34.8	34.7	30.8	29.7	30.1	31.5	31.4	30.8	31.8	36.4
18	1989	32.1	33.5	33.6	34.5	30.8	30.9	30.3	30.4	31.8	31.5	32.3	31.9	34.5
19	1990	33.3	33.8	33.4	33	30.8	30.1	30.6	31.3	31.6	31.5	31	31.9	33.8
<b>Promedios</b>		<b>33.2</b>	<b>33.9</b>	<b>34.0</b>	<b>32.6</b>	<b>31.3</b>	<b>30.1</b>	<b>30.6</b>	<b>30.6</b>	<b>31.4</b>	<b>31.6</b>	<b>31.8</b>	<b>32.1</b>	<b>31.9</b>

### Datos mensuales de humedad relativa media (%)

N° Reg	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
1	1970	68	67	64	66	76	82	84	84	84	81	78	79	76.1
2	1971	71	67	62	63	79	78	82	81	82	81	79	73	74.8
3	1972	73	67	71	79	85	84	85	83	84	83	80	76	79.2
4	1973	67	60	59	57	71	79	83	83	84	81	81	73	73.2
5	1974	68	64	62	62	71	72	80	81	82	79	79	70	72.5
6	1975	66	59	58	64	79	81	82	83	85	82	82	79	75.0
7	1976	72	66	67	78	83	87	83	81	83	81	78	77	78.0
8	1977	68	57	62	61	81	82	84	84	81	97	79	70	75.5
9	1978	63	57	62	76	84	85	83	89	83	79	76	73	75.8
10	1979	62	59	61	73	81	88	85	79	75	69	68	68	72.3
11	1980	64	62	59	63	72	73	86	85	80	79	78	75	73.0
12	1981	67	75	66	80	82	85	89	87	87	86	81	81	80.5
13	1982	76	76	73	85	86	87	88	86	83	84	82	80	82.2
14	1983	72	67	64	79	87	86	86	86	84	84	77	76	79.0
15	1984	70	66	63	63	66	80	85	86	85	81	83	76	75.3
16	1985	67	65	66	66	79	86	84	86	77	82	81	76	76.3
17	1986	71	69	66	72	78	82	82	83	85	83	82	76	77.4
18	1987	73	65	67	71	81	83	85	84	83	83	80	75	77.5
19	1988	69	68	65	71	72	83	85	88	84	83	84	77	77.4
20	1989	71	66	63	62	79	84	85	84	84	82	81	73	76.2
21	1990	70	68	68	72	83	85	85	84	84	85	83	76	78.6
<b>Promedios</b>		<b>69.0</b>	<b>65.2</b>	<b>64.2</b>	<b>69.7</b>	<b>78.8</b>	<b>82.5</b>	<b>84.3</b>	<b>84.1</b>	<b>82.8</b>	<b>82.1</b>	<b>79.6</b>	<b>75.2</b>	<b>76.5</b>

### Datos mensuales de velocidad media del viento a 2 m de altura (m s<sup>-1</sup>)

N° Reg	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
1	1970	1.89	2.11	2.33	2.00	2.00	1.78	1.64	1.75	1.69	1.72	1.72	1.86	1.88
2	1971	1.89	2.06	2.11	2.25	1.92	1.81	1.78	1.67	1.69	1.69	1.69	1.67	1.85
3	1972	2.06	2.19	1.97	1.86	1.89	1.86	1.92	1.69	1.86	1.69	1.75	1.83	1.88
4	1973	2.11	2.31	2.22	2.19	2.08	1.81	1.78	1.61	1.67	1.78	1.64	1.67	1.91
5	1974	2.06	2.22	2.61	2.19	2.31	2.11	1.78	1.72	1.72	1.61	1.69	1.81	1.99
6	1975	2.11	2.33	2.42	2.08	1.89	1.92	1.92	1.67	1.69	1.64	1.83	1.67	1.93
7	1976	1.92	2.53	2.19	1.97	1.89	1.86	1.69	1.78	1.61	1.58	1.72	1.69	1.87
8	1977	1.94	2.36	2.28	2.19	1.92	2.14	1.64	1.64	1.72	1.69	1.86	2.00	1.95
9	1978	2.11	2.28	2.19	1.97	1.92	1.69	1.64	1.67	1.67	1.78	1.72	1.97	1.88
10	1979	2.11	2.53	2.11	2.03	1.89	1.64	1.78	1.78	1.72	1.69	1.14	1.64	1.84
11	1980	2.00	2.31	2.36	2.25	1.83	1.78	1.61	1.56	1.44	1.78	1.75	1.67	1.86
12	1981	2.14	2.17	2.06	1.92	1.83	1.64	1.56	1.64	1.64	1.58	1.72	1.81	1.81
13	1982	2.08	2.19	2.33	1.92	1.81	1.89	1.69	1.64	1.69	1.75	1.89	1.75	1.89
14	1983	2.03	2.14	1.97	1.75	1.75	1.69	1.72	1.64	1.69	1.78	1.72	1.78	1.81
15	1984	1.83	2.14	2.25	2.36	2.17	1.75	1.69	1.69	1.61	1.69	1.72	1.83	1.90
16	1985	2.25	2.14	2.56	2.22	1.97	1.81	1.69	1.64	1.64	1.75	1.64	1.81	1.93
17	1986	2.00	2.19	2.33	2.11	1.97	1.78	1.69	1.64	1.67	1.61	1.61	1.86	1.87
18	1987	1.89	2.00	2.06	1.83	1.86	1.78	1.67	1.50	1.50	1.50	1.61	1.67	1.74
19	1988	1.94	2.19	2.47	1.92	2.19	1.72	1.53	1.64	1.72	1.50	1.56	1.69	1.84
20	1989	1.89	2.36	2.33	2.03	1.78	1.69	1.72	1.69	1.72	1.67	1.69	1.72	1.86
21	1990	1.94	2.39	1.97	1.83	1.69	1.72	1.72	1.61	1.69	1.53	1.64	1.64	1.78
<b>Promedios</b>		<b>2.01</b>	<b>2.24</b>	<b>2.24</b>	<b>2.04</b>	<b>1.93</b>	<b>1.80</b>	<b>1.71</b>	<b>1.66</b>	<b>1.67</b>	<b>1.67</b>	<b>1.68</b>	<b>1.76</b>	<b>1.87</b>

### Datos mensuales de Insolación Media (Horas día<sup>-1</sup>)

N° Reg	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
1	1970	9.9	9.4	8	6.6	6.3	4.6	6.3	5.7	5.8	7.1	8.2	6	7.0
2	1971	8.3	7.9	7.2	6.4	5.2	6	5.7	7	6.8	7	7.9	8.8	7.0
3	1972	6.5	8	6.1	4.6	4.5	5.1	5.8	6.5	6.5	8	8.3	7.8	6.5
4	1973	8.6	9.6	8	6.6	7.3	4.5	5.9	5.9	6.7	7.7	6.3	9	7.2
5	1974	8.8	8	7.9	4.8	4.6	6.5	5.9	7	6.7	7.9	7.6	9.6	7.1
6	1975	9.1	8.4	7.5	5.9	5	4.7	6.1	5.5	6.6	7.1	7.7	7.4	6.8
7	1976	8.6	8.4	6.1	4.5	4	4.1	4.6	6.7	6.6	7.1	8.4	8	6.4
8	1977	9.6	9.3	6.5	6.2	4.5	8	5.7	5.7	6.2	7.2	7.1	8.2	7.0
9	1978	9.3	8.9	6.4	3.5	4.5	4.2	6.7	5.2	7.1	7	7.1	7.6	6.5
10	1979	10	9.5	6	4.5	5	3.6	5.5	6	6	5.9	7.1	6.6	6.3
11	1980	8.3	7.9	6.4	4.6	4.8	4.7	4.1	6.2	6.9	6.6	7.8	7.7	6.3
12	1981	6.9	7.3	7.1	2.2	3.3	4.6	4.6	5.8	5.6	5	6.6	5.4	5.4
13	1982	8.1	5.2	5.8	1.8	4.2	3.8	3.5	5.6	6	5.6	6	5.6	5.1
14	1983	8.9	6.1	7.2	3.1	3.7	2.9	5	6.2	6.5	5.9	9	6.9	6.0
15	1984	7.4	6.9	7.1	4.8	6.3	4.7	4.4	5.2	7	6.4	7.2	8.3	6.3
16	1985	8.8	9.4	5.8	4.6	4.7	3.3	5.8	5.6	7	6.6	7.6	8.2	6.5
17	1986	7.4	6.4	6	2.4	4.5	3.8	6.2	4.2	4.9	5.4	6.9	8	5.5
18	1987	7.6	7.3	6.2	5.1	4.2	4.5	4.1	5.9	5.9	5.9	6.8	8	6.0
19	1988	8.6	6.9	4.1	3.8	4.6	6.6	5.5	6.7	6.8	5.8	5.8	6.9	6.0
20	1989	6.5	7.8	5.8	6.1	4.2	4.6	5.5	7.3	6.5	6.3	7.9	7.5	6.3
21	1990	6.5	6.4	3.6	4.1	4.7	3.8	5.8	6.6	7.5	6.8	6.9	7	5.8
<b>Promedios</b>		<b>8.3</b>	<b>7.9</b>	<b>6.4</b>	<b>4.6</b>	<b>4.8</b>	<b>4.7</b>	<b>5.4</b>	<b>6.0</b>	<b>6.5</b>	<b>6.6</b>	<b>7.3</b>	<b>7.5</b>	<b>6.3</b>

### Datos mensuales de Evaporación media (mm)

N° Reg	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1	1971	177	199,3	223,1	208,7	147,7	132,4	108,6	133,8	153,2	143,7	141,5	166,9	1935,9
2	1972	-	209,9	191,5	101,1	108,1	111,9	147,6	153,6	165	143,7	138,6	148,7	1619,7
3	1973	200,2	222,1	247,4	238,6	200,2	170,3	125,6	139	121,6	133,1	118,1	127	2043,2
4	1974	181,1	176,3	218,5	193,2	145,9	165,2	120,2	135,6	133,3	161,2	134,5	144,9	1909,9
5	1975	173,9	161,8	237,1	139,9	181,2	131,3	160,5	159,1	149,7	169,8	134,1	117,9	1916,3
6	1976	158,7	168,3	185,5	169,6	135	125,6	118,2	192,8	187,6	193,2	181,1	172,6	1988,2
7	1977	200,8	233,5	216,5	217,1	150,2	175,4	160	164,8	131,7	186,8	171,2	196,7	2204,7
8	1978	207,5	-	-	-	119,4	123,2	147,4	123,3	116,3	141,4	140,2	144,9	1263,6
9	1979	203,3	206,5	191,6	141	140,2	128,6	150,8	136,1	143,9	151,9	129,2	129,4	1852,5
10	1980	177,1	218,9	242,4	242,5	164,1	132,5	128,3	149,1	178,1	165,2	155,5	193,7	2147,4
11	1981	248,4	243,7	227	154	129,7	111,2	170,6	-	-	-	-	-	1284,6
12	1982	-	177,2	211,8	127,8	119,9	169,9	144,5	183,2	210,1	219,7	175,2	185,1	1924,4
13	1983	-	192,5	228,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	421
<b>Promedios</b>		<b>192,8</b>	<b>200,8</b>	<b>218,4</b>	<b>175,8</b>	<b>145,1</b>	<b>139,8</b>	<b>140,2</b>	<b>151,9</b>	<b>153,7</b>	<b>164,5</b>	<b>147,2</b>	<b>157,1</b>	<b>1840,9</b>

### Datos mensuales de Precipitación (mm)

N° Reg	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1	1970	0	85	4	123	81	241	300	162	154	235	10	110	1505.0
2	1971	43	7	11	107	168	231	248	201	97	158	74	39	1384.0
3	1972	60	22	161	185	250	315	340	113	148	110	259	48	2011.0
4	1973	2	0	19	63	84	242	327	112	174	98	163	12	1296.0
5	1974	13	1	9	23	86	152	201	170	142	104	235	1	1137.0
6	1975	8	6	25	49	305	284	115	137	81	238	77	71	1396.0
7	1976	45	2	28	236	140	385	272	197	125	55	125	107	1717.0
8	1977	0	0	56	5	228	30	367	136	178	166	91	1	1258.0
9	1978	14	0	20	229	166	222	276	254	220	222	24	16	1663.0
10	1979	0	1	171	219	205	192	240	96	72	241	71	89	1597.0
11	1980	1	1	56	165	297	306	435	188	104	158	136	10	1857.0
12	1981	3	110	17	404	455	415	232	259	514	181	54	53	2697.0
13	1982	8	51	10	301	416	164	304	159	113	136	124	47	1833.0
14	1983	27	26	1	103	327	331	294	259	158	265	31	19	1841.0
15	1984	15	27	0	32	59	253	159	169	216	99	145	4	1178.0
16	1985	0	6	7	23	200	179	128	313	233	169	81	28	1367.0
17	1986	4	8	24	62	222	334	268	356	262	350	180	23	2093.0
18	1987	15	0	134	151	134	170	310	190	156	155	60	21	1496.0
19	1988	0	1	0	64	18	307	254	375	191	189	116	14	1529.0
20	1989	5	55	4	52	322	126	259	105	71	107	111	32	1249.0
21	1990	26	10	59	149	459	261	289	205	204	231	67	19	1979.0
22	1991	0	26	30	156	56	202	286	127	424	228	59	12	1606.0
23	1992	0	0	0	142	223	394	295	241	187	83	124	14	1703.0
24	1993	11	2	52	94	414	230	261	519	277	160	69	7	2096.0
25	1994	0	37	49	135	70	317	360	182	199	179	116	10	1654.0
26	1995	26	0	36	83	155	171	245	104	115	137	39	56	1167.0
27	1996	0	16.7	2.5	61.7	334.2	299.3	216.6	111.6	155.1	228.3	161.3	28.2	1615.5
28	1997	3	112	5	41	163	305	251	147	135	146	43	10	1361.0
29	1998	0	1	14	253	305	325	128	153	115	284	70	27	1675.0
30	1999	5	25	23	343	108	155	162	300	118	186	165	25	1615.0
31	2000	1	16	67	37	169	261	347	160	172	162	143	18	1553.0
32	2001	0	1	63	41	322	275	143	150	191	92	18	11	1307.0
33	2002	1	0	68	68	232	336	133	287	245	173	155	19	1717.0
34	2003	0	0	2.4	227.6	195.8	265.3	272.7	254.5	143	189	160	58	1768.3
<b>Promedios</b>		<b>9.9</b>	<b>19.3</b>	<b>36.1</b>	<b>130.2</b>	<b>216.7</b>	<b>255.2</b>	<b>256.4</b>	<b>202.7</b>	<b>179.1</b>	<b>174.0</b>	<b>104.6</b>	<b>31.2</b>	<b>1615.3</b>

## ANEXO C.- Cálculos de la tasa máxima de infiltración (TMI)

Componentes parciales	Valor	Ecuación
Tasa máxima de Infiltración en mm/min	0,008118	
Tasa máxima de Infiltración en mm/hr	0,487089	Kostiakov
Tasa máxima de Infiltración en mm/día	11,69	$Ib = (m * a) * Tb^{(m-1)}$
Coefficiente de infiltración acumulada para t=1 (a)	20,72	$mm * min^{-(1+b)}$
Exponente Adimensional positivo (m)	0,1071	Pendiente de la recta
Coefficiente “a” por el exponente “m”	2,22	$m * a$
Exponente “m” menos 1	-0,89	$m - 1$
Tiempo Básico (Tb) en (min)	535,74	$Tb = - 600 * (m - 1)$

**Fuente:** Cálculos propios.

Hora (hh:mm)	Lectura (mm)	$\Delta t$ (min)	$\Delta H$ (mm)	Velocidad (mm/min)	TA (min)	IA (mm)	Log Lamina	Log Tiempo	Línea Recta
11:10	86.00	0	-		-	-			
11:11	65.00	1.00	21.00	21.000	1.00	21.00	1.3222193	0.0000000	20.7199913
11:12	64.70	1.00	0.30	0.300	2.00	21.30	1.3283796	0.3010300	20.7522300
11:13	64.30	1.00	0.40	0.400	3.00	21.70	1.3364597	0.4771213	20.7710884
11:14	64.00	1.00	0.30	0.300	4.00	22.00	1.3424227	0.6020600	20.7844687
11:15	63.00	1.00	1.00	1.000	5.00	23.00	1.3617278	0.6989700	20.7948472
11:20	59.00	5.00	4.00	0.800	10.00	27.00	1.4313638	1.0000000	20.8270859
11:25	56.00	5.00	3.00	0.600	15.00	30.00	1.4771213	1.1760913	20.8459444
11:30	55.00	5.00	1.00	0.200	20.00	31.00	1.4913617	1.3010300	20.8593246
11:35	54.50	5.00	0.50	0.100	25.00	31.50	1.4983106	1.3979400	20.8697032
11:40	54.00	5.00	0.50	0.100	30.00	32.00	1.5051500	1.4771213	20.8781831
11:50	53.60	10.00	0.40	0.040	40.00	32.40	1.5105450	1.6020600	20.8915633
12:00	53.20	10.00	0.40	0.040	50.00	32.80	1.5158738	1.6989700	20.9019419
12:10	52.80	10.00	0.40	0.040	60.00	33.20	1.5211381	1.7781513	20.9104218
12:20	52.40	10.00	0.40	0.040	70.00	33.60	1.5263393	1.8450980	20.9175914
12:30	52.00	10.00	0.40	0.040	80.00	34.00	1.5314789	1.9030900	20.9238020
12:50	51.70	20.00	0.30	0.015	100.00	34.30	1.5352941	2.0000000	20.9341806
13:10	51.40	20.00	0.30	0.015	120.00	34.60	1.5390761	2.0791812	20.9426605
13:30	51.10	20.00	0.30	0.015	140.00	34.90	1.5428254	2.1461280	20.9498301
13:50	50.80	20.00	0.30	0.015	160.00	35.20	1.5465427	2.2041200	20.9560407
14:10	50.50	20.00	0.30	0.015	180.00	35.50	1.5502284	2.2552725	20.9615189
14:40	50.30	30.00	0.20	0.007	210.00	35.70	1.5526682	2.3222193	20.9686885
15:10	50.10	30.00	0.20	0.007	240.00	35.90	1.5550944	2.3802112	20.9748991
15:40	49.90	30.00	0.20	0.007	270.00	36.10	1.5575072	2.4313638	20.9803773
16:10	49.70	30.00	0.20	0.007	300.00	36.30	1.5599066	2.4771213	20.9852777
16:40	49.50	30.00	0.20	0.007	330.00	36.50	1.5622929	2.5185139	20.9897106

$\Delta t$  = Variación del tiempo,  $\Delta H$  = Variación de la altura de la lámina, TA = Tiempo acumulado  
y IA = Infiltración acumulada

## ANEXO D.- Resumen de los calendarios por tratamiento

### Reporte General para T<sub>0</sub>; Componentes del análisis

Lamina bruta total = 2.780,6 mm	Precipitación total = 1.594,1 mm
Lamina neta total = 472,7 mm	Precipitación efectiva = 968,9 mm
Pérdida total del riego = 0.0 mm	Pérdida total de precip. = 625,2 mm
Uso real de agua cultivo = 1.453,2 mm	Def. de hum. en cosecha = 11,6 mm
Uso pot. de agua cultivo = 1.469,2 mm	Req. reales de riego = 500,3 mm
Efic. de programación de riego = 100%	Eficiencia de la precipitación = 60,8 %
Defic. de program. de riego = 1,1%	Red. esperada del rendimiento = 1,6%

### Reporte General para T<sub>1</sub>; Componentes del análisis

Lamina bruta total = 2.757,5 mm	Precipitación total = 1.594,1 mm
Lamina neta total = 468,8 mm	Precipitación efectiva = 988,8 mm
Pérdida total del riego = 0.0 mm	Pérdida total de precip. = 605,3 mm
Uso real de agua cultivo = 1.469,2 mm	Def. de hum. en cosecha = 11,6 mm
Uso pot. de agua cultivo = 1.469,2 mm	Req. reales de riego = 480,4 mm
Efic. de programación de riego = 100%	Eficiencia de la precipitación = 62,0 %
Defic. de program. de riego = 0,0%	Red. esperada del rendimiento = 0,0%

### Reporte General para T<sub>2</sub>; Componentes del análisis

Lamina bruta total = 2.789,3 mm	Precipitación total = 1.654,8 mm
Lamina neta total = 474,2 mm	Precipitación efectiva = 983,4 mm
Pérdida total del riego = 0.0 mm	Pérdida total de precip. = 671,4 mm
Uso real de agua cultivo = 1.469,2 mm	Def. de hum. en cosecha = 11,6 mm
Uso pot. de agua cultivo = 1.469,2 mm	Req. reales de riego = 485,8 mm
Efic. de programación de riego = 100%	Eficiencia de la precipitación = 59,4 %
Defic. de program. de riego = 0,0%	Red. esperada del rendimiento = 0,0%

### Reporte General para T<sub>3</sub>; Componentes del análisis

Lamina bruta total = 1.701,5 mm	Precipitación total = 1.594,1 mm
Lamina neta total = 289,3 mm	Precipitación efectiva = 1.010,0 mm
Pérdida total del riego = 0.0 mm	Pérdida total de precip. = 584,1 mm
Uso real de agua cultivo = 1.310,9 mm	Def. de hum. en cosecha = 11,6 mm
Uso pot. de agua cultivo = 1.469,2 mm	Req. reales de riego = 459,2 mm
Efic. de programación de riego = 100%	Eficiencia de la precipitación = 63,4 %
Defic. de program. de riego = 10,8%	Red. esperada del rendimiento = 16,2%

### ANEXO E.- Fecha, tiempo y gasto del riego en T<sub>3</sub>

N°	Fecha	Tiempo en surco		Tiempo monitoreo	Altura lamina en Vertedero (cm)		
					Inicio	Medio	Final
1	16/11/13	Entrada	9:38:00 a.m.	30 min	10.8	9.5	8.5
		Salida	11:20:00 a.m.	60 min	10.3	8.5	7.8
		Cierre	12:23:00 p.m.	90 min	10.8	9.2	9
		Total	<b>2:45:00</b>	<b>120 min</b>	10.7	9.7	9.5
		<b>Promedios</b>			<b>Altura (cm)</b>	10.65	9.23
			<b>Caudal (l/s)</b>	<b>3</b>	<b>2.1</b>	<b>1.8</b>	
2	21/12/13	Entrada	08:03:00 a.m.	30 min	9.4	9	8.5
		Salida	09:45:00 a.m.	60 min	8.2	7.2	7.8
		Cierre	10:45:00 a.m.	90 min	13	12.6	11.7
		Total	<b>2:42:00</b>	<b>120 min</b>	11.2	10.9	10.4
		<b>Promedios</b>			<b>Altura (cm)</b>	10.45	9.93
			<b>Caudal (l/s)</b>	<b>2.9</b>	<b>2.5</b>	<b>2.3</b>	
3	13/01/13	Entrada	01:40:00 p.m.	30 min	6.1	6	5.8
		Salida	04:18:00 p.m.	60 min	7.2	6.9	6.7
		Cierre	04:38:00 p.m.	90 min	7.5	7.2	7.1
		Total	<b>2:58:00</b>	<b>120 min</b>	8	7.7	7.7
		<b>Promedios</b>			<b>Altura (cm)</b>	7.20	6.95
			<b>Caudal (l/s)</b>	<b>1.1</b>	<b>1.1</b>	<b>1</b>	
4	10/02/13	Entrada	09:11:00 a.m.	30 min	9.8	9.4	8.9
		Salida	11:55:00 a.m.	60 min	10	9.5	9.1
		Cierre	12:13:00 p.m.	90 min	10.1	9.8	9.7
		Total	<b>3:02:00</b>	<b>120 min</b>	10	9.7	9.7
		<b>Promedios</b>			<b>Altura (cm)</b>	9.98	9.60
			<b>Caudal (l/s)</b>	<b>2.6</b>	<b>2.3</b>	<b>2.2</b>	
5	28/02/13	Entrada	01:10:00 p.m.	30 min	10.3	9.7	8.9
		Salida	03:58:00 p.m.	60 min	10.2	9.5	9
		Cierre	03:55:00 p.m.	90 min	10.4	9.4	8.9
		Total	<b>2:45:00</b>	<b>120 min</b>	10.5	9.8	8.8
		<b>Promedios</b>			<b>Altura (cm)</b>	10.35	9.60
			<b>Caudal (l/s)</b>	<b>2.8</b>	<b>2.3</b>	<b>1.9</b>	
6	25/03/13	Entrada	9:55:00 a.m.	30 min	9.5	9.1	8.7
		Salida	11:59:00 a.m.	60 min	10.1	9.6	8.9
		Cierre	12:43:00 p.m.	90 min	10.3	9.7	8.9
		Total	<b>2:48:00</b>	<b>120 min</b>	10	9.6	8.8
		<b>Promedios</b>			<b>Altura (cm)</b>	9.98	9.50
			<b>Caudal (l/s)</b>	<b>2.6</b>	<b>2.3</b>	<b>1.9</b>	
7	16/04/13	Entrada	10:28:00 a.m.	30 min	9.8	9.4	8.9
		Salida	12:05:00 a.m.	60 min	10.3	9.7	8.9
		Cierre	12:58:00 p.m.	90 min	10.1	9.5	9
		Total	<b>2:30:00</b>	<b>120 min</b>	10	9.6	8.8
		<b>Promedios</b>			<b>Altura (cm)</b>	10.05	9.55
			<b>Caudal (l/s)</b>	<b>2.6</b>	<b>2.3</b>	<b>1.9</b>	

## ANEXO F.- Registro de mediciones biométricas

Primer muestreo (valores en centímetros)

N°	T <sub>0</sub>		T <sub>1</sub>		T <sub>2</sub>		T <sub>3</sub>	
	12/12/2012		23/12/2012		27/12/2012		22/12/2012	
	L/N	DT	L/N	DT	L/N	DT	L/N	DT
1	1.59	0.33	1.14	0.21	1.07	0.20	2.17	0.33
2	1.67	0.42	1.22	0.30	1.15	0.29	2.25	0.42
3	1.71	0.45	1.26	0.33	1.19	0.32	2.29	0.42
4	1.55	0.42	1.10	0.30	1.03	0.29	2.13	0.39
5	1.61	0.37	1.16	0.25	1.09	0.24	2.19	0.34
6	1.55	0.35	1.10	0.23	1.03	0.22	2.13	0.32
7	1.83	0.39	1.38	0.27	1.31	0.26	2.41	0.39
8	1.76	0.40	1.31	0.28	1.24	0.27	2.34	0.40
9	1.69	0.41	1.24	0.29	1.17	0.28	2.27	0.41
10	1.75	0.42	1.30	0.30	1.23	0.29	2.33	0.39
11	1.79	0.36	1.34	0.24	1.27	0.23	2.37	0.36
12	1.81	0.38	1.36	0.26	1.29	0.25	2.39	0.38
13	1.88	0.34	1.43	0.22	1.36	0.21	2.46	0.34
14	1.78	0.36	1.33	0.24	1.26	0.23	2.36	0.36
15	1.83	0.36	1.38	0.24	1.31	0.23	2.41	0.36
Promedio	1.72	0.38	1.27	0.26	1.20	0.25	2.30	0.37

Segundo muestreo (valores en centímetros)

N°	T <sub>0</sub>		T <sub>1</sub>		T <sub>2</sub>		T <sub>3</sub>	
	03/01/2013		10/01/2013		12/01/2013		14/01/2013	
	L/N	DT	L/N	DT	L/N	DT	L/N	DT
1	3.32	0.71	2.41	0.47	2.27	0.44	4.47	0.70
2	3.40	0.80	2.49	0.56	2.35	0.53	4.55	0.79
3	3.44	0.83	2.53	0.59	2.39	0.56	4.59	0.82
4	3.28	0.80	2.37	0.56	2.23	0.53	4.43	0.79
5	3.34	0.75	2.43	0.51	2.29	0.48	4.49	0.74
6	3.28	0.73	2.37	0.49	2.23	0.46	4.43	0.72
7	3.56	0.77	2.65	0.53	2.51	0.50	4.71	0.76
8	3.49	0.78	2.58	0.54	2.44	0.51	4.64	0.77
9	3.42	0.79	2.51	0.55	2.37	0.52	4.57	0.78
10	3.48	0.80	2.57	0.56	2.43	0.53	4.63	0.79
11	3.52	0.74	2.61	0.50	2.47	0.47	4.67	0.73
12	3.54	0.76	2.63	0.52	2.49	0.49	4.69	0.75
13	3.61	0.72	2.70	0.48	2.56	0.45	4.76	0.71
14	3.51	0.74	2.60	0.50	2.46	0.47	4.66	0.73
15	3.56	0.74	2.65	0.50	2.51	0.47	4.71	0.73
Promedio	3.45	0.76	2.54	0.52	2.40	0.49	4.60	0.75

## Tercer muestreo (valores en centímetros)

N°	T <sub>0</sub>		T <sub>1</sub>		T <sub>2</sub>		T <sub>3</sub>	
	05/02/2013		02/02/2013		03/02/2013		10/02/2013	
	L/N	DT	L/N	DT	L/N	DT	L/N	DT
1	5.04	1.09	4.43	0.88	4.31	0.85	5.87	0.92
2	5.12	1.18	4.51	0.97	4.39	0.94	5.95	1.01
3	5.16	1.21	4.55	1.00	4.43	0.97	5.99	1.04
4	5.00	1.18	4.39	0.97	4.27	0.94	5.83	1.01
5	5.06	1.13	4.45	0.92	4.33	0.89	5.89	0.96
6	5.00	1.11	4.39	0.90	4.27	0.87	5.83	0.94
7	5.28	1.15	4.67	0.94	4.55	0.91	6.11	0.98
8	5.21	1.20	4.60	0.99	4.48	0.96	6.04	1.03
9	5.14	1.17	4.53	0.96	4.41	0.93	5.97	1.00
10	5.20	1.18	4.59	0.97	4.47	0.94	6.03	1.01
11	5.24	1.12	4.63	0.91	4.51	0.88	6.07	0.95
12	5.26	1.14	4.65	0.93	4.53	0.90	6.09	0.97
13	5.33	1.10	4.72	0.89	4.60	0.86	6.16	0.93
14	5.23	1.12	4.62	0.91	4.50	0.88	6.06	0.95
15	5.28	1.12	4.67	0.91	4.55	0.88	6.11	0.95
Promedio	5.17	1.15	4.56	0.94	4.44	0.91	6.00	0.98

## Cuarto muestreo (valores en centímetros)

N°	T <sub>0</sub>		T <sub>1</sub>		T <sub>2</sub>		T <sub>3</sub>	
	10/03/2013		10/03/2013		09/03/2013		01/03/2013	
	L/N	DT	L/N	DT	L/N	DT	L/N	DT
1	6.77	1.47	6.35	1.26	6.27	1.24	6.77	1.05
2	6.85	1.56	6.43	1.37	6.35	1.35	6.85	1.16
3	6.89	1.59	6.47	1.38	6.39	1.36	6.89	1.17
4	6.73	1.56	6.31	1.35	6.23	1.33	6.73	1.14
5	6.79	1.51	6.37	1.30	6.29	1.28	6.79	1.09
6	6.73	1.49	6.31	1.30	6.23	1.28	6.73	1.09
7	7.01	1.53	6.59	1.34	6.51	1.32	7.01	1.13
8	6.94	1.58	6.52	1.37	6.44	1.35	6.94	1.16
9	6.87	1.55	6.45	1.36	6.37	1.34	6.86	1.15
10	6.93	1.56	6.51	1.37	6.43	1.35	6.92	1.16
11	6.97	1.50	6.55	1.31	6.47	1.29	6.96	1.10
12	6.99	1.52	6.57	1.33	6.49	1.31	6.98	1.12
13	7.06	1.48	6.64	1.31	6.56	1.29	7.05	1.10
14	6.96	1.50	6.54	1.33	6.46	1.31	6.95	1.12
15	7.01	1.50	6.59	1.31	6.51	1.29	7.00	1.10
Promedio	6.90	1.53	6.48	1.33	6.40	1.31	6.90	1.12

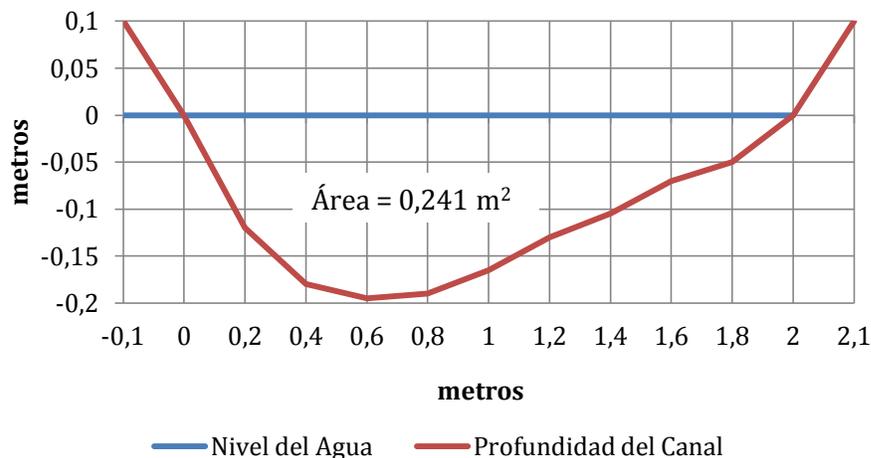
## Quinto muestreo (valores en centímetros)

N°	T <sub>0</sub>		T <sub>1</sub>		T <sub>2</sub>		T <sub>3</sub>	
	12/04/2013		03/04/2013		03/04/2013		17/04/2013	
	L/N	DT	L/N	DT	L/N	DT	L/N	DT
1	8.49	1.85	8.37	1.69	8.32	1.67	8.17	1.29
2	8.57	1.94	8.45	1.78	8.40	1.76	8.25	1.38
3	8.61	1.97	8.49	1.81	8.44	1.79	8.29	1.41
4	8.45	1.94	8.33	1.78	8.28	1.76	8.13	1.38
5	8.51	1.89	8.39	1.73	8.34	1.71	8.19	1.33
6	8.45	1.87	8.33	1.71	8.28	1.69	8.13	1.31
7	8.73	1.91	8.61	1.75	8.56	1.73	8.41	1.35
8	8.66	1.96	8.54	1.80	8.49	1.78	8.34	1.40
9	8.59	1.93	8.47	1.77	8.42	1.75	8.27	1.37
10	8.65	1.94	8.53	1.78	8.48	1.76	8.33	1.38
11	8.69	1.88	8.57	1.72	8.52	1.70	8.37	1.32
12	8.71	1.90	8.59	1.74	8.54	1.72	8.39	1.34
13	8.78	1.86	8.66	1.70	8.61	1.68	8.46	1.30
14	8.68	1.88	8.56	1.72	8.51	1.70	8.36	1.32
15	8.73	1.88	8.61	1.72	8.56	1.70	8.41	1.32
Promedio	8.62	1.91	8.50	1.75	8.45	1.73	8.30	1.35

## Muestreo en cosecha (valores en centímetros)

N°	T <sub>0</sub>		T <sub>1</sub>		T <sub>2</sub>		T <sub>3</sub>	
	06/11/2013		06/11/2013		06/11/2013		06/11/2013	
	L/N	DT	L/N	DT	L/N	DT	L/N	DT
1	12.80	2.80	11.76	2.57	11.63	2.54	9.05	1.97
2	12.88	2.89	11.84	2.66	11.71	2.63	9.13	2.06
3	12.92	2.92	11.88	2.69	11.75	2.66	9.17	2.09
4	12.76	2.89	11.72	2.66	11.59	2.63	9.01	2.06
5	12.82	2.84	11.78	2.61	11.65	2.58	9.07	2.01
6	12.76	2.82	11.72	2.59	11.59	2.56	9.01	1.99
7	13.04	2.86	12.00	2.63	11.87	2.60	9.29	2.03
8	12.97	2.91	11.93	2.68	11.80	2.65	9.22	2.08
9	12.90	2.88	11.86	2.65	11.73	2.62	9.15	2.05
10	12.96	2.89	11.92	2.66	11.79	2.63	9.21	2.06
11	13.00	2.83	11.96	2.60	11.83	2.57	9.25	2.00
12	13.02	2.85	11.98	2.62	11.85	2.59	9.27	2.02
13	13.09	2.81	12.05	2.58	11.92	2.55	9.34	1.98
14	12.99	2.83	11.95	2.60	11.82	2.57	9.24	2.00
15	13.04	2.83	12.00	2.60	11.87	2.57	9.29	2.00
Promedio	12.93	2.86	11.89	2.63	11.76	2.60	9.18	2.03

### ANEXO G.- Sección transversal y área del canal de distribución.



### ANEXO H.- ANDEVA para Periodos Inter Riego

Origen de las variaciones	SC	GL	PC	F calculado	F Tabulado (0,05)	F tabulado (0,01)
Tratamientos	717.39	3	239.13	3.44 *	2,83	4.29
Error	2915.58	42	69.42			
Total	3632.98	45				

SC = Suma de cuadrados, GL = Grados de libertad, PC = Promedio de los cuadrados,  
 \* = Significativo (nivel de significancia)

### ANEXO I.- ANDEVA para Lámina bruta

Origen de las variaciones	SC	GL	PC	F calculado	F Tabulado (0,05)	F tabulado (0,01)
Tratamientos	76981,87	3	25660,62	8,73 **	2,83	4,29
Error	123346,11	42	2936,81			
Total	200327,98	45				

SC = Suma de cuadrados, GL = Grados de libertad, PC = Promedio de los cuadrados,  
 \*\* = Altamente significativo (nivel de significancia)

### ANEXO J.- ANDEVA para déficit y excesos en las láminas aplicadas

Origen de las variaciones	SC	GL	PC	F calculado	F Tabulado (0,05)
Tratamientos	511,61	3	170,54	1,32 ns	2,83
Error	5424,12	42	129,15		
Total	5935,73	45			

SC = Suma de cuadrados, GL = Grados de libertad, PC = Promedio de los cuadrados,  
ns = No significativo (nivel de significancia)

### ANEXO K.- ANDEVA para Longitud entre Nudos

Origen de las variaciones	SC	GL	PC	F calculado	F Tabulado (0,05)
Tratamientos	3.50	3	1.17	0,16 ns	3,24
Error	119.36	6	7.46		
Total	122.86	19			

SC = Suma de cuadrados, GL = Grados de libertad, PC = Promedio de los cuadrados,  
ns = No significativo (nivel de significancia)

### ANEXO L.- ANDEVA para Diámetro del Tallo

Origen de las variaciones	SC	GL	PC	F calculado	F tabulado (0,05)
Tratamientos	0,17	3	0,06	0,18 ns	3,24
Error	4,91	6	0,31		
Total	5,08	19			

SC = Suma de cuadrados, GL = Grados de libertad, PC = Promedio de los cuadrados,  
ns = No significativo (nivel de significancia)

## ANEXO M.- Galería fotográfica



Proceso de muestreo de suelo con el cilindro UHLAND



Proceso de medición de la infiltración con el cilindro Infiltrómetro



Avance del frente de humedecimiento en surco



Instalaciones de la fuente de abastecimiento de agua



Identificación de tratamientos



Ejecución de los eventos de riego



Medición de caudal en canal principal y en surcos