

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES

EFFECTO DEL UMBRAL DE RIEGO DURANTE LA ETAPA DE ELONGACIÓN
DE LA CAÑA DE AZÚCAR; LA DEMOCRACIA, ESCUINTLA
TESIS DE GRADO

HECTOR NOÉ MONTERROSO SILVESTRE
CARNET 21841-10

ESCUINTLA, NOVIEMBRE DE 2015
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES

EFFECTO DEL UMBRAL DE RIEGO DURANTE LA ETAPA DE ELONGACIÓN
DE LA CAÑA DE AZÚCAR; LA DEMOCRACIA, ESCUINTLA
TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR
HECTOR NOÉ MONTERROSO SILVESTRE

PREVIO A CONFERÍRSELE
EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES EN EL GRADO
ACADÉMICO DE LICENCIADO

ESCUINTLA, NOVIEMBRE DE 2015
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR:	P. EDUARDO VALDES BARRIA, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA:	DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN:	ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA:	P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO:	LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL:	LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANO:	DR. ADOLFO OTTONIEL MONTERROSO RIVAS
VICEDECANA:	LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
SECRETARIA:	ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES
DIRECTOR DE CARRERA:	MGTR. LUIS MOISÉS PEÑATE MUNGUÍA

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

ING. OTTO RENÉ CASTRO LOARCA, MSc.

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

MGTR. ADÁN OBISPO RODAS CIFUENTES

MGTR. RICARDO ARMANDO MORALES RAMÍREZ

ING. GUSTAVO ADOLFO MÉNDEZ GÓMEZ

Guatemala, 21 de Septiembre de 2015

Consejo de Facultad
Ciencias Ambientales y Agrícolas
Presente

Estimados miembros del consejo:

Por este medio hago constar que he asesorado el trabajo de graduación del estudiante Hector Noé Monterroso Silvestre, que se identifica con carné 21841 10, titulado "EFECTO DEL UMBRAL DE RIEGO EN CAÑA DE AZÚCAR, DURANTE LA ETAPA DE ELONGACIÓN, LA DEMOCRACIA, ESCUINTLA".

La cual considero que cumple con los requisitos establecidos por la facultad para ser aprobado, previo a su autorización de impresión.

Atentamente,



Ing. Agr. M.Sc. Otto René Castro Loarca,
Asesor de Tesis
Colegiado No. 495



**Universidad
Rafael Landívar**
Tradición Jesuita en Guatemala

**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
No. 06380-2015**

Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante HECTOR NOÉ MONTERROSO SILVESTRE, Carnet 21841-10 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES, de la Sede de Escuintla, que consta en el Acta No. 06130-2015 de fecha 22 de octubre de 2015, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

**EFFECTO DEL UMBRAL DE RIEGO DURANTE LA ETAPA DE ELONGACIÓN
DE LA CAÑA DE AZÚCAR; LA DEMOCRACIA, ESCUINTLA**

Previo a conferírsele el título de INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 5 días del mes de noviembre del año 2015.



**ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES, SECRETARIA
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar**



AGRADECIMIENTOS

A ti mi DIOS, por el gozar de tus bendiciones y permitirme haber alcanzado una meta más en mi vida.

A Señor de Esquipulas y Virgen de Guadalupe, muy agradecido por permitido alcanzar un logro más en esta etapa de mi vida.

A mis padres, Jorge Monterroso y Lesbia Silvestre, por darme la vida, brindarme su cariño y amor que permitieron el alcance de este logro.

A mis hermanos Jorge, Carlos, Eddy, Juan, María, Gerónimo, Lesbia por ser parte esencial y de apoyo en mi vida.

A mi novia Heidy Botzoc , por ser parte fundamental en mi vida, por las alegrías y momentos inolvidables que compartimos día con día, eres lo máximo.

A mis suegros y cuñadas, por el apoyo incondicional en todos los momentos vividos, muchas gracias!.

A mi asesor Ing. Otto Castro, por sus sabios consejos, apoyo y tiempo que me ayudaron a realizar el trabajo de investigación.

A CENGICAÑA e Ingenio Magdalena, por brindarme la oportunidad de desarrollar el trabajo de investigación.

A mis amigos de estudio: Cesar Boc, Virginia Piril, Marisa Pedroza, por formar parte de otra etapa importante en mi vida, los recordare mis amigos.

A la Universidad Rafael Landivar, por fomentar valores, inculcar conocimientos y enseñanzas para formarme como profesional.

A mis catedráticos gracias por su tiempo, apoyo así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional.

A mis compañeros de CENGICAÑA. Fernando, Salomón, Lorenzo, Rodolfo, Juan, Carlos, Estuardo, Jerson, Mynor, Byron, por su amistad y apoyo, que de una u otra manera contribuyeron en la realización de esta investigación.

DEDICATORIA

- A DIOS: Padre Santísimo, creador del cielo y la tierra, quien me acompaña día, día gozando de bendiciones.
- SEÑOR ESQUIPULAS,
VIRGEN DE GUADALUPE: Que interceden por mí en cada oración.
- A MIS PADRES: Jorge Alejandro Monterroso Sicaja y Lesbia Silvestre López.
- A MIS HERMANOS(AS): Jorge Mario, Carlos Enrique, Eddy Amílcar, Juan José, María de los Ángeles, Gerónimo de Jesús y Lesbia Elizabeth.
- A MIS SOBRINOS(AS): Jorge Alexander, Lizbeth Gardenia, Josué Alejandro, Diego Enrique, Yann Carlos Joel, Edison Esteban, Angélica Sofía y Nicolás Alejandro.
- A MI NOVIA Y FAMILIA: Especialmente a Heidy Botzoc, por ser ese punto de apoyo, para alcanzar esta meta, Muchas gracias!.
- A MIS TIOS Y FAMILIA
EN GENERAL: Muchas gracias por el apoyo incondicional.
- A LOS INGENIEROS: Otto Castro, Ovidio Pérez, Adlai Meneses por formar parte del inicio de este logro.

ÍNDICE

CONTENIDO	Página
RESUMEN.....	i
SUMMARY.....	ii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	2
2.1 EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR.....	2
2.1.1 Importancia de la caña de azúcar.....	2
2.1.2 Descripción taxonómica.....	2
2.1.3 Morfología de la planta	2
2.1.4 Etapas de desarrollo de la caña de azúcar.....	4
2.2 RELACIÓN AGUA-SUELO	6
2.2.1 Formas de expresar el contenido de humedad del suelo	6
2.2.2 Métodos para determinar el contenido de humedad en el suelo	7
2.2.3 Clases de agua en el suelo	8
2.2.4 Capacidad de campo (CC) y método para su determinación	9
2.2.5 Punto de marchitez permanente (PMP) y método para determinarlo	9
2.2.6 Lámina de agua bruta.....	10
2.2.7 Umbral de riego	10
2.2.8 Lámina de agua neta	11
2.2.9 Humedad residual	12
2.3 EL RIEGO EN EL INCREMENTO DEL RENDIMIENTO EN CAÑA DE AZÚCAR...	12
2.4 PROGRAMACIÓN DEL RIEGO	13

	Página
2.5 EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	13
2.5.1 Diferencia EVT y uso consuntivo	13
2.5.2 Métodos para calcular la evapotranspiración.....	14
2.6 COEFICIENTE DE CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR	14
2.7 EFECTOS DEL DÉFICIT HÍDRICO.....	15
2.7.1 Medición y estimación de estrés hídrico.....	15
2.8 EFECTO DEL DÉFICIT HÍDRICO EN ETAPA DE ELONGACIÓN O RÁPIDO CRECIMIENTO	16
2.9 LA INCIDENCIA DE FENÓMENOS NATURALES, ENSO.....	17
2.9.1 Las irregularidades de la lluvia en las etapas fenológicas determinantes	17
III. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO	18
3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	18
IV. OBJETIVOS.....	19
4.1 GENERAL	19
4.2 ESPECÍFICOS	19
V. HIPOTESIS.....	19
VI. METODOLOGÍA	20
6.1 LOCALIZACIÓN DEL TRABAJO.....	20
6.2 MATERIAL EXPERIMENTAL	20
6.4 DESCRIPCIÓN DE TRATAMIENTOS.....	21
6.5 DISEÑO EXPERIMENTAL	21
6.6 MODELO ESTADÍSTICO	21
6.7 UNIDAD EXPERIMENTAL	22
6.8 CROQUIS DE CAMPO.....	22

	Página
6.9 MANEJO DEL EXPERIMENTO.....	23
6.9.1 Siembra	23
6.9.2 Aplicación de tratamientos a través del riego	23
6.9.3 Control de malezas.....	26
6.9.4 Fertilización	27
6.9.5 Cosecha	27
6.10 VARIABLES DE RESPUESTA	27
6.10.1 Características agronómicas asociadas a la producción de biomasa	27
6.10.2 Cuantificaciones del consumo de agua	29
6.11 CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS ASOCIADAS AL USO DEL AGUA.....	30
6.11.1 Conductancia estomática	30
6.12 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	31
6.12.1 Análisis estadístico	31
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
VIII. CONCLUSIONES	32
IX. RECOMENDACIONES.....	53
X. BIBLIOGRAFÍA.....	54
XI. ANEXOS.....	56

ÍNDICE DE CUADROS

CONTENIDO	Página
Cuadro 1. Etapas de desarrollo en caña de azúcar.....	5
Cuadro 2. Valores de Kc según etapa fenológica y tipo de suelo, seleccionados en la zona cañera de Guatemala.	15
Cuadro 3. Descripción de los tratamientos evaluados durante la etapa de elongación de la variedad CG 98-46.	21
Cuadro 4. Resultados del análisis físico del suelo.....	23
Cuadro 5. Lámina de agua neta de acuerdo a los umbrales de riego evaluados, se expresa en mm.....	24
Cuadro 6. Resultados del análisis químico de suelos	27
Cuadro 7. Datos de la variable altura a los 333 días después de la siembra	35
Cuadro 8. Diámetro del tallo a los 333 días después de la siembra.....	38
Cuadro 9. Largo de entrenudo a los 333 días después de la siembra	39
Cuadro 10. Toneladas de caña por hectárea	41
Cuadro 11. Datos de toneladas de azúcar por hectárea	43
Cuadro 12. Estimación de la evapotranspiración por Blaney y Criddle	45
Cuadro13. Lámina neta y frecuencia de riego según umbrales de riego.....	45
Cuadro 14. Número de riegos aplicados y lámina aplicada.....	48
Cuadro 15. Análisis económico para cuatro umbrales de riego en la etapa de elongación en caña de azúcar	49

INDICE DE FIGURAS

CONTENIDO	Página
Figura 1. Desarrollo de las etapas fenológicas de la caña de azúcar de acuerdo al mes de siembra o corte de caña en Guatemala y distribución de la lluvia para el caso del estrato bajo (Botzoc, 2015).....	6
Figura 2. Localización espacial de la investigación en la finca Santa Elisa, la Democracia, Escuintla (Botzoc, 2015).....	20
Figura 3. Croquis de campo, distribución aleatoria por bloque de los tratamientos evaluados en ensayo experimental.	22
Figura 4. El manejo del riego de acuerdo al umbral en cada uno de los tratamientos evaluados.	25
Figura 5. Parámetros importantes para la decisión del cuándo y cuánto regar en la investigación, de acuerdo a los tratamientos de umbrales de riegos evaluados.	26
Figura 6. Mediciones de características agronómicas asociadas a la producción de biomasa; altura, diámetro y largo de entrenudo del tallo.	28
Figura 7. Proceso de análisis de la información de la sonda de humedad FDR, realizada en archivo Excel 2007.....	29
Figura 8. Análisis de lluvia y evapotranspiración en el periodo de la época lluviosa, coincidentemente con la etapa fenológica de elongación del cultivo.....	33
Figura 9. Diferencial de crecimiento de altura entre la medición realizada el 22 de julio respecto al 17 junio en la variedad CG 98-46.....	34
Figura 10. Comportamiento del crecimiento en altura del tallo en los diferentes tratamientos evaluados, durante la etapa de elongación.	35
Figura 11. Diámetro del tallo de los diferentes tratamientos a 206 días después de la siembra.....	36
Figura 12. Diámetro del tallo de acuerdo al desarrollo de la etapa de elongación en la variedad CG 98-46	36
Figura 13. Largo del entrenudo del tallo al final de las etapas de desarrollo del cultivo. 38	

Figura 14. Rendimiento en toneladas de caña por hectárea (TCH).	40
Figura 15. a. Peso de tallos por macolla y b. Porcentaje de flor.....	40
Figura 16. a. Rendimiento comercial (kg/t) y b. Rendimiento en toneladas de azúcar por hectárea.....	42
Figura 17. Relación entre datos de conductancia estomática y porcentaje de humedad en el suelo.	44
Figura 18. Medición de la humedad volumétrica en el suelo en la etapa de elongación de la caña de azúcar variedad CG 98-46.	46
Figura 19. Medición de la humedad volumétrica en el suelo en la etapa de elongación de la caña de azúcar variedad CG 98-46.	47
Figura 20. Medición de humedad volumétrica en el suelo en la etapa de elongación de la caña de azúcar variedad CG 98-46.	47
Figura 21. Medición de humedad volumétrica en el suelo en la etapa de elongación de la caña de azúcar variedad CG 98-46.	48

“EFECTO DEL UMBRAL DE RIEGO EN CAÑA DE AZÚCAR, DURANTE LA ETAPA DE ELONGACIÓN, LA DEMOCRACIA, ESCUINTLA”

RESUMEN

Se evaluaron cuatro umbrales de riego durante el desarrollo de la etapa de elongación en caña de azúcar (*Saccharum* spp.) de la variedad CG 98-46, en suelo de textura franco arenosa. El periodo de evaluación coincidió con la época lluviosa del sitio, ubicado a 86 msnm (estrato bajo), la investigación se ejecutó en periodo de lluvias irregulares, debido a que en ENSO¹-cálido (niño) y ENSO-neutro, existen periodos prolongados sin lluvia, causando que la planta inicie el estrés por falta de humedad en el suelo. Durante la investigación ocurrieron dos periodos de baja precipitación entre julio y agosto, periodos consecutivos de diez días, el primer periodo más crítico que el segundo. Los tratamientos aplicados fueron umbrales del 20%, 40%, 60%; en el caso del umbral del 80% no se realizó debido a que la humedad en el suelo descendió un máximo del 60% de su humedad disponible, por lo que no fue necesario. Se logró determinar que bajo estos umbrales de riego no existe diferencia significativa entre aplicarlo o no, debido a que el periodo de baja precipitación no fue prolongado y el suelo de textura franco arenosa posee una capacidad intermedia de almacenamiento de humedad, por lo que la planta no inició el estrés por falta de humedad en el suelo, por lo mismo no causó merma en la producción de toneladas de caña de azúcar.

¹ ENSO: Fenómeno océano-atmosférico, puede ser ENSO cálido, cuando aumenta y ENSO frío cuando disminuye la temperatura del mar, en el caso de nuestra latitud es necesario considerar la región 3.4 y efectos que causan en las irregularidades de la lluvia.

“EFFECT OF IRRIGATION THRESHOLD IN SUGARCANE DURING THE ELONGATION PHASE, LA DEMOCRACIA, ESCUINTLA”

SUMMARY

Four irrigation thresholds were evaluated during the elongation phase development in CG 98-46 variety sugarcane (*Saccharum* spp.), in sandy loam soil. The evaluation period matched with the site's rainy season, located at 86 masl (low stratum), and the research study was carried out during an irregular rainy season because in the ENSO²-warm phase (El Niño) and ENSO-neutral there are extended periods without rain, causing stress to the plant because of the lack of humidity in the soil. During the research two low precipitation periods took place between July and August, which were ten-day consecutive periods, being the first one more critical than the second. The applied treatments were thresholds of 20%, 40%, and 60%; regarding the 80% threshold, it was not carried out because the humidity in the soil decreased to a maximum of 60% of available humidity, so it was not necessary. It was determined that under these irrigation thresholds, there was no significant difference between its application or lack of the same, since the low precipitation was not long and the sandy loam soil has an intermediate humidity storage capacity; therefore, the plant was not stressed because there was no humidity in the soil, so it did not cause reduction in the production of sugarcane tons.

² ENSO: ocean-atmospheric phenomena, which can be ENSO warm phase, when it increases, and ENSO cold phase, when the sea temperature decreases; in our latitude it is necessary to consider region 3.4 and the effects that they cause in the rain irregularities.

I. INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum spp.*), es una planta de la familia gramineae, originaria de la India. En el país es considerada un cultivo agroindustrial de importancia en la economía por ser una de las principales fuentes generadoras de divisas y de empleos. La agroindustria azucarera guatemalteca representa el 31 % del valor total de la exportación agrícola guatemalteca y 15.36 % de las exportaciones totales del país. Es el sector económico que más divisas genera en nuestro país. Durante el año 2013, el azúcar y la melaza produjeron un ingreso de US\$978.1 millones (AZASGUA, 2015). La producción de caña de azúcar en la cosecha 2012/13 en toneladas de caña molida fue 26, 747,489 toneladas métricas, provenientes de un área de 263,056 ha. Teniendo una productividad de 10.57 t/ha de azúcar (CENGICAÑA, 2013).

La producción de biomasa en caña de azúcar está influenciada por una serie de factores, entre los principales el estrés hídrico que puede ocasionarse por falta o exceso de humedad en el suelo, que afecta el funcionamiento fisiológico. Este mismo dependerá de la intensidad y duración del déficit, es importante considerarlas etapas de iniciación y elongación o rápido crecimiento, las más sensibles al déficit hídrico, por lo que se debe dar prioridad uno para la aplicación del riego en cada uno de los periodos de corte (CENGICAÑA, 2012). La actividad de riego de manera normal se realiza durante la época seca de Guatemala; que constituye el periodo de noviembre a mayo de cada año, relacionado con el periodo de cosecha del cultivo y en la época lluviosa no se riega. Durante la época lluviosa se manifiesta un periodo irregular de lluvia conocido como canícula, mismo que varía su intensidad y duración, dependiendo del fenómeno océano-atmosférico ENSO.

La importancia de la tesis consistió en determinar el umbral de riego o nivel de humedad del suelo en los periodos irregulares de la lluvia, durante el periodo de desarrollo de elongación del cultivo, comparándose con la práctica normal de no regar en la época lluviosa, para determinar la disminución de biomasa y de la misma manera, si es económicamente rentable la aplicación del riego.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

2.1.1 Importancia de la caña de azúcar

El cultivo de caña de azúcar es importante para la economía del país, en la actualidad se cultivan 263,056 hectáreas (CENGICANÑA,2013). En Guatemala operan actualmente 12 Ingenios, ubicados en cuatro departamentos de la costa del Pacífico; Santa Rosa, Escuintla, Suchitepéquez y Retalhuleu. La agroindustria azucarera guatemalteca, que representa alrededor del 3% del PIB nacional, genera 421,000 empleos directos e indirectos, 32,000 corresponden a cortadores de caña. Del proceso de la caña se aprovecha el bagazo para la cogeneración del 25.0% de energía eléctrica en época de zafra dentro del Sistema Nacional Interconectado –SNI- que representa 398 MW de potencia instalada. En la actualidad cinco empresas en donde participan algunos ingenios realizan el proceso de producción de alcohol, alcanzando una producción de 269 millones de litros al año. Este producto es exportado a Europa y Estados Unidos (AZASGUA, 2015).

2.1.2 Descripción taxonómica

Reino	Vegetal
Subreino	Embryobionta
División	Embryophitasiphonogama
Subdivisión	Angiospermae
Clase	Monocotyledoneae
Orden	Glumiflorae
Familia	Gramineae
Tribu	Andropogonae
Subtribu	Saccharae
Género	Saccharum

(Subiros, 1995).

2.1.3 Morfología de la planta

La raíz, constituye el anclaje de la planta y el medio para la absorción de nutrimentos y de agua del suelo. Está formada por dos tipos de raíces; las del primer tipo se originan a partir de las banda de primordios radicales, localizada en el anillo de crecimiento de

trozo original(estaca) que se planta o siembra, y el segundo tipo de raíces permanentes brotan de anillos de crecimiento radical de los nuevos brotes. Son numerosas, gruesas, de rápido crecimiento y su proliferación avanza con el desarrollo de la planta(Cassalett, Torres e Isaacs,1995).

El tallo es el órgano más importante de la planta de la caña, ya que en él se almacenan los azúcares. La caña de azúcar forma cepas constituidas por la aglomeración de los tallos, que se originan de las yemas del material vegetativo de siembra y de las yemas de los nuevos brotes subterráneos. El número, el diámetro, el color y el hábito de crecimiento del tallo dependen principalmente de las variedades. El tamaño o longitud de los tallos depende, en gran parte, de las condiciones agroecológicas de la zona donde crece y del manejo que se le brinde a la variedad. El tallo se denomina primario, secundario, terciario, etc., si se origina de las yemas del material vegetativo original, del tallo primario, o de los secundarios, respectivamente.Los tallos están formados por nudos, que se encuentran separados por entrenudos en los que se desarrollan las yemas y las hojas (Cassalett, et al., 1995).

Cassalett et al., (1995), describen que las hojas se originan en los nudos y se distribuyen en posiciones alternas a lo largo del tallo a medida que éste crece. Cada hoja está formada por la lámina foliar y por la vaina o yagua. La unión entre estas dos partes se denomina lígula y en cada extremo de ésta existe una aurícula con pubescencia variable. La forma y el color de la lígula, así como la forma de la aurícula, son características importantes en la diferenciación de las variedades de caña de azúcar.

La floración es una continuación de la fase vegetativa de la caña, ocurre cuando las condiciones ambientales de fotoperiodo, temperatura, disponibilidad de agua y nivel de nutrimentos en el suelo son favorables (Moore, 1987; CENICAÑA, 1987, 1988,1989 y 1990). La inflorescencia es una panícula sedosa en forma de espiga. Está constituida por un eje principal con articulaciones en las cuales se insertan las espiguillas, una

frente de la otra; estas contienen una flor hermafrodita con tres anteras y un ovario con dos estigmas (Cassalett, et al., 1995).

a. **Morfología de la variedad CG 98-46(CP56-59 X CP 57-603)**

El aspecto de la planta, deshoje natural intermedio, hábito de crecimiento de tallos semi-erecto, por su hoja angosta aparenta escaso follaje. El entrenudo con coloración verde amarillento con manchas negras y presencia de cera, forma de crecimiento cilíndrico con presencia de aristas, tallos conformados con entrenudos ligeramente en zigzag. El nudo forma conoidal y algunos son ligeramente cilíndricos con yema en forma pentagonal y semi-protuberante. El cuello color verde oscuro generalmente con dos arrugas en la base. La vaina desprendimiento intermedio, muy poco afate, las vainas en el tercio medio están parcialmente separadas del entrenudo y presentan una rajadura en la parte central. Lámina foliar, hoja angosta y borde poco aserrado, color verde oscuro y mide cinco centímetros en su base más ancha y con ápice en forma de gancho (Orozco, Castro, Buc, Quemé y Ovalle, 2009).

2.1.4 Etapas de desarrollo de la caña de azúcar

La magnitud de la pérdida de agua por evaporación del cultivo depende del estado de desarrollo en que se encuentre. Por eso resulta de mucha importancia conocer las distintas etapas de desarrollo de este cultivo, las cuales son las siguientes:

a. **Germinación y emergencia:** Comienza cuando el cultivo ha sido recién sembrado y aun no ocurre la emergencia o cuando el retoño no ha emergido (Subiros, 1995), En el caso de Guatemala esta etapa se le denomina Iniciación (Melgar, Meneses, Orozco, Pérez y Espinoza, 2012).

b. **Macollamiento y cierre de plantación:** proliferación de tallos, se desarrolla mayor cantidad de follaje y comienza a cerrar. El incremento del área foliar permite a la planta aumentar su capacidad para interceptar la radiación; a la vez, la evapotranspiración aumenta. Las raíces se desarrollan en mayor número y profundizan más (Subiros, 1995).

c. Periodo de rápido crecimiento: el cultivo experimenta un desarrollo vigoroso y completo y por lo general, el porte permanece aún erecto. La planta experimenta una elevada tasa de transpiración, como consecuencia del aumento del área foliar. El aumento del área foliar está en estrecha relación con la curva de evapotranspiración; por lo tanto, los requerimientos de agua son elevados en comparación con las necesidades detectadas en las dos fases anteriores (Subiros, 1995). Para el caso de Guatemala esta etapa es denominada elongación y esta misma se divide en dos; la elongación I, la más importante debido a que en esta desarrolla el mayor potencial en cuanto a crecimiento, teniendo una tasa de 1.95 cm/día, en comparación con la elongación II, que tiene una tasa promedio de crecimiento de 0.77 cm/día, de acuerdo a ensayo de experimentación en lisímetros en estación experimental en 1997 (Melgar, et al., 2012).

d. Maduración: En esta fase se persigue reducir el nivel de humedad del suelo, para que los meristemas de los tallos cesen el crecimiento vegetativo y se propicie la translocación y acumulación de sacarosa del tallo (Subiros, 1995).

Cuadro 1. Etapas de desarrollo en caña de azúcar.

No.	Etapa Fenológica	Duración (días)	Acumulado(días)
1	Iniciación	45	
2	Macollamiento	90	135
3	Elongación I	115	250
4	Elongación II	65	315
5	Maduración	45	360

(Melgar, et al., 2012).

Los meses de desarrollo de las diferentes etapas fenológicas del cultivo están de acuerdo al mes de siembra o cosecha en la zona cañera de Guatemala, considerando la semana intermedia de cada mes como siembra o corte para determinar los meses de influencia en la etapa de elongación del cultivo.

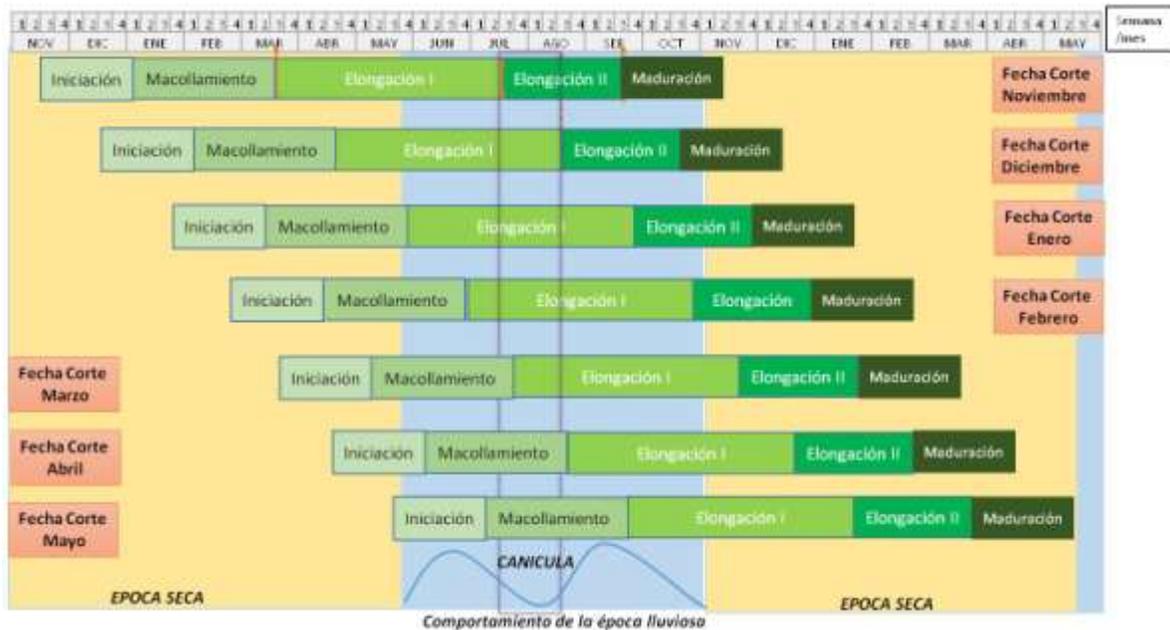


Figura 1. Desarrollo de las etapas fenológicas de la caña de azúcar de acuerdo al mes de siembra o corte de caña en Guatemala y distribución de la lluvia para el caso del estrato bajo (Botzoc, 2015).

Según comportamiento de crecimiento de la caña, resultados de ensayo en un área lisimétrica (CENGICAÑA, 1997), muestra que el periodo de 135 a 250 días después de la siembra los tallos alcanza su máximo crecimiento o etapa de elongación I (ver cuadro 1). Dada a la característica se considera como una etapa como crítica en la cual no debe permitir el estrés hídrico. Otra de las etapas consideradas como críticas es la etapa inicial, debido a una condición de baja humedad en el suelo, la población por metro lineal se reduce significativamente (Melgar, et al., 2012).

2.2 RELACIÓN AGUA-SUELO

2.2.1 Formas de expresar el contenido de humedad del suelo

Para fines de riego, el contenido de agua en un suelo se puede expresar de tres maneras: con base a peso de suelo seco (P_s), con base a volumen (P_v) y como una lámina de agua (L) (Sandoval, 1989).

2.2.2 Métodos para determinar el contenido de humedad en el suelo

Es una alternativa importante para realizar controles en la aplicación del riego, la medición de la cantidad de agua en el suelo se puede hacer con métodos directos e indirectos(Melgar, et al., 2012).

El método gravimétrico y volumétrico es el más exacto de todos, pero tiene la desventaja que requiere mucho tiempo, es más caro y es destructivo cuando se muestrea constantemente el mismo punto(Melgar, et al., 2012).

El método directo es la base para la calibración de los métodos indirectos, los métodos indirectos se basan en la medición del contenido de agua en el suelo con el uso de instrumentos, como: El tensiómetro y sensores de matriz granular (GMS) que miden el potencial mátrico y la sonda de neutrones que utiliza fuentes radioactivas. En la actualidad se han desarrollado nuevos instrumentos, como los electromagnéticos, entre ellos el TDR(Reflectometría de dominio de tiempo) y el FDR(reflectometría de dominio de frecuencias)(Melgar, et al., 2012).

FDR (reflectometria de dominio de frecuencias), como herramienta para el control de humedad en el suelo:

El principio de funcionamiento es la capacitancia eléctrica de un condensador, se utiliza en el suelo como un dieléctrico que depende del contenido de agua del suelo. Al conectar este condensador (hecho de placas de metal o varillas incrustadas en el suelo), junto con un oscilador, forman un circuito eléctrico, que detecta los cambios en la humedad del suelo debido a los cambios en la frecuencia de funcionamiento del circuito. Esta constituye la base del dominio de la frecuencia (FD), técnica utilizada en la capacitancia y en la frecuencia de sensores de reflectometría de dominio (FDR). En FDR la frecuencia del oscilador es barrido bajo control dentro de un cierto rango de frecuencias que permiten encontrar la frecuencia de resonancia (en el que la amplitud es mayor), que es una medida del contenido de agua en el suelo. Dentro de la descripción, las sondas generalmente constan de dos o más electrodos (es decir, placas, varillas, o anillos de metal alrededor de un cilindro) que se insertan en el suelo.

En la configuración del anillo de la sonda se introduce en un tubo de acceso instalado en el campo. Así, cuando un campo eléctrico se aplica, el suelo alrededor de los electrodos (o alrededor de la sonda) forma el dieléctrico del condensador que completa el circuito oscilante. El tubo de acceso permite que se utilicen múltiples sensores para efectuar mediciones en diferentes profundidades (Melgar, et al., 2012).

El uso de herramientas para evaluar las humedades en el suelo con sondas FDR continuas y/o portátiles constituye un método no destructivo y menos tedioso para medir la humedad del suelo a diferencia del método volumétrico. La determinación de la humedad del suelo con el FDR es confiable y precisa por lo que representa ser una alternativa importante para el control de la humedad del suelo (Melgar, et al., 2012).

2.2.3 Clases de agua en el suelo

Entre un suelo saturado y un suelo seco se pueden clasificar diferentes clases de agua y su relación con su disponibilidad y desarrollo de las plantas, estas clases son: agua gravitacional, capilar e higroscópica (Sandoval, 1989).

a. Agua gravitacional

Agua que se mueve libremente hacia abajo en los poros grandes debido a la acción de la gravedad (Sandoval, 1989).

b. Agua capilar

Agua contenida en los poros pequeños, retenida entre 1/3 y 15 atmósferas (Sandoval, 1989).

c. Agua higroscópica

Se refiere el agua que queda adherida herméticamente en forma de capas muy delgadas alrededor de las partículas del suelo. La fuerza de adhesión es tan grande que esta película de agua no puede moverse en el suelo ni ser aprovechada por la planta y esta comienza a marchitarse. Retenida a más de 15 atmósferas de tensión (Sandoval, 1989).

2.2.4 Capacidad de campo (CC) y método para su determinación

Se define a la capacidad de campo como el contenido de humedad que tiene el suelo inmediatamente después de que el agua gravitacional ha drenado. Es la máxima cantidad de agua que un suelo puede retener en contra de la fuerza de gravedad. El concepto de capacidad de campo es de gran utilidad por ser el límite superior de agua aprovechable o disponible para el desarrollo de las plantas y además porque es el porcentaje de humedad al que la zona radicular debe regarse para que no existan desperdicios ni falta de agua a la planta (Sandoval, 1989).

Debido a la gran importancia que el conocimiento del valor de la capacidad de campo del suelo tiene para fines de diseño y operación de sistemas de riego, se describirá el método utilizado a nivel de laboratorio (Sandoval, 1989).

El método para su determinación se basa en la aplicación de aire a 1/3 de atmósfera de presión a muestras de suelo saturadas. Al someter un suelo previamente saturado a una presión de succión equivalente a 1/3 atmósferas durante 16-24 horas, el agua gravitacional es expulsada y el contenido que queda en la muestra de suelo es la capacidad de campo (Sandoval, 1989).

2.2.5 Punto de marchitez permanente (PMP) y método para determinarlo

Se define como el porcentaje o contenido de humedad en el suelo al cual las plantas no pueden obtener suficiente humedad para satisfacer sus requerimientos de transpiración. Al alcanzar el suelo valores de PMP las plantas se marchitan y no son capaces de recuperarse aun cuando se coloquen durante una noche en una atmósfera saturada en la que casi no se produce consumo de agua (Sandoval, 1989).

Existen varios métodos para estimar o determinar esta constante de humedad del suelo. A continuación se define como se obtiene este valor por el método a utilizar de membrana de presión (Sandoval, 1989).

Este procedimiento se usa para determinar la humedad retenida en muestras de suelo a una tensión de 15 atmósferas. Este es uno de los métodos más usados para

determinar la PMP y se le conoce también como el método de Richards pues este fue reportado en 1947 (Sandoval, 1989).

2.2.6 Lámina de agua bruta

Es la mayor cantidad de agua que un suelo puede almacenar, y es la cantidad de agua que debemos dar al suelo en el primer riego para llevarlo a capacidad de campo, ya que éste se encuentra en punto de marchitez permanente (Méndez, 2014).

Para calcular la lámina de agua bruta aplicamos la siguiente ecuación:

$$db = \frac{C. C - P. M. P.}{100} * Da * Zr$$

Dónde:

db = lámina de agua bruta (cm)

CC = capacidad de campo en %

P.M.P. = punto de marchitez permanente en %

Da = densidad aparente

Zr = zona radical del cultivo (cm)

2.2.7 Umbral de riego

A través de experiencia se ha demostrado que no se debe de permitir que los cultivos consuman el 100% de humedad aprovechable o disponible en el suelo, es decir que no se debe permitir que la humedad del suelo baje desde capacidad de campo hasta el punto de marchitez permanente, porque la producción del cultivo disminuirá (Sandoval, 1989).

El porcentaje al cual se permite bajar la humedad del suelo antes de regar sin que la producción disminuya se le denomina punto crítico y se encuentra entre el valor de capacidad de campo y punto de marchitez permanente. El punto crítico varía con el tipo de cultivo, etapa de desarrollo del cultivo, suelo y clima y debe ser evaluado en experimentos (Sandoval, 1989).

Al rango entre capacidad de campo y al punto crítico se le llama déficit permitido de manejo (DPM), también denominado umbral de riego (UR) o abatimiento de humedad disponible. Normalmente se expresa como el porcentaje de la humedad aprovechable total que puede ser usada por el cultivo sin que la producción de éste disminuya(Sandoval, 1989).

Un DPM de 60% significa que se dejará que el cultivo consuma el 60% del agua disponible o aprovechable en el suelo y luego deberá regarse, considerando una humedad en el suelo del 40%.

2.2.8 Lámina de agua neta

Es la cantidad de agua que se debe reponer al suelo con el fin de cubrir el agua que ha utilizado el cultivo durante la evapotranspiración. Una vez que se le ha dado al suelo una lámina de agua bruta (db), es decir que se ha llegado a capacidad de campo, el cultivo empieza a perder agua por evapotranspiración si se deja que pasen muchos días la planta empieza a sufrir un estrés hídrico, por lo que se recomienda reponer una cantidad de agua antes de llegar a este estrés, y ésta depende del cultivo, a este punto se le denomina (UR, D.P.M, o C.R)(Méndez, 2014).

Para calcular la lámina de agua neta se aplica la siguiente fórmula:

$$dn = \frac{C.C - P.M.P}{100} * Da * Zr * U.R$$

Dónde:

dn= lámina de agua neta (cm).

C.C= Capacidad de campo en %.

P.M.P.= Punto de marchitez permanente en %.

Da= densidad aparente en g/cc

Zr= zona radicular del cultivo (cm)

UR ó DPM = umbral de riego o déficit permitido de manejo(Méndez, 2014).

2.2.9 Humedad residual

Se puede definir como el contenido de humedad arriba del punto de marchitez permanente, se considera que ésta misma es definida en el riego por el déficit permitido de manejo (DPM) del cultivo. Esto quiere decir que el déficit permitido de manejo es diferente para cada cultivo, mismo que indica que el punto donde la planta iniciará el proceso de estrés por agua. Es decir que si se maneja un DPM del 60% estamos considerando que la humedad residual del suelo es del 40%.

2.3 EL RIEGO EN EL INCREMENTO DEL RENDIMIENTO EN CAÑA DE AZÚCAR

Las condiciones en que se maneja el cultivo de caña de azúcar en la costa sur de Guatemala son muy heterogéneas; en los diferentes tipos de suelo se generan diversas capacidades de almacenamiento y/o aportes de agua; el clima, propicia varios comportamientos de déficit hídrico, según la altura sobre el nivel del mar y la caña, al sembrarse en distintas fechas genera que la respuesta de la caña al riego sea diferente (Melgar, et al., 2012).

Experiencia obtenida desde 1994, indica que la respuesta de la caña a la aplicación de agua a través del riego difiere según los factores: estrato altitudinal, fenología de la caña, periodos de zafra, condiciones climáticas, capacidad de los suelos de retener humedad y forma de operar de los sistemas de riego (Melgar, et al., 2012).

Las respuestas de la caña a la aplicación del agua son evidentes en áreas entre 0 – 200 msnm. Se han encontrado respuestas variables, con incrementos respecto a no regar entre 10 – 70 TCH³; los incrementos más bajos se observan en suelos franco limosos en donde hay aporte capilar y las mayores respuestas se observa en suelos con predominio de arena (franco arenoso). En el estrato entre los 200 y 300 msnm las respuestas encontradas fluctúan entre 20 – 30 TCH*. Mientras que en estrato arriba de 300 msnm, alcanza entre 10 y 20 TCH, la respuesta es menor debido, principalmente al menor déficit hídrico (Melgar, et al., 2012).

³ TCH: Toneladas de caña por hectárea.

2.4 PROGRAMACIÓN DEL RIEGO

Por lo general se hace de manera empírica y casi siempre sin tener en cuenta la relación suelo-agua-planta. Lo anterior conlleva al riesgo de aplicar un número excesivo de riegos o de someter el cultivo a periodos de déficit de agua, que pueden afectar la producción y la calidad de caña (Cassalett, et al., 1995).

La planta es un buen indicador fisiológico del momento oportuno para la aplicación del riego, así, la apertura de estomas, la temperatura de las hojas, el potencial del agua en el tejido foliar, el índice de humedad de Clements y la apariencia del cultivo, se toman como índices para programar los riegos. No obstante, los métodos más conocidos consisten en la apreciación al tacto de la humedad del suelo, las determinaciones gravimétricas, las mediciones del potencial mátrico usando tensiómetros, el uso de bloques de resistencia eléctrica y sonda de neutrones, actualmente se usan nuevos equipos como el TDR(Time Domain Reflectometer), el FDM(FrecuencyDomain Meter) y los tensiómetros de estado sólido. El empleo de los anteriores métodos requiere la lectura periódica de los parámetros de evaluación y, en algunos casos, es necesario utilizar equipos especializados y costosos, lo cual hace su empleo en el campo poco atractivo (Cassalett, et al., 1995).

2.5 EVAPOTRANSPIRACIÓN

Méndez (2014) menciona que, la evapotranspiración es la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación. Se expresa en mm por unidad de tiempo, ó cantidad de agua transpirada por las plantas y evaporada desde la superficie del suelo.

2.5.1 Diferencia EVT y uso consuntivo

La diferencia entre evapotranspiración y uso consuntivo es que evapotranspiración es la cantidad de agua que la planta pierde por evaporación más transpiración, mientras uso consuntivo es la cantidad de agua que se utiliza para la evaporación más transpiración, más agua de constitución (Méndez, 2014).

2.5.2 Métodos para calcular la evapotranspiración

Existen dos métodos para calcular la evapotranspiración siendo estos los métodos directos e indirectos.

Métodos directos: Mediante estos se mide la EVT en el campo. Mucho se ha trabajado al respecto, sin embargo los dos métodos más precisos son el método gravimétrico y el método del lisímetro el cual puede ser (de pesada, de drenaje o evapotranspirometro) (Méndez, 2014).

Métodos indirectos: Estos métodos sirven para estimar la EVT, lo cual puede hacerse através de datos obtenidos por el evaporímetro o por datos climáticos, es decir aplicando ecuaciones empíricas dentro de estas están: Hedke (1928), Larry Johnson (1942), Thornthwaite (1948), Blaney y Criddle (1950), Jensen Haise (1963), Hargreaves (1966), Penman (1970), Norero (1976) y otros. Ciertas ecuaciones han dado resultados aceptables, pero generalmente para el lugar donde fueron probadas, sin embargo, hay otras que si dan resultados en otras áreas pero que necesitan muchos datos climatológicos, lo que las hace prácticamente inaplicables. En Guatemala la ecuación que más aplicación tiene es la Blaney y Criddle corregida por Penman, modificada para Guatemala por el Ing. Gonzales y con variable del Ing. Méndez (Méndez, 2014).

2.6 COEFICIENTE DE CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

El coeficiente del cultivo (K_c) relaciona la aptitud de la caña a evapotranspirar a medida que el cultivo se desarrolla, desde que se siembra hasta la cosecha. En el libro del cultivo de caña de azúcar en Guatemala se presentan valores de K_c obtenidos en investigaciones realizadas en ensayos de campo y seleccionados con base en la respuesta de la caña de azúcar a la aplicación del agua a través del riego, con ello conformando un cuadro de acuerdo la etapa fenológica de desarrollo y textura de suelo, como se muestra en el cuadro 2 (Melgar, et al., 2012).

Cuadro 2. Valores de Kc según etapa fenológica y tipo de suelo, seleccionados en la zona cañera de Guatemala.

Textura	Etapas fenológicas			
	Iniciación	Macollamiento	Elongación I	Elongación II
Franco arenoso				
Franco arcilloso				
Arcillosos	0.3	0.6	0.9	1
Arena franca				
Arena				
Franco limosos				
Franco arcillo limosos				
Franco	0.3	0.3	0.6	0.7
Franco limoso + aporte capilar	0.3	0.3	0.3	0.3

(Melgar, et al., 2012).

2.7 EFECTOS DEL DÉFICIT HÍDRICO

Un déficit hídrico es susceptible de afectar negativamente el conjunto de funciones fisiológicas de la planta, tales como la fotosíntesis, respiración y reacciones metabólicas diversas, pero también puede repercutir en las variaciones anatómicas, principalmente el sistema estomático, sobre el crecimiento, la reproducción y el desarrollo de la semilla, sin dejar a un lado su acción sobre la absorción de elementos nutrientes minerales (Valero, 1993).

En general los efectos del estrés hídrico repercuten más en la producción obtenida en la parte aérea que en la zona subterránea. En cada caso, el efecto del estrés hídrico dependerá claramente de la intensidad de la sequía y de la época que acontece dentro del ciclo agronómico del cultivo (Valero, 1993).

2.7.1 Medición y estimación de estrés hídrico

La medición o estimación, del estrés hídrico de las plantas es muy importante para conocer en cada momento su estado hídrico y, de este modo, realizar sobre bases racionales el riego, evitando una utilización del mismo demasiado tardía, cuando el cultivo está ya sometido a una severa carencia de agua (Valero, 1993).

a. Conductancia estomática

Se refiere a la medición de la velocidad de escape del dióxido de carbono (CO_2) o vapor de agua a través de las estomas de la hoja. Cuando el déficit hídrico se pone de manifiesto en las hojas, se observa, en general, una reducción de la apertura de estomas que actúa sobre las pérdidas hídricas y absorción de CO_2 . El cierre prematuro de las estomas es un indicador relativamente sensible del desarrollo de estrés hídrico. Los métodos para determinar la apertura estomática son diversos (Slatyer y Shmueli, 1967): a) Medida directa con el microscopio; b) Método de Lloyd u observación microscópica directa de epidermis; c) examen al microscopio de réplicas superficiales; d) velocidad de penetración y difusión en el mesófilo de una gota de líquido lipófilo colocada sobre la superficie; y e) métodos porométricos, basados en la permeabilidad de la epidermis foliar a un gas (Valero, 1993). La conductancia estomática es un buen marcador fisiológico para seleccionar variedades por eficiencia de uso de agua en condiciones de déficit hídrico (Viveros, 2011).

2.8 EFECTO DEL DÉFICIT HÍDRICO EN ETAPA DE ELONGACIÓN O RÁPIDO CRECIMIENTO

Para el caso de Guatemala los cortes o siembras del primer periodo de zafra, el periodo crítico para el riego en la etapa de elongación se produce entre abril y mayo, los efectos son evidentes cuando incide el fenómeno conocido como “ENSO” en su fase cálida (Niño), principalmente. Este fenómeno causa retraso en las lluvias, que puede llegar a inicios de junio en el estrato bajo y litoral de la Costa Sur; en esta situación se ha cuantificado reducciones en el tonelaje de 10 – 20 TCH si no se aplica riego (Melgar, et al., 2012).

Se observó que una plantación bajo déficit hídrico durante la elongación retardará el inicio del crecimiento rápido hasta el comienzo de las lluvias, afectando de manera significativa la altura de plantas y finalmente el tonelaje según la longitud o duración de la época seca. Es decir, el cultivo no iniciará la elongación mientras no disponga de un suministro adecuado de humedad en el suelo, reduciendo también la formación de

tallos molederos. Además, en condiciones de suelos arenosos superficiales la mortandad de plantas se ha observado que es considerable (Juárez y Muñoz, 1998).

2.9 LA INCIDENCIA DE FENÓMENOS NATURALES, ENSO

Castro (2013), menciona que, el ENSO (nombre científico del fenómeno conocido como el Niño o la Niña) y el cambio climático (influenciado por las actividades propias del hombre) constituyen las causas determinantes del comportamiento del clima en el año y en cada uno de los años. Para nuestra latitud, los efectos del ENSO cálido (niño) se traducen en un incremento del déficit de agua en el período de mayo a octubre, mientras que en ENSO frío (niña) se traduce en un incremento de la lluvia y nubosidad. En ambos estados del ENSO el clima se altera, incrementando las probabilidades de tormentas tropicales, pero se ha observado que estas tormentas son más incidentes para nuestra latitud cuando existe un ENSO frío. En años neutros, las probabilidades de tormentas tropicales se reducen, disminuyendo considerablemente la lluvia, especialmente, en el estrato litoral.

2.9.1 Las irregularidades de la lluvia en las etapas fenológicas determinantes

Castro (2013) menciona que, los efectos a causa de los fenómenos ENSO y cambio climático, se manifiesta en la irregularidad de la lluvia en el período de lluvia o invierno, en estas condiciones se esperan años con déficit, como también años con exceso de lluvia. En información de lluvia acumulada relacionada con evapotranspiración acumulada en cinco días (pentadas) en la época lluviosa para determinar el déficit hídrico, considerándose cuando no supera la lluvia la demanda climática (evapotranspiración), existe déficit. Se observó que en el estrato litoral centro (< 40msnm), durante el periodo de Junio a Noviembre, para los años 2011 y 2012, la cantidad de días acumulados bajo déficit fue de 25 (5 pentadas) y mientras que en el año 2012 fue de 65 (13 pentadas), esta continuidad del déficit afecta grandemente a la acumulación de biomasa de la caña de azúcar, sobre todo en los suelos con predominio de arena. Otros de los efectos importantes es que la irregularidad de la lluvia difiere longitudinalmente.

III. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El déficit hídrico en caña de azúcar es causado por dos condiciones de humedad en el suelo; por falta o exceso, éste mismo causa reducción en el desarrollo del cultivo de acuerdo a su etapa fenológica, la más afectada es la etapa de elongación porque existe mayor demanda de agua (evapotranspiración) por su rápido crecimiento, que se observa de los 135 a 315 días después de la siembra y/o corte, con duración de 180 días.

El desarrollo de esta etapa crítica coincidentemente se desarrolla en una época lluviosa de mucha irregularidad en el comportamiento de la lluvia, principalmente en años definidos como secos (ENSO-cálido y/o ENSO-Neutro); en la actualidad no existe conocimiento que defina un intervalo adecuado de humedad en el suelo a manejar, para que no interfiera en el desarrollo del cultivo y evitar que se produzca una merma en la producción por exceso o falta de humedad en el suelo en esta etapa durante el periodo de irregularidad de la lluvia. Será importante para la programación y ejecución del riego, en la etapa de elongación o rápido crecimiento, minimizando el efecto de la reducción de biomasa del cultivo.

La investigación permitió determinar si existe una diferencia entre los umbrales de riego manejados respecto a un testigo, en el que no se aplicó riego y así mismo determinar si la respuesta del cultivo compensa la aplicación del riego.

IV. OBJETIVOS

4.1 GENERAL

Determinar el efecto de la aplicación de diferentes umbrales de riego, en el cultivo de lacaña de azúcar (*Saccharum*spp), durante la etapa de elongación de la variedad CG98-46, en suelo franco arenoso, en la finca Santa Elisa, La Democracia, Escuintla.

4.2 ESPECÍFICOS

- Determinar el efecto de los diferentes umbrales de riego; en el crecimiento, diámetro, largo de entrenudos de tallos en la etapa de elongación en caña de azúcar.
- Determinar rendimiento de caña y de azúcar para cada uno de los tratamientos.
- Relacionar umbrales de riego y valores de conductancia estomática.
- Relacionar evapotranspiración y abatimiento de humedad en el suelo en cada uno de los tratamientos.
- Determinar el tratamiento económicamente más rentable.

V. HIPOTESIS

5.1 HIPÓTESIS ALTERNATIVA

- Al menos uno de los tratamientos evaluados presenta diferencia significativa en el crecimiento, diámetro, largo de entrenudos de tallos en la etapa de elongación en caña de azúcar.
- Al menos uno de los tratamientos evaluados presenta diferencia significativa en el rendimiento de caña y azúcar.
- Existe relación en los tratamientos evaluados y valores de conductancia estomática.
- Existe relación en la evapotranspiración y el abatimiento de la humedad del suelo en los tratamientos evaluados.
- Al menos uno de los tratamientos evaluados es económicamente más rentable.

VI. METODOLOGÍA

6.1 LOCALIZACIÓN DEL TRABAJO

La investigación se realizó en la finca SantaElisa, propiedad del Ingenio Magdalena, se encuentra ubicada en el municipio de La Democracia, Escuintla, con coordenadas; 14° 10'06.35" latitud norte y 90°57'33.84" longitud oeste y a una altitud de 86 msnm; el periodo de lluvias ocurre de mayo a octubre, de acuerdo al estrato bajo de la zona cañera guatemalteca (Melgar, et al., 2012).

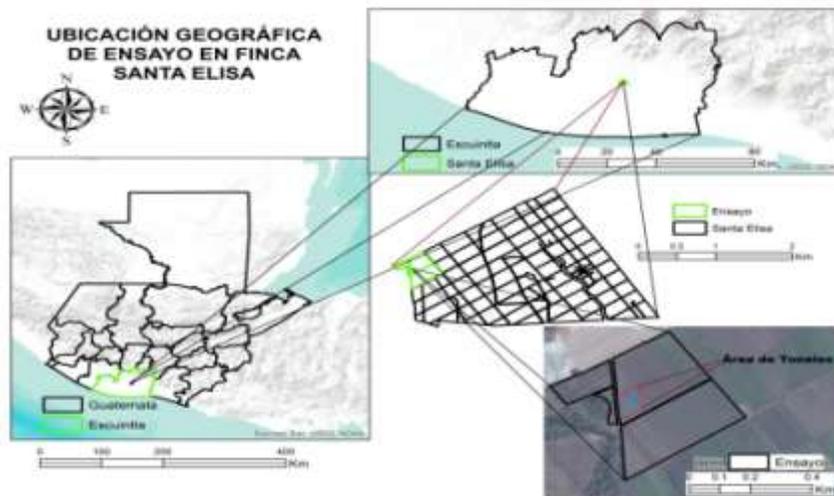


Figura 2. Localización espacial de la investigación en la finca Santa Elisa, la Democracia, Escuintla(Botzoc, 2015).

6.2 MATERIAL EXPERIMENTAL

Para esta investigación se utilizó la variedad CG 98-46, como una variedad promisoría según el ingenio Magdalena.

6.3 FACTORES ESTUDIADOS

En esta investigación se estudió el efecto del manejo de cuatro umbrales para la aplicación del riego, los cuales fueron: 20%, 40%, 60% y 80%, evaluados en etapa de elongación de la variedad CG 98-46 de caña de azúcar. Estos tratamientos se decidieron

para determinar el nivel de abatimiento máximo de humedad en el suelo permitido, donde la caña aún no inicie estrés hídrico, que afectaría el proceso fisiológico del cultivo durante la etapa de elongación y así mismo evitar una reducción en el rendimiento de toneladas de caña al momento de la cosecha.

6.4 DESCRIPCIÓN DE TRATAMIENTOS

Se evaluaron cuatro umbrales de riego y un testigo sin riego, durante el desarrollo de la etapa de elongación del cultivo, mismos que se describen en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Descripción de los tratamientos evaluados durante la etapa de elongación de la variedad CG 98-46.

No. Tratamiento	Descripción de tratamientos
1	Manejo del riego con umbral del 20%
2	Manejo del riego con umbral del 40%
3	Manejo del riego con umbral del 60%
4	Manejo del riego con umbral del 80%
5	Testigo (sin riego)

6.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y cinco tratamientos.

6.6 MODELO ESTADISTICO

El modelo estadístico para el diseño utilizado es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + B_j + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Variable respuesta de la i-ésima unidad experimental

μ = Efecto de la media general

t_i = Efecto del i-ésimo tratamiento

B_j = Efecto del j-ésimo bloque

E_{ij} = Efecto del error experimental asociado a la i -ésima unidad experimental

6.7 UNIDAD EXPERIMENTAL

La investigación se estableció en toneles plásticos de 0.84 metros de longitud con un diámetro de 60 centímetros, con ocho perforaciones en la base de 1 ¼ de pulgada (3.18 cm) y se agregó una capa de cuatro centímetros de grava al fondo para que no lavar el suelo y únicamente cumpliera el objetivo de eliminar el exceso de agua, así mismo se instalaron tubos PVC de aproximadamente 2” de diámetro (5.1 cm), que fueron usados para el acceso para la medición de humedad, realizada con equipo de reflectometría de dominio de frecuencias (FDR), nombre comercial “Diviner 2000”, equipo que expresa la humedad en volumen.

6.8 CROQUIS DE CAMPO

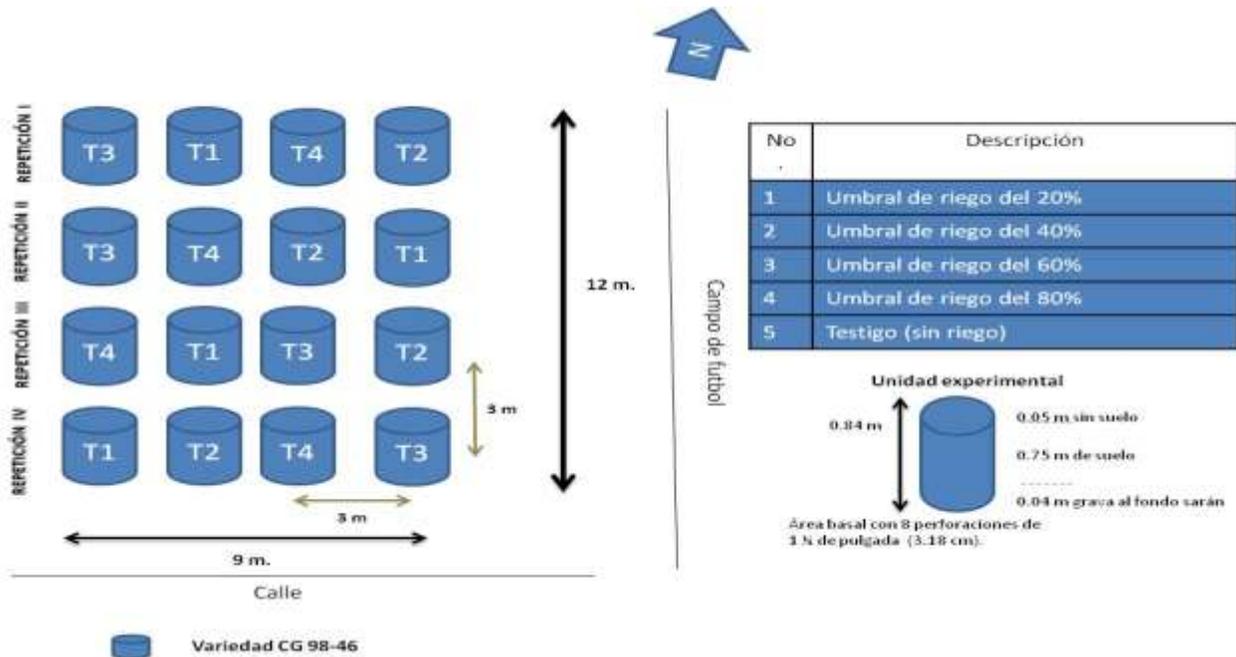


Figura 3. Croquis de campo, distribución aleatoria por bloque de los tratamientos evaluados en ensayo experimental.

6.9 MANEJO DEL EXPERIMENTO

6.9.1 Siembra

Se realizó en el mes de diciembre, en suelo de textura franco arenosa, predominante de la zona cañera guatemalteca, posteriormente se sembraron tres esquejes con una longitud de 10 cm, al centro del tonel, a una profundidad de 10 cm. Al germinar se eligió a la plántula más vigorosa de acuerdo al crecimiento y desarrollo del tallo.

6.9.2 Aplicación de tratamientos a través del riego

Para el manejo del riego y aplicación de tratamientos, se determinaron previamente las propiedades físicas del suelo: porcentaje de humedad a capacidad de campo, porcentaje de humedad a punto de marchitez permanente y densidad aparente.

Las propiedades físicas del suelo se determinaron a través de análisis físico en el laboratorio agronómico de suelos de CENGICAÑA.

Cuadro 4. Resultados del análisis físico del suelo

Textura	Capacidad de campo (% Humedad)	Punto de marchitez permanente (% Humedad)	Densidad aparente (g/cc)
Franco arenoso	30.41	16.48	1.07

Después de obtener los resultados se procedió a realizar los cálculos necesarios

a. Cálculo de la lámina bruta de agua

$$db = ((CC - PMP) / 100) * Da * Zr$$

$$\text{Lámina bruta de agua} = \left(\frac{30.41\% - 16.48\%}{100} \right) \times \frac{1.07 \text{ gr}}{\text{cc}} \times 500 \text{ mm} = 75 \text{ mm}$$

db= lámina de bruta de agua en mm.

CC= Capacidad de campo en %.

PMP= Punto de marchitez permanente en %.

Da= densidad aparente en g/cc.

Zr= Zona radicular del cultivo en mm.

b. Cálculo de la lámina neta de agua

$$dn = db * U.R$$

Dónde:

dn= láminaneta de agua en cm.

db= láminabruta de agua en cm.

UR = umbral de riego ó déficit permitido de manejo en forma relativa. Este valor es lo inverso al porcentaje de humedad residual. $UR = (1 - (\% \text{ humedad residual}))$.

Cuadro 5. Lámina de agua neta de acuerdo a los umbrales de riego evaluados, se expresa en mm.

Profundidad en etapa de elongación(cm)	Total de lámina bruta de agua(mm)	Umbral de riego (%)	Lámina neta de agua (mm)
50	75	20	15
	75	40	30
	75	60	45
	75	80	60

c. Manejo del riego en la investigación

Para el manejo del riego se respondieron las interrogantes ¿cuánto regar? y ¿cuándo regar?; la primera se respondió por cada uno de los cuatro tratamientos, correspondientes a umbrales de riego de: 20, 40, 60 y 80 por ciento (ver cuadro 5) en función de la lámina bruta de agua. Estos diferentes niveles de consumo de agua en el suelo, sirvieron para la aplicación del riego, que consistía en aplicar la lámina neta de agua de acuerdo al umbral de riego, necesaria para llegar la humedad en el suelo a capacidad de campo. A continuación se explica el cuánto regar por tratamiento (Ver Figura 4).



CC= Capacidad de campo, PMP= punto de marchitez permanente.
 Umbral de riego= límite permisible de consumo de humedad en el suelo,
 Entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente.

Figura 4. El manejo del riego de acuerdo al umbral en cada uno de los tratamientos evaluados.

En la figura 4 se explica el manejo de riego, por ejemplo en el tratamiento de riego con un umbral de riego del 20 por ciento, se permitió que se consumiera el 20 por ciento de humedad del total de la lámina bruta de agua (corresponde el 100 por ciento), y se reponía lo que se consumió para llegar nuevamente a capacidad de campo, como lámina neta de agua, para este tratamiento la lámina fue de 15 mm por cada riego (ver cuadro 5). En el caso sin riego, no se pretendía definir un límite consumo, únicamente sirvió de comparador con diferentes tratamientos.

La segunda interrogante se respondió de acuerdo a los límites permitidos de consumo (umbrales de riego) por la caña de azúcar, para tomar la decisión del riego. Para responder esta interrogante, se utilizó el método de medición de humedad indirecto, a través del principio de la reflectometría de dominio de frecuencias (FDR). El valor obtenido fue en humedad volumétrica o lámina de agua, así mismo permitió conocer el momento preciso para aplicar el riego según el tratamiento correspondiente.

El manejo de los tratamientos a través de mediciones de humedad volumétrica con FDR, se monitoreó continuamente la humedad en el suelo en cada uno de los tratamientos durante la etapa de elongación de la variedad CG 98-46 y cada vez que la

humedad indicada por el FDR se acercará al umbral de riego, se tomó la decisión de aplicar riego, como se indica en la figura 5, reponiendo la lámina neta de agua.

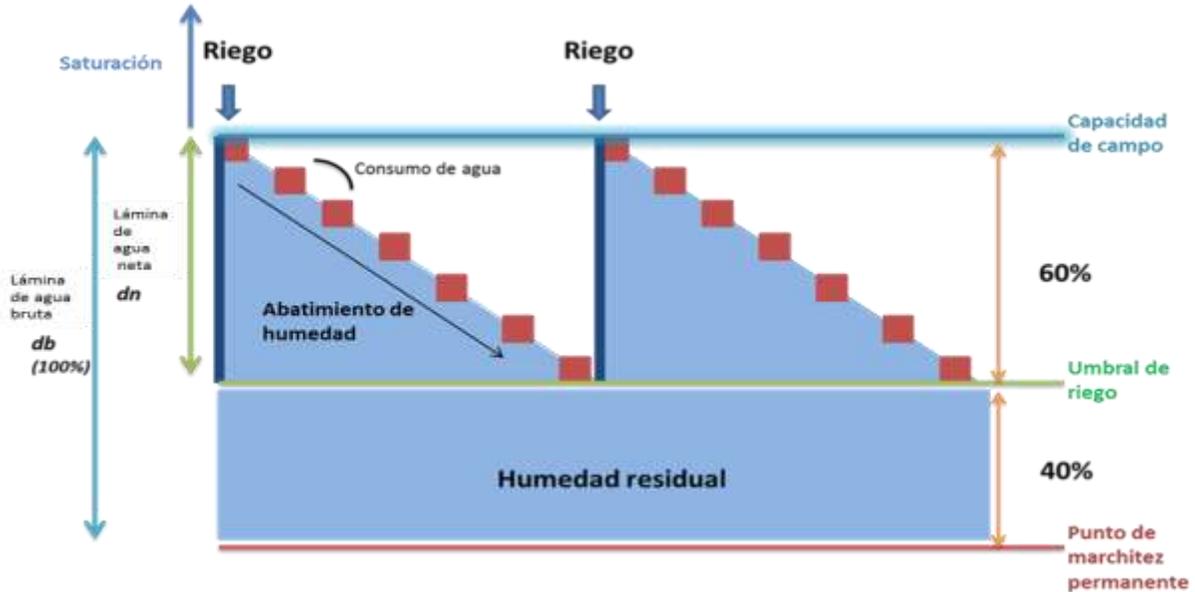


Figura 5. Parámetros importantes para la decisión del cuándo y cuánto regar en la investigación, de acuerdo a los tratamientos de umbrales de riegos evaluados.

De esta manera se manejó el riego a partir de los 135 hasta los 315 días, periodo de tiempo de desarrollo de la etapa de elongación después de la siembra en caña de azúcar, fue de mucha utilidad apoyar el cuándo regar con mediciones de humedad en el suelo que facilitaron determinar el momento oportuno del riego de acuerdo al umbral.

6.9.3 Control de malezas

El control de maleza se realizó periódicamente, de forma manual, para no lastimar el desarrollo de la macolla en cada unidad experimental, el uso de machete se empleó para el control de malezas en el área y alrededor del experimento. Esta actividad se realizó para evitar la competencia de otras especies vegetales por luz, agua y nutrientes.

6.9.4 Fertilización

Se generó el programa de fertilización de acuerdo a resultados del análisis químico del suelo obtenidos en el laboratorio agronómico de CENGICAÑA.

Cuadro 6. Resultados del análisis químico de suelos

Ingenio	CE	pH 1:2.5	Materia Orgánica	Ca	Mg	K	Na	CIC	P	Cu	Zn	Fe	Mn
	(dS m ⁻¹)		%	meq/100g Intercambiables					(ppm)				
Magdalena	0.04	6.95	1.22	12.43	2.20	1.28	0.24	26.83	74.67	0.98	2.31	40.76	20.06

Para el programa de fertilización se consideró el espacio en el que se desarrolló la caña, la cantidad de suelo utilizado y la demanda del cultivo de acuerdo a su etapa de desarrollo, para ello se consideraron una dosis de: 250kg/ha de N fraccionado en 11 aplicaciones; 80 kg/ha de P₂O₅ fraccionado en dos aplicaciones, y 100 kg de K₂O, fraccionado en cinco aplicaciones; considerándose que bajo estas condiciones hay que sobrestimar la cantidad de nutrientes a utilizar (Fertilización-CENGICAÑA).

Para cumplir la demanda de nutriente se utilizó la fuente química de urea, con un 46% de N, para fósforo se utilizó el triple superfosfato, con un 46% de P₂O₅ y para potasio se suplió con el cloruro de potasio, que contiene un 60% de K₂O.

6.9.5 COSECHA

Se realizó a los 333 días después de la siembra, para ello se pesaron todos los tallos que constituyeron la unidad experimental, es decir toda la macolla, posteriormente se realizó un paquete de caña para análisis de jugos, realizado en el Laboratorio agronómico de CENGICAÑA.

6.10 VARIABLES DE RESPUESTA

6.10.1 Características agronómicas asociadas a la producción de biomasa

Las mediciones de las variables se realizaron por cada unidad experimental.

a. Altura de tallo (cm)

Con una cinta métrica se midieron cinco tallos tomados aleatoriamente, desde la base hasta el último cuello visible del tallo. Estos mismos se marcaron con nylon para darle seguimiento en las próximas lecturas realizadas a los 6, 7, 8, 9, 10 y 11 meses después de la siembra (ver figura 6).

b. Diámetro del tallo (cm)

La medición del diámetro se realizó a los cinco tallos en los cuales se cuantificó la altura, y se procedió a visualmente dividir el tallo en tres segmentos, luego con vernier se midió el segmento de la parte media, estas lecturas se tomaron una vez cada mes en toda la etapa de elongación, es decir, a los 6, 7, 8, 9, 10 y 11 meses después de la siembra (ver figura 6).

c. Largo de entrenudo del tallo (cm)

La medición del largo del entrenudo se realizó a los cinco tallos mencionados en las variables anteriores, y se procedió a visualmente dividir el tallo en tres segmentos, luego con una cinta métrica se midió de nudo a nudo la parte media, estas lecturas se tomaron una vez cada mes en toda la etapa de elongación, es decir, a los 6, 7, 8, 9, 10 y 11 meses después de la siembra (ver figura 6).

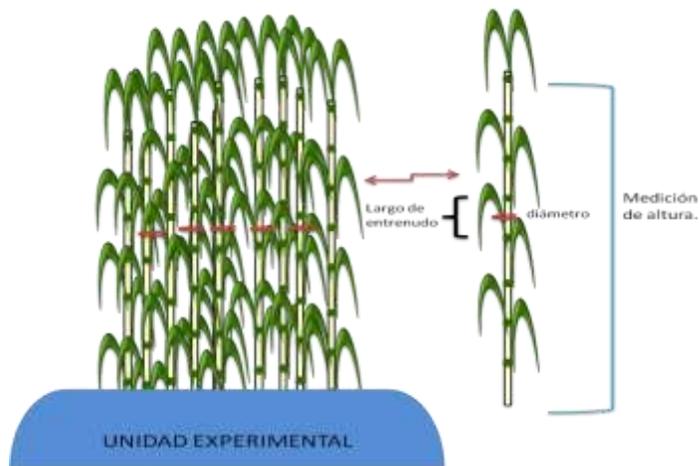


Figura 6. Mediciones de características agronómicas asociadas a la producción de biomasa; altura, diámetro y largo de entrenudo del tallo.

6.10.2 Cuantificaciones del consumo de agua

a. Monitoreo del consumo de agua del suelo (mm)

Se determinó a través del sensor FDR, en cada unidad experimental, ayudó a determinar la cantidad de humedad residual, para ello se llevaron registros a través de una hoja electrónica para monitorear el consumo diario de humedad por la caña.

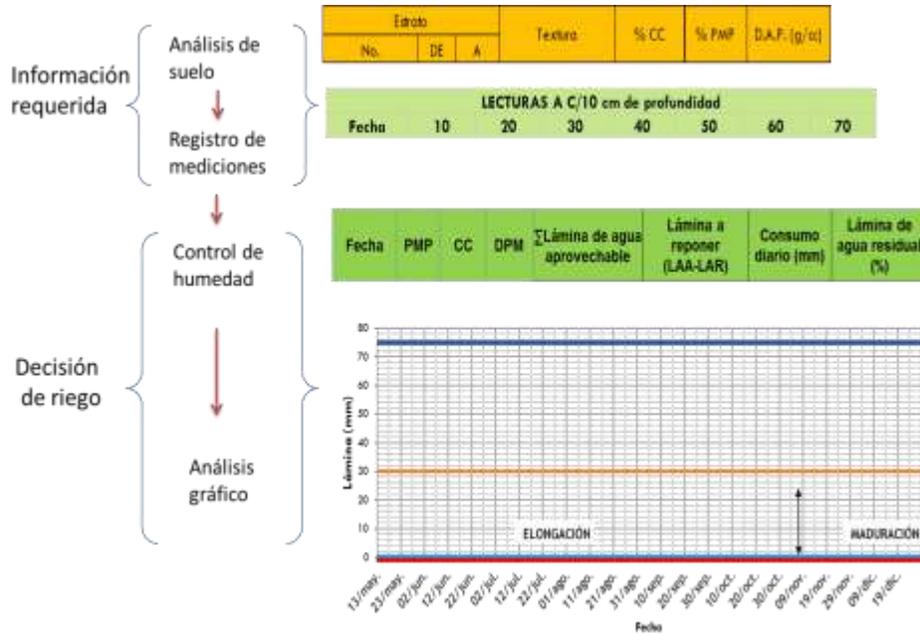


Figura 7. Proceso de análisis de la información de la sonda de humedad FDR, realizada en archivo Excel 2007.

La hoja consiste en dos partes; información requerida e información analizada. En la primera se ingresa la información del suelo, considerándose cada 10 cm de profundidad del suelo, debido a que el FDR (nombre comercial, Diviner 2000), registra la información cada 10, de la misma manera se ingresa esta información cada 10 cm, Posteriormente se pasa a la segunda parte, donde se realiza una análisis para calcular la cantidad de lámina de agua residual o existente en el suelo y el consumo, así mismo se desprende un análisis gráfico, que es útil para la toma de decisión del riego al momento de llegar al umbral, de acuerdo a los tratamientos indicados con anterioridad.

b. Cuantificación de la evapotranspiración

Para la cuantificación de la evapotranspiración se utilizó el método Blaney y Criddle, corregido por Penman y modificado por el Ing. Gustavo Méndez, mediante datos de la estación convencional ubicada en la finca San Patricio, a una distancia aproximada de 3.5 km del experimento, donde se tomaron variables de: temperatura, humedad relativa e insolación.

Método de Blaney y Criddle corregido por Penman

Mes	Fracción	T °C	$\frac{t + 17.8}{21.8}$	%P	F cm	Kt	Kc	EVT cm	EVT' cm
-----	----------	------	-------------------------	----	------	----	----	-----------	------------

Donde:

Fracción: en relación a los días del cultivo por mes.

T°C = temperatura media en grados centígrados.

Kc = factor de acuerdo al desarrollo del cultivo

%P = porcentaje diario de horas luz.

Kc = coeficiente del cultivo

F = factor de uso consuntivo.

%P para los datos del INSIVUMEH = porcentaje de insolación mensual.

Debido a que la EVT es calculada se debe de comparar con la tabulada, y si ésta es mayor debe de corregirla así

$$\text{Si } \sum \text{EVT} > K_g \times \sum F = \text{corrección (Fc)}$$

$$F_c = K_g / K'$$

$$K' = \sum \text{EVT} / \sum F$$

$$\text{EVT}' = \text{EVT} \times F_c$$

6.11 CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS ASOCIADAS AL USO DEL AGUA

6.11.1 Conductancia estomática

La conductancia se midió en la hoja TVD (Top Visible Dewlap), primera hoja con lígula visible, la primera y segunda hoja después de la TVD. La medición de esta variable se

realizó(171, 206, 241 y 272 días después de la siembra). El valor de conductancia estomática es dado en $\text{mmol/m}^2\text{seg}$.

Para conocer este valor se utilizó el porómetro SC-1(DecagonDevices, EE.UU.).Mide la conductancia estomática de las hojas usando la técnica de estado estacionario, la cual mide el flujo de vapor de la superficie de la hoja a la atmósfera. Una ruta de acceso fijo de difusión se une a la superficie de la hoja, y el flujo de vapor se determina a partir del gradiente de presión de vapor en el camino de la difusión y la conductancia de vapor conocido a través de la ruta fija. Si se conoce el flujo de vapor y la conductancia en la ruta de difusión, a continuación se puede calcular la conductancia estomática (Viveros, 2011).

6.12 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

6.12.1 ANÁLISIS ESTADISTICO

Se realizó utilizando el paquete estadístico INFOSTAT 2012, versión profesional. Bajo el diseño bloques completos al azar. Se realizaron análisis de varianza, prueba múltiple de media con una confiabilidad del 95%.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El ciclo anual de desarrollo de caña de azúcar (*Saccharum* spp), está dividido en cuatro etapas fenológicas, cada una con diferente nivel de importancia dependiendo de la actividad de manejo del cultivo, en el caso de riego, las más importantes son: iniciación y elongación, la primera de importancia para lograr la germinación de la yemas de los tallos utilizados para la propagación asexual del cultivo y la segunda debido al rápido crecimiento del cultivo y la demanda de agua en esta etapa, donde existe mayor transpiración del cultivo y disminuye la evaporación.

Esto fue el punto de partida para determinar temporalmente la etapa de elongación de la caña de azúcar de acuerdo a su fecha de siembra, LA misma se muestra a continuación:

- a. Etapa de iniciación (45 días): 28 de diciembre al 10 de febrero.
- b. Etapa de macollamiento (90 días): 11 de febrero al 11 de mayo.
- c. Etapa de elongación (180 días): 12 de mayo al 07 de noviembre.
- d. Etapa de maduración (45 días): 08 de noviembre a la cosecha.

La duración de la etapa de elongación del cultivo fue de seis meses, iniciando a los cuatro meses y medio, finalizando a los diez meses y medio. El periodo coincidió con la época de lluviosa de la zona, investigación situada en el estrato bajo (altitud 40-100msnm), debe de considerarse que la época lluviosa se desarrolló en un ENSO-neutro, por lo cual se manifestaron periodos irregulares de lluvia que permitieron la aplicación de los tratamientos.

Para justificar la aplicación de los tratamientos fue muy importante considerar el balance hídrico en pentadas, es decir la evapotranspiración y lluvia acumulada en cinco días; esto permitió determinar el número de pentadas donde la lluvia no supera la evapotranspiración estimada (Blaney y Criddle), considerando que bajo estas condiciones existió déficit hídrico, que dependiendo la intensidad y duración así se manifestará en el cultivo, con un seguimiento continuo de humedad en el suelo se decidió la aplicación de los tratamientos planteados para el manejo de esta etapa.

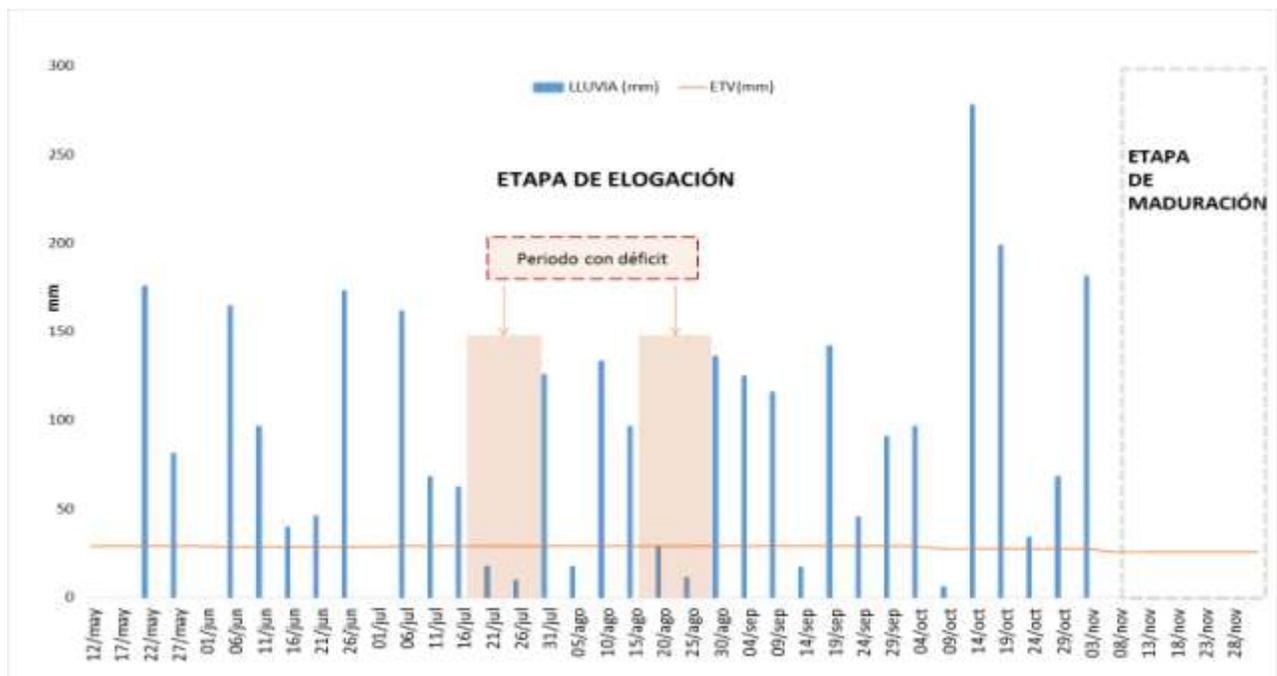


Figura8. Análisis de lluvia y evapotranspiración en el periodo de la época lluviosa, coincidentemente con la etapa fenológica de elongación del cultivo.

La figura 8 muestra dos periodos irregulares de lluvia, donde el cultivo estuvo en déficit cuando la evapotranspiración fue mayor a la cantidad de agua de lluvia en periodos de cinco días con base en la figura 8, los periodos fueron del 15 al 30 de Julio y el siguiente del 14 al 29 de agosto, periodos de igual duración de diez días seguidos (dos pentadas), el primer periodo con más intensidad que el segundo (debido a la acumulación de la precipitación). Se consideró al primer periodo de déficit para el análisis y mismo donde fue necesaria la aplicación de tratamientos.

7.1 OBJETIVO UNO: DETERMINAR EL EFECTO DE LOS DIFERENTES UMBRALES DE RIEGO; EN EL CRECIMIENTO, DIÁMETRO, LARGO DE ENTRENUDOS DE TALLOS EN LA ETAPA DE ELONGACIÓN EN CAÑA DE AZÚCAR

7.1.1 Crecimiento de la caña de azúcar

El análisis de crecimiento se planteó de la siguiente manera, tomando lecturas de biometría del 17 de junio al 22 de Julio. Para la medición de altura, se realizó de acuerdo a la metodología planteada.

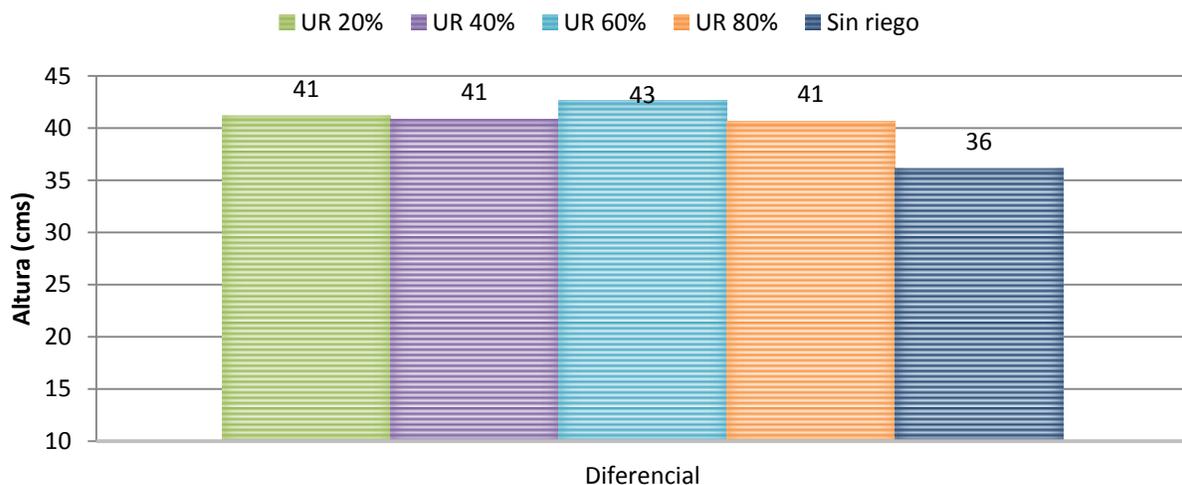


Figura9. Diferencial de crecimiento de altura entre la medición realizada el 22 de julio respecto al 17 de junio en la variedad CG 98-46.

La figura 9 muestra que el tratamiento que tuvo mayor crecimiento en el período, fue el de umbral de riego de 60 por ciento, seguido del umbral de riego de 20, 40 y 80 por ciento, sin lugar a duda los tallos de menor crecimiento fueron los del testigo, durante este período de déficit de diez días consecutivos.

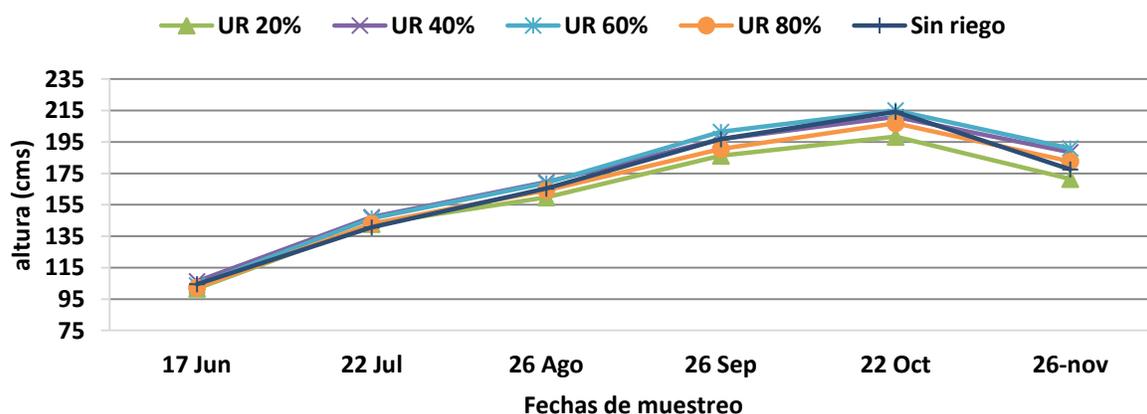


Figura 10. Comportamiento del crecimiento en altura del tallo en los diferentes tratamientos evaluados, durante la etapa de elongación.

La figura 10 muestra el comportamiento del crecimiento de la variedad CG 98-46, donde al finalizar el periodo de crecimiento el comportamiento de los tallos de caña, en los tratamientos evaluados, se comporta de la misma manera, gráficamente no se observa diferencia entre los tratamientos debido a que no se dio lugar al estrés.

Una planta bajo condiciones de estrés hubiera causado efecto en el crecimiento de tallos, provocando el cierre estomático, disminuyendo su turgencia por aumento de ácido abscísico y reduciendo la absorción de CO_2 , que a la vez dificulta la expansión foliar de las hojas y aumenta el nivel de estrés, lo que puede causar la muerte de la misma y provocar su senescencia.

Cuadro 7. Datos de la variable altura a los 333 días después de la siembra

Riego	Medias (cm)	LSD FISHER 0.05
UR 60%	190.95	A
UR 40%	188.50	A
UR 80%	182.60	A
Sin riego	177.55	A
UR 20%	171.45	A

A los 333 días después de la siembra, estadísticamente no existió diferencia significativa en la variable altura de tallos, en el manejo de umbrales de riego en la etapa de elongación en la variedad de caña CG 98-46, esto se puede explicar debido a que diez días donde la humedad descendió hasta un máximo del 60 por ciento, no causó estrés y que el crecimiento perdido, fue recuperado bajo eventos de lluvias continuos.

7.1.2 Diámetro de entrenudo

Para la medición del diámetro del entrenudo se procedió según la metodología descrita, la medición de esta variable de crecimiento se hizo en el entrenudo intermedio del tallo de la caña de azúcar, en el período de irregularidad de lluvia, en el mes de julio.

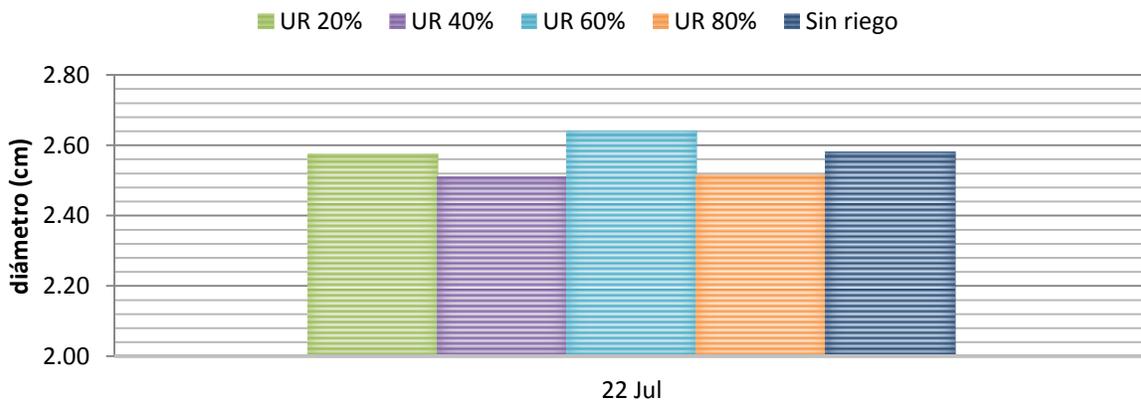


Figura 11. Diámetro del tallo de los diferentes tratamientos a 206 días después de la siembra.

Según muestra la figura 11, en promedio el riego manejado a umbral del 60 por ciento, permite que la caña logre desarrollar un mayor diámetro de tallo, le siguieron el manejo de riego del 20 y 80 por ciento de umbral de riego; en última instancia un umbral de riego del 40 por ciento, esto se observa durante el periodo irregular de lluvia. Los tratamientos aplicados durante esta etapa fueron los umbrales de riego del 20, 40 y 60 por ciento.

Se realizó un monitoreo del diámetro del tallo, corresponden a los 206, 241, 272, 298 y 333 días de desarrollo del cultivo, correspondientes a fechas de muestreo en la figura 12.

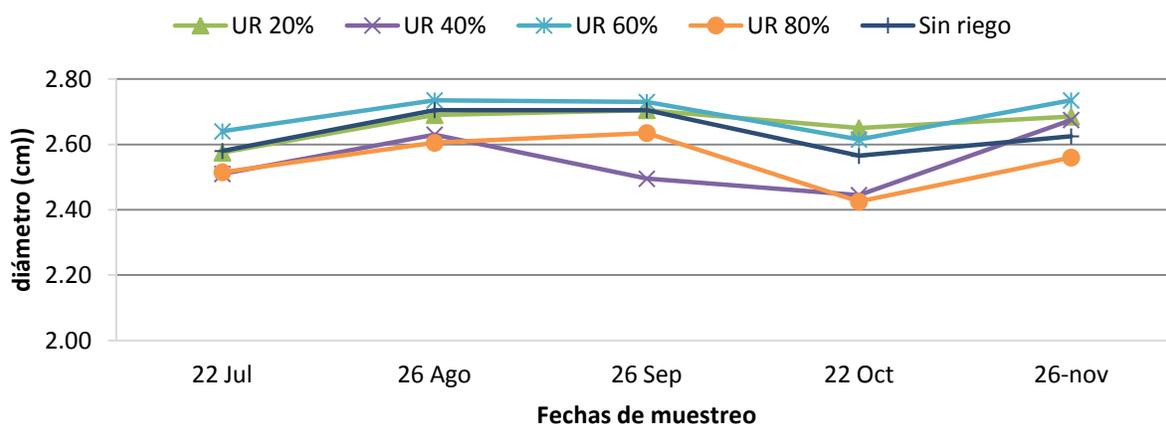


Figura 12. Diámetro del tallo de acuerdo al desarrollo de la etapa de elongación en la variedad CG 98-46.

Como se observa en la figura 12, el mejor desarrollo al final de la cosecha fue obtenido con un umbral de riego del 60 por ciento, seguidamente del manejo de riego con el umbral de 20 y 40 por ciento y por último el manejo del riego con un umbral del 80 por ciento, el comportamiento de esta variable fue similar para todos los tratamientos y al final tienen el mismo comportamiento y como se observa en la figura no existe diferencia significativa.

El diámetro de entrenudo no fue afectado en la evaluación, el nivel del consumo máximo de humedad en el suelo fue del 60 por ciento, que ayudó a que la planta no iniciará y/o aumentará la intensidad del estrés que hubiera provocado una disminución en el diámetro de tallos, debido a la utilización de los azúcares almacenados, esto ocasionado por la disminución de la abertura estomática y reducción de la absorción de CO₂, que a la vez dificulta la expansión foliar de las hojas, ocasionando la disminución de la fotosíntesis y al aumentar el nivel de estrés pueden causar la muerte de la misma y provocar su senescencia.

Cuadro 8. Diámetro del tallo a los 333 días después de la siembra

Riego	Medias	LSD FISHER 0.05
UR 60%	2.74	A
UR 20%	2.69	A
UR 40%	2.68	A
Sin riego	2.63	A
UR 80%	2.56	A

A los 333 días después de la siembra, estadísticamente no existió diferencia significativa en la variable diámetro del tallo, al igual que la variable altura, diámetro mostró el mismo efecto durante el periodo de diez días consecutivos, donde únicamente se pudieron aplicar los tratamientos de umbrales del 20, 40 y 60%, donde la caña se recuperó con eventos de lluvia.

7.1.3 Largo de entrenudo del tallo

Esta variable fue determinada de acuerdo a la metodología descrita, se comparó al final del desarrollo del cultivo para determinar diferencias entre los tratamientos.

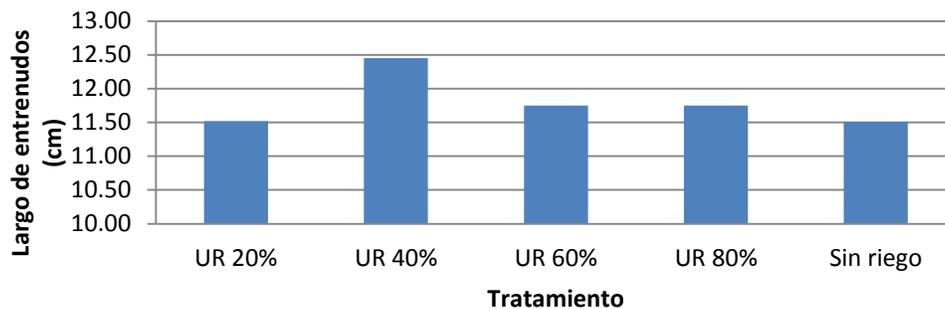


Figura 13. Largo del entrenudo del tallo al final de las etapas de desarrollo del cultivo.

Como se observa en la figura 13, el largo del entrenudo del tallo, fue mayor con un umbral de riego del 40 por ciento, seguido del riego con un umbral del 60 y 80 por ciento, y por último el riego bajo un umbral del 20 por ciento y sin riego.

El largo de entrenudos también es reflejo del crecimiento del tallo de la planta, como se mencionó con anterioridad, el nivel máximo de humedad descendido en el suelo fue del 60 por ciento, por lo que la planta no logró aumentar el nivel de estrés hídrico que se hubiera manifestado en la disminución del largo de entrenudo de los tallos, debido a la disminución de la humedad en el suelo, que provoca una disminución de la abertura de los estomas con el propósito de reducir el intercambio gaseoso y de la misma manera reducir la fotosíntesis. Al aumentar el nivel de estrés se manifiesta en las hojas una reducción del área y de la misma manera muerte de células hasta provocar su senescencia.

Cuadro 9. Largo de entrenudo a los 333 días después de la siembra

Riego	Medias	LSD FISHER 0.05
UR 40%	12.45	A
UR 60%	11.75	A
UR 80%	11.75	A
UR 20%	11.52	A
Sin riego	11.51	A

A los 333 días después de la siembra, estadísticamente no existió diferencia significativa en la variable largo de entrenudo del tallo, en el manejo de umbrales de riego en la etapa de elongación en la variedad de caña CG 98-46. Los resultados mostrados en la gráfica y estadísticamente no muestran diferencia, esto pudo deberse a que el periodo de déficit bajo un suelo con textura franco arenosa no fue suficiente para que el cultivo iniciara el estrés.

7.2 OBJETIVO DOS: DETERMINAR EL RENDIMIENTO DE CAÑA Y DE AZÚCAR PARA CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS

La caña de azúcar se cosechó con un tiempo de desarrollo de 333 días, en lo que la población de cada unidad experimental consistía en una macolla, donde se separaron los tallos que conformaba la misma, en las cuatro repeticiones y de la misma manera determinar el peso en toneladas relacionando peso/ área.

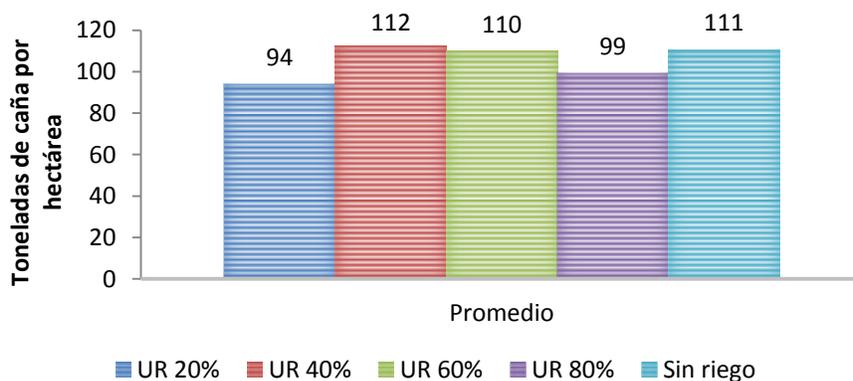


Figura 14. Rendimiento en toneladas de caña por hectárea (TCH).

La figura 14 muestra que los mayores pesos fueron obtenidos manejando el riego a un umbral del 40 por ciento (112 TCH), seguido del tratamiento sin riego, umbral de riego del 60, 80 y 20 por ciento, con un rendimiento de 111, 110, 99 y 94 TCH, respectivamente. Se observa que suelos manejados con alta humedad, pueden causar que la caña no se desarrolle de una manera adecuada durante esta etapa, lo que repercute en el rendimiento de toneladas de caña por hectárea, debido a que el suelo mantiene mucha humedad que dificulta en algún momento la disponibilidad de oxígeno en el suelo, disminuyendo la absorción de agua.

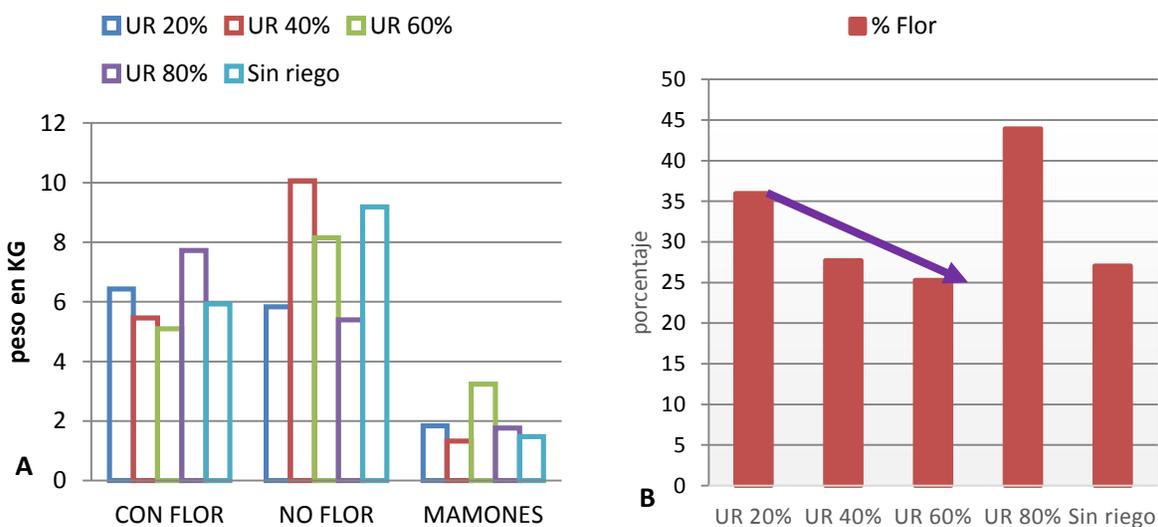


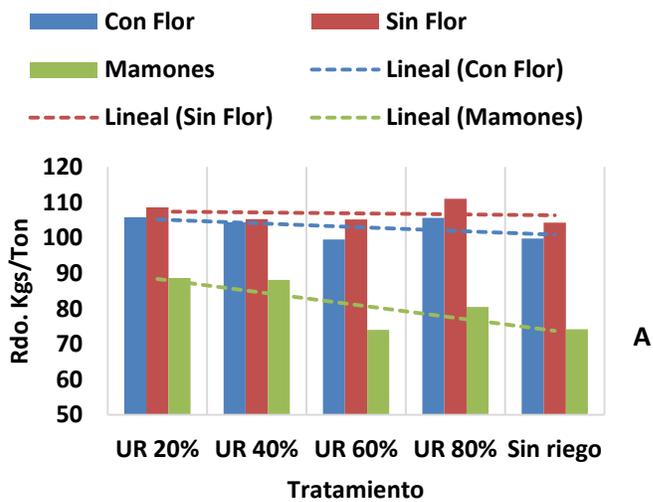
Figura 15.a. Peso de tallos por macolla y b. Porcentaje de flor

Se observa que la cantidad de tallos con flor se desarrollaron en tallos con baja y alta humedad en el suelo, no así para el caso de tallos no floreados se dieron en condiciones de UR de 40 y 60 por ciento; en el caso de mamones se desarrollaron en mayor cantidad en umbral de riego del 60 por ciento. En el caso de las toneladas de caña de azúcar por hectárea, el valor más bajo fue de 94 TCH, que puede explicarse por la alta disponibilidad de humedad en el suelo y su rápida reposición que hace que la planta inicie un proceso de estrés por el exceso de agua en el suelo, ocasionando una disminución del oxígeno, provocando una disminución en su absorción y deteniendo el desarrollo del cultivo.

Cuadro 10. Toneladas de caña por hectárea

Riego	Medias	LSD FISHER 0.05
UR 40%	112.34	A
Sin riego	110.59	A
UR 60%	109.92	A
UR 80%	99.17	A
UR 20%	94.00	A

En el análisis estadístico de pruebas de medias LSD Fisher, en las toneladas de caña por hectárea, no se observó diferencia significativa, en la aplicación de umbrales de riego y el tratamiento testigo (sin riego).



Rendimiento comercial kg de azúcar/tonelada

Tratamiento	Con Flor	Sin Flor	Mamones
UR 20%	105.82	108.58	88.66
UR 40%	104.32	105.26	88.06
UR 60%	99.47	105.19	73.99
UR 80%	105.65	111.03	80.47
Sin riego	99.75	104.28	74.14

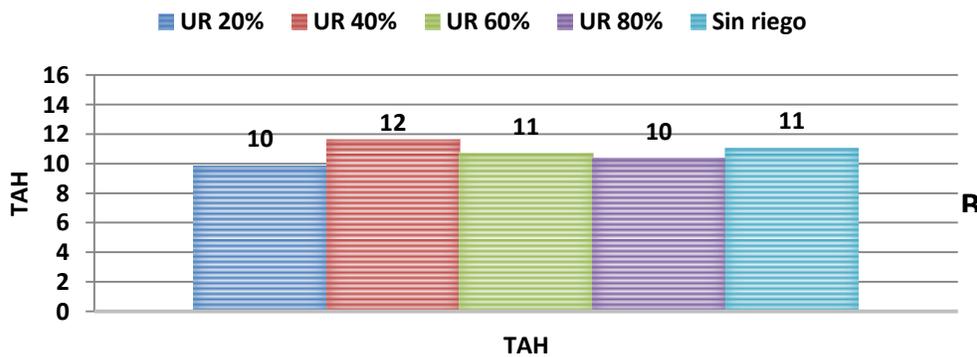


Figura 16.a. Rendimiento comercial (kg/t) y b. Rendimiento en toneladas de azúcar por hectárea.

La figura 16a, muestra los rendimientos comerciales en kg/t, como se observa el comportamiento de azúcar en tallos molederos (tallos flor y no flor), el umbral de riego del 80 por ciento mantuvo un mayor rendimiento por hectárea, seguido por el UR del 20, 40, 60 por ciento y por último el tratamiento sin riego. Para el caso de mamones (tallos menores a un metro de longitud), las mayores concentraciones de azúcar se dieron en los tratamientos con un umbral de riego del 20, seguido por 40, 80, 60 por ciento y por último el tratamiento sin riego. La figura 16b. Las toneladas de azúcar por hectárea, se incrementaron con un umbral de riego del 40 por ciento, seguido de los tratamientos con un umbral del 60 por ciento, y el tratamiento sin riego, y por último los tratamientos de UR del 20 y 80 por ciento.

En el caso de las toneladas de caña de azúcar, las concentraciones de azúcares son mayores en tallos sin flor, respecto a los floreados, en el caso de los tallos mamones las mayores concentraciones se manifestaron en los tratamientos con mayor disponibilidad de humedad, provocando un desarrollo en los tallos que contribuyen en el almacenamiento de azúcares en la planta.

Cuadro 11. Datos de toneladas de azúcar por hectárea

Riego	Medias	LSD FISHER 0.05
UR 40%	11.63	A
Sin riego	11.10	A
UR 60%	10.73	A
UR 80%	10.24	A
UR 20%	9.80	A

La prueba de medias LSD-Fisher, con un 95 por ciento de confiabilidad, no mostró diferencia significativa en las toneladas de azúcar por hectárea, en la aplicación de umbrales de riego y el tratamiento testigo (sin riego) durante el periodo irregular de lluvia.

7.3 OBJETIVO TRES: RELACIONAR UMBRALES DE RIEGO Y VALORES DE CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA.

La conductancia estomática, variable que se relaciona con la abertura de los estomas de la planta, debido a que entre mayor sea el valor de $\text{mmol/m}^2\text{seg}$, indica que existe más intercambio gaseoso de CO_2 , por los estomas abiertos; en condiciones de baja o alta humedad en el suelo esta variable puede manifestar que la caña entra en un estrés que podría detectarse mediante lecturas de conductancia estomática.

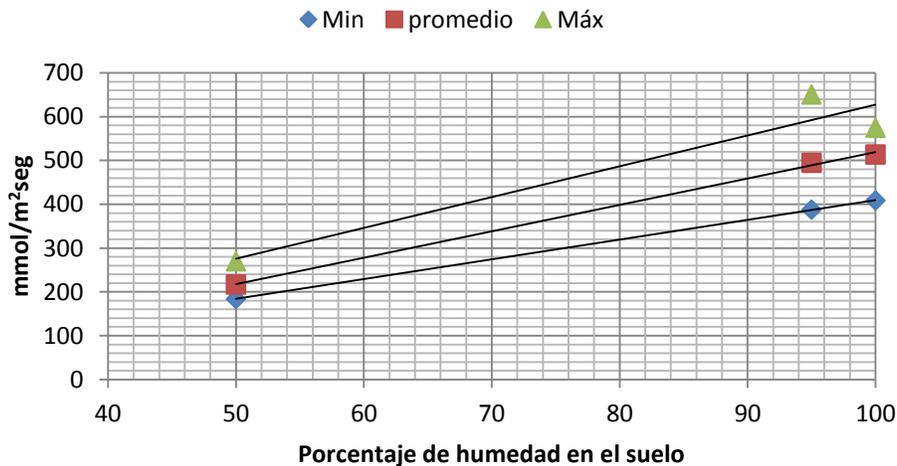


Figura 17. Relación entre datos de conductancia estomática y porcentaje de humedad en el suelo.

Se determinaron valores máximos, mínimos y promedios de conductancia estomática respecto al porcentaje de humedad en el suelo. Para valores de humedad en el suelo del 50%, los valores de conductancia descendieron entre un mínimo de 184 y un máximo de 270 $\text{mmol/m}^2\text{seg}$ en todos los tratamientos y cuando los valores de humedad en el suelo estuvieron entre 90 y 100 por ciento, los valores de conductancia estomática se mantuvieron en un mínimo de 388 y máximo de 651 $\text{mmol/m}^2\text{seg}$ en todos los tratamientos, la relación que muestra la figura es lineal entre los valores de humedad en el suelo del 50 al 100 por ciento, esto quiere decir que a mayor porcentaje de humedad, los valores de conductancia aumentan, interpretándose que al tener humedad disponible en el suelo la planta es capaz de absorberla y realizar el intercambio gaseoso de O_2 por CO_2 necesario para completar el proceso de fotosíntesis y así mismo tener producción de biomasa.

7.4 OBJETIVO CUATRO: RELACIONAR EVAPOTRANSPIRACIÓN Y ABATIMIENTO DE HUMEDAD EN EL SUELO EN CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS.

Para cumplir con ese objetivo se estimó la evapotranspiración por el método de Blaney y Criddle, con datos de la estación San Patricio, para el año 2014; bajo este registro climáticopromedio se realizó el balance hídrico.

Cuadro 12. Estimación de la evapotranspiración por Blaney y Criddle

Mes	Días	Fracción	t° c	+ 17.8		%P	F cm	Kt	Kc	EVT cm	EVT' cm	EVT' mm/día
				21.8								
Diciembre	3	0.096	28.3	2.11	10.50	2.13	1.12	0.30	2.39	0.72	2.39	
Enero	31	1.000	29.9	2.19	10.46	22.90	1.17	0.30	26.84	8.05	2.60	
Febrero	28	1.000	29.3	2.16	10.24	22.12	1.15	0.60	25.47	15.28	5.46	
Marzo	31	1.000	29.3	2.16	10.08	21.78	1.15	0.60	25.11	15.07	4.86	
Abril	30	1.000	29.1	2.15	10.22	21.99	1.15	0.60	25.21	15.13	5.04	
Mayo	31	1.000	28.2	2.11	8.53	18.00	1.12	0.90	20.12	18.11	5.84	
Junio	30	1.000	28.0	2.10	8.20	17.23	1.11	0.90	19.17	17.26	5.75	
Julio	31	1.000	29.0	2.15	8.21	17.65	1.14	0.90	20.20	18.18	5.86	
Agosto	31	1.000	28.8	2.14	8.36	17.88	1.14	0.90	20.35	18.31	5.91	
Septiembre	30	1.000	28.1	2.11	8.30	17.48	1.12	0.90	19.50	17.55	5.85	
Octubre	31	1.000	28.0	2.10	8.10	17.05	1.11	0.90	18.97	17.08	5.51	
Noviembre	26	0.870	29.0	2.15	10.53	19.67	1.14	0.60	22.48	13.49	5.19	
Total Anual	333					215.90				174.23		

Con base en la evapotranspiración promedio diaria en el mes de julio, estimada por el método Blaney y Criddle, se determinó la frecuencia de riego teórica de los diferentes tratamientos.

Cuadro 13. Lámina neta y frecuencia de riego según umbrales de riego

Tratamiento(Umbrales de Riego %)	Lámina de agua neta (mm)	EVT (mm/día)- Mes de Julio	Kc del cultivo	Frecuencia riego (días)
20	15	5.86	0.9	3
40	30	5.86	0.9	6
60	45	5.86	0.9	9
80	60	5.86	0.9	11

Bajo estas condiciones las frecuencias de riego, estimadas por la evapotranspiración de Blaney y Criddle, se consideraría que durante el periodo de mayor intensidad de déficit

hídrico el cultivo necesitaría bajo un umbral de riego del 20% un número de riegos de 3, en los diez días, pero esto mismo no se pudo emplear debido a que existieron aportes de lluvia mínimas, que al final contribuyeron al aumento de la humedad en el suelo.

Para determinar el momento oportuno para la aplicación de riego en cada uno de los tratamientos, se utilizaron figuras que representaran la humedad en el suelo de acuerdo al umbral de riego y determinar la necesidad de la aplicación del riego.

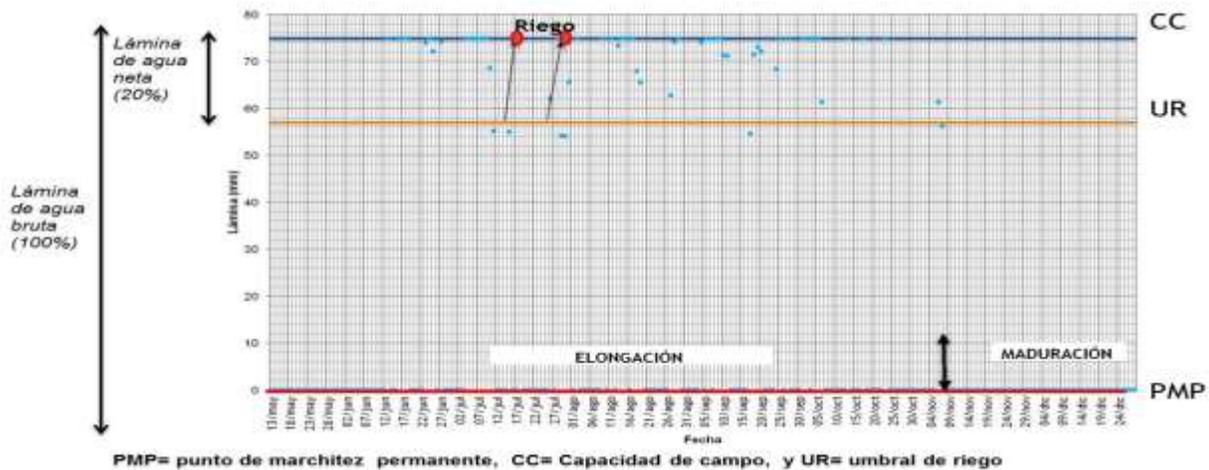


Figura 18. Medición de la humedad volumétrica en el suelo en la etapa de elongación de la caña de azúcar variedad CG 98-46.

Para el tratamiento 1 únicamente se aplicaron dos riegos durante el periodo de irregularidad de lluvia, del 15 al 30 de julio, periodo de mayor intensidad de déficit, el primero se aplicó el 17 de julio y el segundo el 28 de julio (ver figura 18).

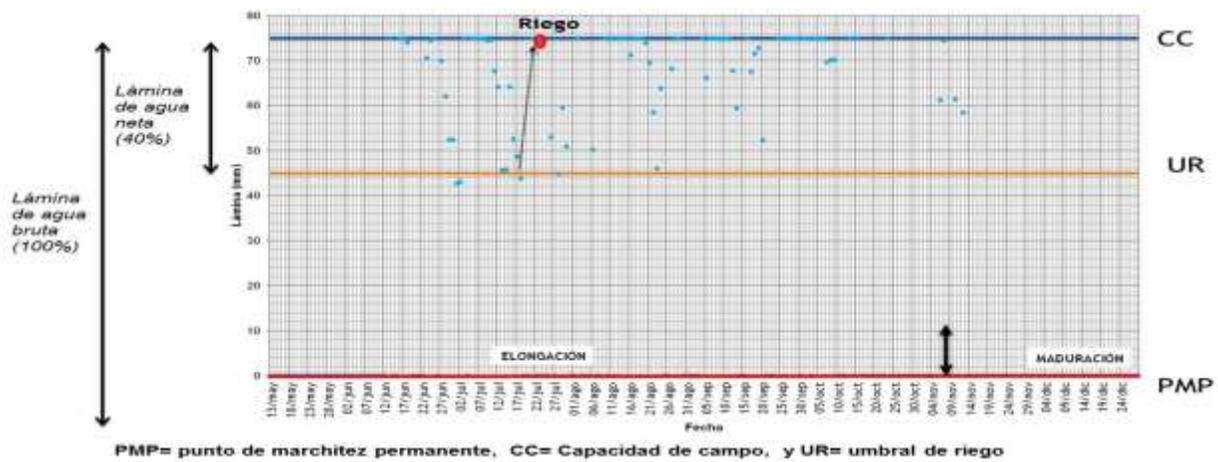


Figura 19. Medición de la humedad volumétrica en el suelo en la etapa de elongación de la caña de azúcar variedad CG 98-46.

Para el tratamiento 2 únicamente se aplicó un riego durante el periodo de irregularidad de lluvia, del 15 al 30 de julio, periodo de mayor intensidad de déficit, se aplicó el 20 de julio (ver figura 19).

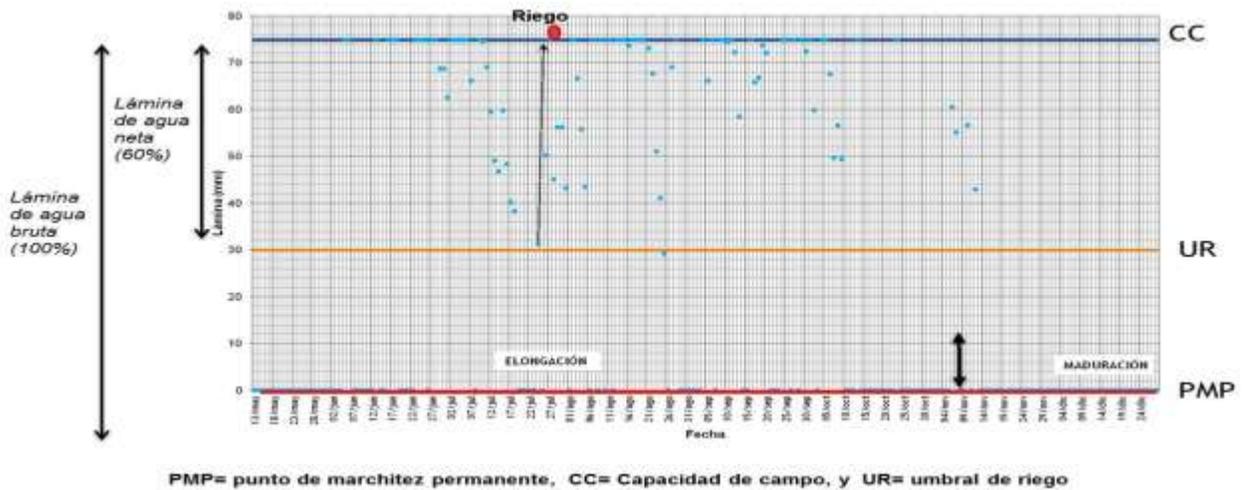


Figura 20. Medición de humedad volumétrica en el suelo en la etapa de elongación de la caña de azúcar variedad CG 98-46.

Para el tratamiento 3 únicamente se aplicó un riego durante el periodo irregular de lluvia, del 15 al 30 de julio, periodo de mayor intensidad de déficit se aplicó; el 25 de julio (ver figura 20).

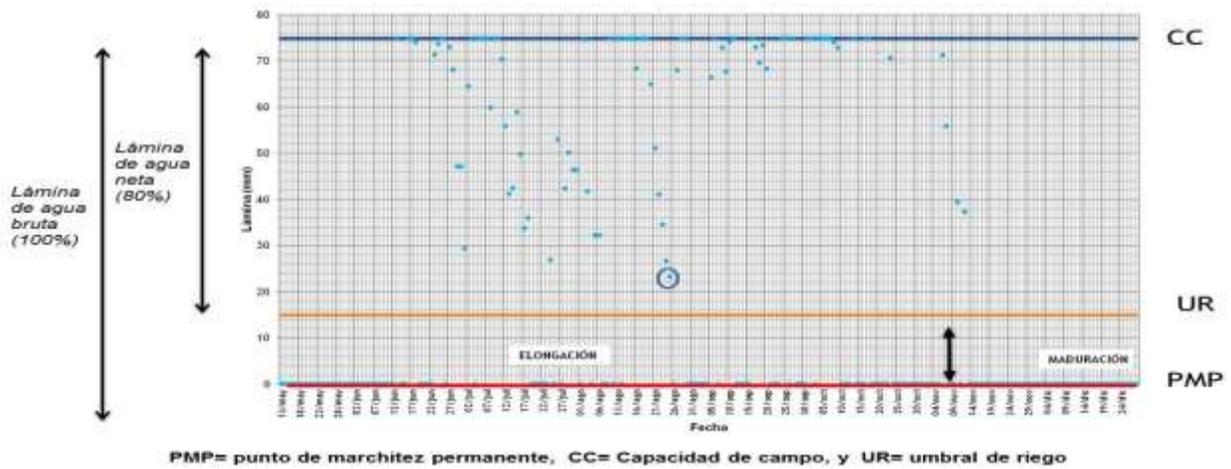


Figura 21. Medición de humedad volumétrica en el suelo en la etapa de elongación de la caña de azúcar variedad CG 98-46.

Para el tratamiento 4, durante el periodo del 15 al 30 de julio, periodo de mayor intensidad de déficit, no existió necesidad de aplicar riego porque la humedad solo descendió a un máximo del 60%, en el periodo de irregularidad de la lluvia (ver figura 21).

Cuadro 14. Número de riegos aplicados y lámina aplicada.

Tratamiento(Umbral de riego %)	Lámina neta de agua (mm)	Número de riegos	Lámina neta de agua total (mm)
20	15	2	30
40	30	1	30
60	45	1	45
80	60	0	0
Sin Riego	0	0	0

En el cuadro anterior se muestra la cantidad de riegos aplicados y la cantidad de mm aportados; según el mismo, el tratamiento en que se aplicó una mayor cantidad de agua en mm, fue el umbral de riego de 60 por ciento, aplicando un lámina de 45mm, seguido de UR 40 por ciento con una lámina del 30 mm similar a la del tratamiento UR del 20 por ciento, y por último el UR del 80 por ciento y sin riego.

7.5 OBJETIVO CINCO. DETERMINAR EL TRATAMIENTO ECONÓMICAMENTE MÁS RENTABLE.

Según el análisis económico descrito en el cuadro 15, en las condiciones de suelo franco arenoso, en caña de azúcar, se muestra la comparación en un sistema de baja presión como lo es pivote central, donde el costo promedio es de US\$0.84/mm/ha. Se comparó este sistema debido a que la disposición de los mismos está en áreas definidas como críticas (suelos con predominio de arenas con baja retención de humedad) de la agroindustria y disposición de estos equipos para el riego en periodos irregulares de lluvia. El presente análisis de costo es para un periodo irregular de diez días consecutivos de déficit hídrico, bajo las condiciones del estrato bajo (40 -100 msnm).

Cuadro 15. Análisis económico para cuatro umbrales de riego en la etapa de elongación en caña de azúcar

Alternativa económica = sistema de riego pivote central fijo = US\$ 0.84/mm/ha								
Tratamiento	No. Riegos	mm aplicados	Costo US\$/Ha	TCH	Testigo (TCH) sin riego	Diferencia TCH	Incremento TCH, para pagar la inversión	Ganancia adicional en TCH
Umbral de riego del 20%	2	30	25.2	94	111	-17	1.26	0
Umbral de riego del 40%	1	30	25.2	112	111	1	1.26	0
Umbral de riego del 60%	1	45	37.8	110	111	-1	1.89	0
Umbral de riego del 80%	0	0	0	99	111	-12	-	0

Precio por tonelada de caña US\$ 20.

Según el análisis, de acuerdo a los mm aplicados y el costo por mm/ha se determinó el costo/ha, así mismo se determinó el incremento en toneladas de caña con respecto al testigo sin riego, para pagar la inversión del costo en riego. En el caso del tratamiento

bajo un umbral del 20 por ciento, necesitaba de 1.26 toneladas de caña por hectárea (TCH) de incremento, para el umbral de riego del 40 y 60%, el incremento deberá ser de 1.26 y 1.89 TCH respectivamente. De acuerdo a la diferencia de TCH de los tratamientos respecto al testigo sin riego, únicamente el tratamiento de riego bajo un umbral del 40 por ciento, existe diferencia de una tonelada de caña por hectárea, que no alcanza a cubrir la inversión del costo de riego, por lo que el riego no es rentable en esas condiciones.

VIII. CONCLUSIONES

- El efecto de los cuatro umbrales de riego manejados en la etapa de elongación de la caña de azúcar que coincidió con el periodo de irregularidad de lluvia de (diez días consecutivos con déficit), al final de la cosecha el crecimiento; en altura, diámetro y largo entrenudo. No existió diferencia estadísticamente significativa para estas variables, es decir en suelos con textura franco arenosa el cultivo no presenta estrés que cause merma en la producción en un periodo irregular de diez días de déficit en un estrato bajo (dos pentadas).
- El rendimiento de toneladas de caña por hectárea y azúcar por tonelada no existió diferencia estadística significativa, por lo que se puede no aplicar riego bajo la condiciones de déficit hídrico, periodo más intenso de diez días consecutivos, no afecta la producción en caña y azúcar.
- Los valores de conductancia estomática estuvieron influenciados por la disponibilidad de humedad en el suelo, la relación es lineal, si existe mayor cantidad de humedad en el suelo, de la misma manera existe mayor conductancia(interpretándose como mayor abertura estomática), porque existe mayor intercambio de O_2 por CO_2 , sea el caso para los valores de humedad en el suelo del 50 %, los valores de conductancia desciende entre un mínimo 184 y máximo de 270 $mmol/m^2seg$ en todos los tratamientos y cuando los valores de humedad en el suelo estuvieron entre 90 y 100 por ciento, los valores de conductancia estomática se mantuvieron en un mínimo de 388 y máximo de 651 $mmol/m^2seg$.
- La investigación se planteó para la etapa de elongación, coincidentemente con la época lluviosa del estrato altitudinal, esta época no es la indicada para realizar este tipo de relaciones debido al aporte de humedad por, que afecta el

abatimiento de la humedad en el suelo, pero si fue importante la utilización de estas herramientas para la justificación de la aplicación de tratamientos.

- Se determinó que el riego bajo las condiciones de déficit presentadas en el área de estudio, no es económicamente rentable debido a que no existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados respecto al testigo sin riego, durante un periodo de diez días consecutivos de déficit, en un suelo franco arenoso, bajo condiciones de un estrato bajo.

IX. RECOMENDACIONES

- Evaluar el efecto de los umbrales evaluados, bajo condiciones de suelos considerados críticos; como lo son suelos de textura arenosa, debido a su baja capacidad de retención y disponibilidad de agua, demandando rápidamente la necesidad del riego.
- Considerar áreas cultivadas con caña de azúcar donde se manifiesta en mayor intensidad el déficit hídrico y mayor respuesta al riego, como las áreas ubicadas en el estrato litoral a una altitud menor a los 40 msnm de la zona cañera de Guatemala.
- Realizar evaluaciones de riego en años donde se presenten fenómenos de ENSO-Neutro y/o cálido, para determinar el efecto causado en el periodo irregular de lluvias principalmente en la etapa de elongación y para diferentes fechas de corte.
- Realizar este tipo de evaluaciones en las áreas cultivadas donde se tenga la disponibilidad del riego como lo son; el riego pivote central y riego por goteo, en periodos irregulares de lluvia donde se exista un déficit mayor de diez días consecutivos principalmente en suelos de textura franco arenosa.

X. BIBLIOGRAFÍA

Allen, R.; Pereira, L.S; Raes, D; Smith, M. (1998). CropEvapotranspiration, FAO. Serie Riego y Drenaje. tomo 56.

ASAZGUA, Asociación de Azucareros de Guatemala. (2015). Economía.

Consultado el 15 junio de 2015. Disponible en:

<http://www.azucar.com.gt/economia3.html>

Botzoc, H. (2015). Distribución de etapas fenológicas de acuerdo al mes de corte. En presentación Powerpoint.

Botzoc, H. (2015). Mapa localización espacial Finca Santa Elisa, La democracia, Escuintla.

Cassalett, C.; Torres, J.; e Isaacs, C. (eds.). (1995). El Cultivo de la Caña en la Zona Azucarera de Colombia. Cali, Colombia. 412p.

Castro, O.; Pocasangre, R.; y Monterroso, H. (2012). El uso del FDR para la estimación de la humedad en el suelo. La importancia de la calibración en nuestras condiciones. En: Memoria presentación de resultados de investigación. Zafra 2011 – 2012. Guatemala, CENGICAÑA. pp.278 – 285.

Juárez, D. y Muñoz, E. (1998). Requerimiento de riego de la caña de azúcar en la Costa Sur de Guatemala, Estudio exploratorio. Guatemala, CENGICAÑA. Documento técnico No. 15. 63p.

Melgar, M.; Meneses, A.; Orozco, H.; Pérez, O.; y Espinoza, R.(eds.). (2012). El Cultivo de la caña de azúcar en Guatemala. Guatemala. 512 p.

Melgar, M: Meneses, A. (2013). Series históricas de producción, exportación y consumo de azúcar en Guatemala. Boletín estadístico. 8p.

- Méndez, A. (2012). Suspensión del riego en caña de azúcar durante la maduración: efecto en el rendimiento y calidad del jugo. Tesis maestro en ciencias, Colegio postgraduados Tabasco, México.
- Méndez, G. (2014). Cuaderno de riegos. Universidad Rafael Landívar, Guatemala.
- Orozco, H; Castro, O.; Buc, R.; Quemé, J.; Ovalle, W.; (eds). (2009). Nuevo Catalogo de variedades promisorias de caña de azúcar para la agroindustria azucarera guatemalteca. Guatemala, CENGICAÑA. CD-ROM.
- Orozco, H. (2012). Censo de variedades de caña de azúcar en Guatemala. En: Memoria presentación de resultados de investigación. Zafra 2011 – 2012. Guatemala, CENGICAÑA. pp.73 – 86.
- Sandoval, J. (1,989). Principios de riego y drenaje. Guatemala. Edit Universitaria. 345p.
- Subirós R., F. (1,985). El cultivo de la caña de azúcar. Costa Rica: Editorial universitaria estatal a distancia.
- Valero, J. (1993). Agronomía del riego. España. 732p.
- 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, Facultad de ciencias agropecuarias, Universidad nacional de Colombia.

XI. ANEXOS

11.1 GLOSARIO

CAPACIDAD DE CAMPO(CC)

Es el porcentaje de humedad del suelo inmediatamente después de eliminado por gravedad los excesos de agua, después de un riego o lluvia (Juárez y Muñoz, 1998).

DÉFICIT PERMITIDO DE MANEJO (DPM)

Relación entre la lámina rápidamente aprovechable y la lámina de agua aprovechable (Juárez y Muñoz, 1998).

EVAPOTRANSPIRACIÓN

Cantidad de agua que consume un cultivo debido a la evaporación de la superficie del suelo y de las plantas (Juárez y Muñoz, 1998).

HUMEDAD RESIDUAL

Es la humedad del suelo después de haberse consumido la lámina de agua rápidamente aprovechable que está dada por el déficit permitido de manejo (Juárez y Muñoz, 1998).

LÁMINA DE AGUA APROVECHABLE

Es la lámina comprendida entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, a la profundidad de suelo que exploran un alto porcentaje de raíces (Juárez y Muñoz, 1998).

PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE (PMP)

Es el porcentaje de humedad del suelo en el cual las plantas no pueden absorber la cantidad de agua que necesitan (Juárez y Muñoz, 1998).

11.2 Análisis estadísticos

Anexo 1. Análisis de varianza para la variable altura, expresado en cm.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2955.80	7	422.26	0.75	0.6344
Riego	1014.39	4	253.60	0.45	0.7688
Bloque	1941.41	3	647.14	1.16	0.3669
Error	6721.12	12	560.09		
Total	9676.92	19			

Anexo 2. Análisis de varianza para la variable diámetro del tallo, expresado en cm.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.13	7	0.02	0.56	0.7717
Riego	0.07	4	0.02	0.53	0.7193
Bloque	0.06	3	0.02	0.62	0.6181
Error	0.40	12	0.03		
Total	0.53	19			

Anexo 3. Análisis de varianza para la variable largo de entrenudo del tallo, expresado en cm.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2.63	7	0.38	0.29	0.9439
Riego	2.37	4	0.59	0.46	0.7618
Bloque	0.26	3	0.09	0.07	0.9767
Error	15.37	12	1.28		
Total	17.99	19			

Anexo 4. Análisis de varianza para la variable producción, expresado en toneladas de caña por hectárea

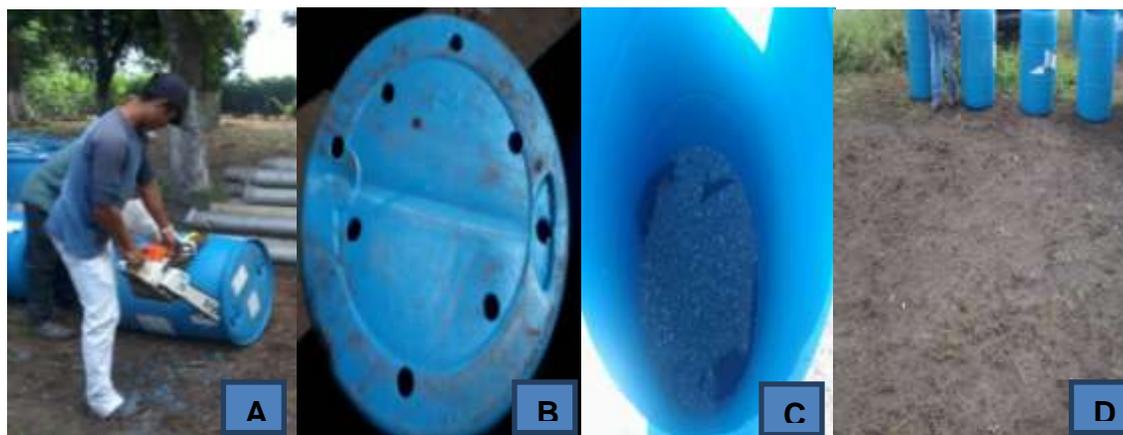
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1752.97	7	250.42	0.51	0.8132
Riego	1056.11	4	264.03	0.53	0.7137
Bloque	696.86	3	232.29	0.47	0.7090
Error	5936.04	12	494.67		

Total 7689.01 19

Anexo 5. Análisis de varianza para la variable rendimiento, expresado en toneladas de azúcar por hectárea

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	12.20	7	1.74	0.42	0.8745
Riego	8.17	4	2.04	0.49	0.7450
Bloque	4.03	3	1.34	0.32	0.8104
Error	50.29	12	4.19		
Total	62.49	19			

Anexo 6. Preparación de unidad experimental



- a. Corte de tapa en toneles, B. Perforación de toneles, C. Grava al fondo del tonel, D. Limpieza y ubicación de toneles.

Anexo 7. Llenado y ubicación de unidades experimentales



A. Suelo Textura Franco Arenosa, B. Peso del suelo, C. Llenado de toneles, D. Siembra y establecimiento.

Anexo 8. Manejo de la investigación



A. Aplicación de riego con base en lecturas de equipo FDR, B. Aplicación de fertilizante, C. Cañas marcadas para lecturas biométricas y D. Investigación 22 Octubre.

Anexo 9. Cosecha a 333 días después de la siembra



A. Previo a la cosecha. B. Peso de tallos en cada unidad experimental.