



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS

CAMPUS TABASCO

POSTGRADO EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

**SUSPENSIÓN DEL RIEGO EN CAÑA DE AZÚCAR DURANTE LA MADURACIÓN:
EFECTO EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL JUGO**

JESÚS MANUEL MÉNDEZ ADORNO

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

H. CÁRDENAS, TABASCO

2012

La presente tesis, titulada: **Suspensión del riego en caña de azúcar durante la maduración: efecto en el rendimiento y calidad del jugo**, realizada por el alumno **Jesús Manuel Méndez Adorno**, bajo la dirección del consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: 
DR. SERGIO SALGADO GARCÍA

ASESOR: 
DR. MEPIVOSETH CASTELÁN ESTRADA

ASESORA: 
DRA. LUZ DEL CARMEN LAGUNES ESPINOZA

ASESORA: 
DRA. CLAUDIA ISABEL HIDALGO MORENO

ASESOR: 
DR. JOSÉ HIPÓLITO RODOLFO MENDOZA HERNÁNDEZ

H. CÁRDENAS, TABASCO, 7 DE DICIEMBRE DEL 2012

RESUMEN

Para incrementar la concentración de azúcares previo a la cosecha en el área de abastecimiento del Ingenio Pujiltilic, se establecieron cinco parcelas experimentales sembradas con las variedades, Mex57-473 y Mex69-290, en suelos Vertisol éutrico y Gleysol mólico, respectivamente en donde se evaluó la suspensión del riego a 75, 60, 45, 30, 15 días antes de la cosecha. Durante el desarrollo del experimento se tomaron datos, cada quince días, de grados Brix en la parte media del tallo y contenido de humedad de suelo de 0-30cm de profundidad. El volumen de agua de riego aplicada se midió con un vertedor triangular y los requerimientos hídricos del cultivo se estimaron por el método de Blaney y Criddle con datos de las estaciones meteorológicas automatizadas del Ingenio Pujiltilic y del INIFAP (estación Constitución) de Socoltenango, Chiapas. Asimismo se cuantificó el rendimiento de caña de azúcar en campo y calidad de los jugos. Los resultados muestran que el tratamiento de 60 días de suspensión de riego antes de la cosecha, con la variedad Mex57-473, presentó el mayor rendimiento promedio de 122.19 tha^{-1} , y la variedad Mex69-290 con el mismo número de días de suspensión de riego presentó el menor (80 tha^{-1}). La respuesta de las dos variedades de caña de azúcar a los tratamientos de suspensión del riego fue monitoreada a través de la conductancia estomática (gs), tasa de transpiración (E), tasa de fotosíntesis (A), y concentración intracelular de CO_2 (Ci). Se observó que ambas variedades disminuyen A, E y gs en respuesta a los tratamientos de suspensión de riego impuestos, aunque la variedad Mex69-290 mostró mayor A, E y gs, que la variedad Mex57-473 lo que podría indicar que presenta mayor tolerancia al estrés hídrico. La suspensión del riego a los 75 días antes de la cosecha, provocó que el cultivo acelerara la madurez. De acuerdo a los resultados se recomienda suspender el riego 45 a 60 días antes de la cosecha, para aumentar el rendimiento y mantener la concentración de sacarosa..

Palabras clave: riego, caña de azúcar, sacarosa, grados Brix, rendimiento, maduración

ABSTRACT

To increase the concentration of sugars prior to harvest in the area of supply of Ingenio Pujiltilic, five plots were established with Mex57-473 and MEX69-290 varieties in Vertisol éutrico and Gleysol mollic soils. Treatments of Irrigation suspension were assessed to 75, 60, 45, 30, 15 days before harvest. During the course of the experiment data were taken every two weeks, °Brix in the middle of the stem and soil moisture content at 0-30cm deep. The volume of irrigation water applied was measured with a triangular spout and crop water requirements were estimated by the Blaney and Criddle method using data from automated weather stations of Ingenio Pujiltilic and INIFAP (Constitución station), Socoltenango, Chiapas. Sugarcane yield and juice quality were also quantified. The results showed that with suspension of irrigation at 60 days before harvest, the Mex57-473 variety, had the highest average yield (122.19 tha^{-1}), and MEX69-290 variety the lowest average yield (80 tha^{-1}). The response of the two varieties of sugarcane to the suspension of irrigation treatments was monitored through stomatal conductance (gs), transpiration rate (E), photosynthetic rate (A), and intracellular CO_2 concentration (Ci). It was observed that both varieties decreased A, E and gs in response to irrigation treatments imposed by suspension, but the MEX69 290 variety was greater A, E and gs than Mex57-473 variety, which could indicate the latter variety has a greater tolerance to water stress. The irrigation suspension to 75 days before harvest, caused accelerated deterioration of maturity and sucrose content in both varieties. According to the results it is recommended watering 45 to 60 days before harvest, to increase yields and maintain the concentration of sucrose.

Keywords: irrigation, cane sugar, sucrose, Brix, yield, maturity

AGRADECIMIENTOS

- *A Dios por habernos dado la libertad de crecer y desarrollarnos bajo nuestro propio criterio y enseñándonos que la búsqueda del conocimiento está en función del amor y el esfuerzo dedicado a la ciencia.*
- *Al Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, por la confianza y la oportunidad otorgada para realizar mis estudios de maestría, esperando no haberlo defraudado, reciba mis más sinceros agradecimientos.*
- *Al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACYT), por haberme otorgado el apoyo económico, que me permitió concluir ésta etapa de mi formación.*
- *A mi consejo particular Dr. Sergio Salgado García, Dra. Luz del C. Lagunes Espinoza, Dra. Claudia Hidalgo Moreno, Dr. José Rodolfo H. Mendoza Hernández, Dr. Mepivoseth Castelán Estrada, por la dirección, asesoría, atinadas sugerencias para mejorar la calidad del presente trabajo y ejemplo de superación permanente.*
- *A la Fundación Produce Chiapas, A.C., por el apoyo económico recibido a través del proyecto 000161: Estudio del comportamiento en la producción de sacarosa en los diferentes sistemas de manejo en la caña de azúcar en Chiapas, lo cual nos permitió terminar el trabajo de manera satisfactoria.*
- *A las organizaciones cañeras y productores de caña del estado de Chiapas, que hacen posible este cultivo y sobre todo por su gran apoyo al realizar todos los trabajos de campo para mis estudios de maestría.*
- *Al grupo MASCAÑA-LPI-2: Agroecosistemas Sustentables, por el apoyo económico para concluir el presente trabajo.*
- *A todas aquellas personas que de alguna manera me brindaron la mano y su amistad durante mis estudios de maestría y que de manera involuntaria dejo de mencionar.*

DEDICATORIAS

Este trabajo lo dedico con mucho amor y cariño:

- A mis padres: Juan Méndez de Dios y Eleofina Adorno Ramos, por darme la vida y por su ejemplo incansable de lucha y superación.
- A mi esposa: Miriam Isela Domínguez Gamas por darme tanto amor, comprensión, ternura, mi motivación y gracias por apoyarme a terminar este proyecto.
- A mis hermanos: Juan Carlos Méndez Adorno y Doribel Méndez Adorno, por la vida que hemos compartido en las diferentes facetas, así como a mis sobrinos.
- A mis suegros: Miguel Ángel Domínguez y Gertrudis Gamas, por su apoyo incondicional.
- A mis maestros: Dr. Sergio Salgado García, Dra. Luz del C. Lagunes Espinoza, Dra. Claudia Hidalgo Moreno, Dr. José Rodolfo H. Mendoza Hernández, Dr. Mepivoseth Castelán Estrada, Dr. Lorenzo A. Aceves Navarro, Dr. David J. Palma López, por su paciencia y sus sabias enseñanzas.
- A mis compañeros estudiantes del PROPAT 2011 del Campus Tabasco, con quienes he compartido mis alegrías y desesperanzas durante los dos años de la maestría, esperando que el espíritu de superación y deseos de explorar la naturaleza del trópico se mantenga por siempre.
- A la Agroindustria de la Caña de Azúcar del estado de Chiapas, por que hizo posible el cultivo y la industrialización del azúcar, cultivo donde he podido realizar uno de mis grandes anhelos.

CONTENIDO

RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
DEDICATORIAS.....	vi
CONTENIDO.....	vii
INDICE DE CUADROS.....	x
INDICE DE FIGURAS.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	2
2.1. Objetivos Específicos.....	2
2.2. Hipótesis.....	2
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
3.1. La caña de azúcar.....	3
3.2. Demanda hídrica de la caña de azúcar.....	4
3.3. Etapas de crecimiento.....	5
3.4. El estrés hídrico en el crecimiento, desarrollo y rendimiento en caña de azúcar.....	7
3.5. Efecto del estrés hídrico en los parámetros fisiológicos.....	9
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
4.1. Descripción del área de estudio.....	12
4.2. Establecimiento de experimentos.....	13

4.3. El manejo agronómico	14
4.4. Variables de estudio	14
4.4.1. Suelo	14
4.4.2. Lámina de Riego.....	15
4.4.3. Rendimiento experimental en campo (tha^{-1})	16
4.4.4. Parámetros fisiológicos.....	17
4.4.4.1 Número de estomas.....	18
4.4.5. Control de madurez	18
4.4.6. Calidad del jugo.....	19
4.4.7. Análisis estadístico	19
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
5.1. Parcela 1: Sra. Ángela Rodríguez	20
5.1.1. Balance Hídrico	20
5.2. Parcela 2: Sr. José Álvarez Aguilar.....	25
5.2.1. Balance Hídrico	25
5.2.2. Efecto de la suspensión de riego sobre grados Brix y humedad del suelo	29
5.2.3. Efecto de la suspensión en la calidad del jugo y el rendimiento de caña de azúcar	30
5.3. Parcela 3: Sr. Juan Jiménez Zepeda	33
5.3.1. Balance Hídrico	33
5.3.2. Efecto de la suspensión de riego sobre grados Brix y humedad del suelo	37
5.3.3. Efecto de la suspensión en la calidad del jugo y el rendimiento de caña de azúcar	39

5.4. Parcela 4: Sr. Miguel Ángel Gordillo Cautiño	41
5.4.1. Balance hídrico	41
5.4.2. Efecto de la suspensión de riego sobre grados Brix y humedad del suelo	44
5.4.3. Efecto de la suspensión en la calidad del jugo y el rendimiento de caña de azúcar....	46
5.5. Parcela 5: Sr. Hipólito Pedrero Alegría.....	49
5.5.1. Balance hídrico	49
5.5.2. Efecto de la suspensión de riego sobre grados Brix y humedad del suelo	53
5.5.3. Efecto de la suspensión en la calidad del jugo y el rendimiento de caña de azúcar....	54
5.7. Efecto de la suspensión del riego en algunos parámetros fisiológicos del cultivo de caña de azúcar	56
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
VII. LITERATURA CITADA	65

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Calendario de riego para el módulo Cuatro Caminos, caña de azúcar del Ingenio Pujiltic, Chiapas. Método de Blaney y Criddle.....	22
Cuadro 2. Balance Hídrico en el cultivo de caña de azúcar en el área de abastecimiento del Ingenio Pujiltic, Chiapas.	23
Cuadro 3. Calidad del jugo y rendimiento de caña Azúcar. Parcela de Ángela Rodríguez Muñoz. Ingenio Pujiltic.....	23
Cuadro 4. Calendario de riego para el módulo la Mesilla, caña de azúcar del Ingenio Pujiltic. Método de Blaney y Criddle	27
Cuadro 5. Balance Hídrico en el cultivo de caña de azúcar en el área de abastecimiento del Ingenio Pujiltic, Chiapas.	28
Cuadro 6. Calidad del jugo y rendimiento de caña de azúcar. Parcela de José Álvarez Aguilar. Ingenio Pujiltic.....	31
Cuadro 7. Balance Hídrico en el cultivo de caña de azúcar en el área de abastecimiento del Ingenio Pujiltic, Chiapas.	35
Cuadro 8. Calidad del jugo y rendimiento de caña de azúcar. Parcela de Juan Jiménez Zepeda. Ingenio Pujiltic	36
Cuadro 9. Balance Hídrico en el cultivo de caña de azúcar en el área de abastecimiento del Ingenio Pujiltic, Chiapas.	42
Cuadro 10. Calidad del jugo y rendimiento de caña. Parcela de Miguel Ángel Gordillo Cautiño. Ingenio Pujiltic, Chiapas.	47
Cuadro 11. Balance Hídrico en el cultivo de caña de azúcar en el área de abastecimiento del Ingenio Pujiltic, Chiapas.	51

Cuadro 12. Calidad del jugo y rendimiento de caña de azúcar. Parcela de Hipólito Pedrero Alegría. Ingenio Pujiltic, Chiapas.	52
Cuadro 13. Análisis de varianza para los parámetros fisiológicos de caña de azúcar de la variedad Mex57-473, bajo tratamientos de suspensión de riego. Ingenio Pujiltic	57
Cuadro 14. Análisis de varianza para los parámetros fisiológicos de caña de azúcar de la variedad Mex69-290, bajo tratamientos de suspensión de riego. Ingenio Pujiltic	57
Cuadro 15. Número de estomas por campo a 40x por variedad en caña de azúcar cultivada en el Ingenio Pujiltic, Chiapas.	61
Cuadro 16. Densidad estomática mm ² en las dos superficies de la hoja de caña de azúcar, cultivadas en el Ingenio Pujiltic, Chiapas.	61

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diversas clasificaciones de las etapas de crecimiento del cultivo de caña de azúcar modificado de FAO (2006).	6
Figura 2. Ubicación del área de estudio en la zona de abastecimiento de caña de azúcar del Ingenio Pujiltic, en Chiapas, México.	12
Figura 3. Distribución de tratamientos de suspensión de riego en caña de azúcar en el Ingenio Pujiltic, Chiapas, México.	14
Figura 4. Muestreo de suelo en el entresurco de la caña de azúcar en un experimento de estrés hídrico en caña de azúcar en el Ingenio Pujiltic, Chiapas, Mexico.....	15
Figura 5. Medición del gasto de agua para el cálculo de la lámina de riego aplicada a cada tratamiento en un experimento de suspensión de riego en el Ingenio Pujiltic, Chiapas, México.....	16
Figura 6. Muestreo del rendimiento en campo de tallos molederos para la determinación de calidad de los jugos en caña de azúcar en el Ingenio Pujiltic, Chiapas, Mexico.	16
Figura 7. Toma de muestras de fotosíntesis en caña de azúcar en el Ingenio Pujiltic, Chiapas, Mexico.....	17
Figura 8. Impresión de estomas en el haz y envés de la hoja con barniz de uñas en un portaobjetos en caña de azúcar, Ingenio Pujiltic.	18
Figura 9. Lectura de los grados Brix con el refractómetro manual ATC modelo HRHB-32, en caña de azúcar, Ingenio Pujiltic, Chiapas, Mexico.....	18
Figura 10. Humedad del suelo Vertisol éutrico cultivado con la variedad CP 72-2086. Parcela de Ángela Rodríguez Muñoz. Ingenio Pujiltic.....	24
Figura 11. Evolución de los grados Brix en la variedad CP 72-2086 cultivada en el Vertisol éutrico. Parcela de Ángela Rodríguez Muñoz. Ingenio Pujiltic.	24
Figura 12. Humedad del suelo Vertisol éutrico cultivado con la variedad Mex57-473. Parcela de José Álvarez Aguilar. Ingenio Pujiltic.....	26

Figura 13. Evolución de los grados Brix de la variedad Mex57-473 cultivada en el Vertisol éutrico. Parcela de José Álvarez Aguilar. Ingenio Pujiltic.....	26
Figura 14. Humedad del suelo Gleysol mólico cultivado con la variedad Méx 69-290. Parcela de Juan Jiménez Zepeda. Ingenio Pujiltic	34
Figura 15. Evolución de los grados Brix de la variedad Mex 69-290 cultivada en el Gleysol mólico. Parcela de Juan Jiménez Zepeda. Ingenio Pujiltic.	34
Figura 16. Humedad del suelo de la variedad Méx 69-290 cultivada en el Gleysol mólico. Parcela Miguel Ángel Gordillo Cautiño. Ingenio Pujiltic.....	43
Figura 17. Grados Brix de la variedad Mex 69-290 cultivada en el Gleysol mólico. Parcela Miguel Ángel Gordillo Cautiño. Ingenio Pujiltic.....	43
Figura 18. Humedad del suelo de la variedad Méx 69-290 cultivada en el Gleysol mólico. Parcela Hipólito Pedrero Alegría. Ingenio Pujiltic.....	50
Figura 19. Evolución de los grados Brix de la variedad Mex 69-290 cultivada en el Gleysol mólico. Parcela Hipólito Pedrero Alegría. Ingenio Pujiltic.....	50
Figura 20. Efecto de la suspensión del riego en caña de azúcar 75 días antes de la cosecha de la variedad Mex57-473. Ingenio Pujiltic.	59
Figura 21. Efecto de la suspensión del riego en caña de azúcar 75 días antes de la cosecha de la variedad Mex69-290. Ingenio Pujiltic.	60
Figura 22. Relaciones entre la conductancia estomática, transpiración y fotosíntesis en la variedad Mex57-473 y Mex69-290. Ingenio Pujiltic.	63

I. INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar pertenece a la familia Poaceae, se la cultiva ampliamente en las regiones tropicales y subtropicales de todo el mundo por su importancia económica. En México es el principal cultivo productor de azúcar, con una superficie cosechada en el 2011 de 713,824 ha y una producción de 49.7 millones de toneladas de tallo moledero (SIAP, 2012). Es un cultivo de alta producción de biomasa que requiere de grandes cantidades de agua y nutrientes para una máxima productividad (Da Silva *et al.*, 2004). El agua desempeña un papel clave en la producción de caña de azúcar con riego y de temporal, tanto en términos de biomasa como de rendimiento de sacarosa. El estrés hídrico afecta a la velocidad de captación de agua, acumulación de biomasa y crecimiento estructural de la caña de azúcar y almacenamiento de la sacarosa en el tallo (Singels *et al.*, 2010).

El Ingenio Pujiltic en las últimas diez zafras, ha logrado un promedio de sacarosa en caña de 14.9% y un rendimiento promedio de 98.3 tha^{-1} de tallo moledero, en sus 16,800 ha de superficie de abastecimiento, ubicándose en el decimo lugar a nivel nacional (Cañeros, 2011). En la zona de abastecimiento del Ingenio Pujiltic se registra una precipitación de 1250 mm en promedio, la cual no satisface las necesidades hídricas del cultivo que requiere de alrededor de 1500 mm de lámina de riego; por lo que los productores aplican riego de auxilio, generalmente de dos a tres riegos. Siendo una práctica común regar hasta un mes antes del inicio de la cosecha, lo cual es inconveniente ya que este riego podría diluir la sacarosa almacenada, pues la planta recibe estímulos para un nuevo crecimiento, afectando con ello la calidad de los jugos (Brix, sacarosa, humedad, azúcares reductores y pureza; Salgado *et al.*, 2012) de las variedades cultivadas en el área de abastecimiento del Ingenio Pujiltic.

Dado que el rendimiento por hectárea de tallo moledero y la concentración de sacarosa, sirven de base para determinar el valor de la tonelada de caña, es necesario conocer los efectos del riego durante la fase de maduración del cultivo sobre el rendimiento y calidad de los jugos en el área del Ingenio Pujiltic para determinar el momento de suspensión el riego de acuerdo al tipo de madurez de las variedades de caña de azúcar (temprana y media a tardía) para evitar el deterioro de la calidad del jugo de caña. El presente trabajo tiene por objetivo general determinar el tiempo óptimo de suspensión de riego en el cultivo de caña de azúcar en variedades de madurez temprana y media, y su efecto sobre el rendimiento y calidad del jugo.

II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1. Objetivos Específicos

- Cuantificar la lámina de riego aplicada durante el ciclo de cultivo de caña de azúcar en las variedades Mex57-473 de madurez media y Mex69-290 de madurez tardía en el Ingenio Pujiltilic.
- Evaluar el efecto de la suspensión del riego, durante la etapa de maduración, sobre el rendimiento de tallo moledero y calidad del jugo en las variedades de caña de azúcar Mex57-473 de madurez media y Mex69-290 de madurez tardía en el Ingenio Pujiltilic.
- Determinar la respuesta fisiológica de la suspensión del riego previo a la cosecha, en dos variedades de caña de azúcar Mex57-473 de madurez media y Mex69-290 de madurez tardía en el Ingenio Pujiltilic.

2.2. Hipótesis

- La cantidad de precipitación más el agua aplicada mediante el riego, satisfacen completamente las necesidades hídricas de las variedades de caña de azúcar Mex57-473 de madurez media y Mex69-290 de madurez tardía en el Ingenio Pujiltilic.
- La suspensión de riego 60 días antes de la cosecha, ayuda a la maduración lo que incrementa el rendimiento y la calidad de jugo en las variedades de estudio.
- La suspensión del riego previo a la cosecha disminuye la tasa de fotosíntesis, tasa de transpiración y conductancia estomática en la variedad de caña de azúcar Mex57-473 de madurez media y Mex69-290 de madurez tardía en el Ingenio Pujiltilic.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. La caña de azúcar

La caña de azúcar requiere una lámina de agua de 1500 mm para desarrollar todo su potencial productivo, aspecto relacionado a su ciclo largo y a una elevada cobertura foliar. Numerosos estudios han demostrado que la ocurrencia de fluctuaciones en la disponibilidad hídrica durante el ciclo del cultivo limita con frecuencia la producción, enfatizando la importancia del riego (Salgado *et al.*, 2006). La caña de azúcar es una de las especies cultivadas de mayor eficiencia en el uso del agua, por cada kilogramo de agua consumida produce de 2.0-2.7 gr de materia seca y de 0.6-1.0 gr de azúcar (Salgado *et al.*, 2003)

El peso de la caña y la cantidad de azúcar contenida (sacarosa), sirven de base para determinar el valor de la tonelada de tallo moledero. En los ingenios es común dar un seguimiento a la madurez con la finalidad de programar el corte de caña. Los métodos usados son:

- a. **Molino de ensaye**, basado en las determinaciones de los sólidos totales (grados brix), porcentaje de sacarosa de caña y azúcares reductores.
- b. **Pol-ratio**, este método se basa en el porcentaje de sacarosa de caña y porcentaje de fibra de caña.
- c. **Sección 8-10**, determina el porcentaje de humedad y azúcares reductores (refractómetro manual).

Los valores de referencia de los parámetros de la calidad del jugo en México son: 12.5% de sacarosa, grados Brix de 18 a 22%, pureza de 79 al 89%, fibra de 11 al 15%, humedad de 73 al 75% y el menor porcentaje de azúcares reductores (Salgado *et al.*, 2003).

El muestreo para determinar el contenido de sacarosa en caña de azúcar, se recomienda hacerlo a partir de los 9 meses de edad y hasta antes de la cosecha, midiendo los grados Brix a partir 10 meses con un refractómetro manual. Lecturas mayores de 24 °Brix son indicativas de alto contenido de sacarosa. A medida que la caña va madurando las lecturas de los grados Brix aumentaran, cuando sean máximos, será indicativo que la caña está madura. Lingle *et al.*, (2010) mencionan que después de 10.5 meses, se recomienda no regar porque se interrumpe la maduración; la sacarosa acumulada es hidrolizada a glucosa y fructuosa para iniciar nuevo crecimiento, afectando la calidad del jugo.

Durante la cosecha también puede deteriorarse la calidad del jugo de caña, afectando seriamente los ingresos del productor. Por ello, es necesario cuidar el contenido de impurezas durante el corte y el alce de la caña, y el tiempo de entrega de la caña al batey. Debido al sistema de recepción de la caña de azúcar del Ingenio Pujiltic, la caña quemada y cortada llega permanecer hasta 72 horas en recepción. La velocidad de pérdida de sacarosa para cosechas manual y mecanizada, con quema previa o sin quema, varía de 0.018 a 0.7 % de peso de caña por día (Larrahondo y Briceño, 2004). La caña cruda entera se deteriora apreciablemente durante las primeras 36 horas. Después, la caña pierde 1.5 kg t^{-1} de azúcar, por cada día que transcurra hasta su molienda. Posteriormente, la caña pierde hasta 6 kg t^{-1} de azúcar, por cada día de retraso en su molienda como lo mencionan Palacios-Vélez *et al.*, (2011).

3.2. Demanda hídrica de la caña de azúcar

La etapa de desarrollo de cepas o amacollamiento, también conocida como la fase de formación, se han identificado como un período crítico de la demanda de agua (Ramesh, 2000). Por lo tanto, es en este periodo cuando los daños causados por la deficiencia de agua son más perjudiciales para la producción. Entre los diversos tipos de estrés abiótico, la deficiencia de agua es considerado el principal limitando la producción de caña de azúcar (Silva *et al.*, 2008).

El estrés hídrico provoca cambios fisiológicos que afectan profundamente el metabolismo de la planta. Las plantas desarrollan la protección de mecanismos contra la deshidratación inmediata (Trewavas 2000) y modifican su metabolismo que varían de acuerdo a la duración y severidad del estrés (Bray *et al.* 2000). Las plantas que resisten y mantienen su tasa de crecimiento durante periodos largos de déficit de agua se consideran tolerantes e induce el cierre de estomas (Brodrigg y Holbrook 2003), los cambios en la morfología de la raíz y su anatomía (Steudle 2000, Wu y Cosgrove 2000). El aumento de los días sin precipitación y la falta de riego en el cultivo, resulta en un déficit de agua que afecta a la bioquímica de los cloroplastos (Hsiao y Xu 2000, Tardieu *et al.*, 2000) o también un grave estrés hídrico que lleva al enrollamiento de la hoja (Quirino *et al.*, 2000).

Dado que el periodo de crecimiento y sazonado de la caña de azúcar de 1 a los 9 meses y el de madurez del mes 9 al 12. En esta última etapa se requiere que el suelo no reciba humedad, ya que el cultivo al iniciar la madurez necesita perder humedad para concentrar la sacarosa (Inman-Bamber, 2004).

Varios parámetros basados en las mediciones de humedad del suelo y el análisis de la distribución de precipitaciones, pueden ser utilizados para evaluar los niveles de estrés transitorio a los cuales están sujetas las plantas. Desde el punto de vista ecofisiológico, solo el conocimiento de los factores externos para evaluar el grado de sequía no es suficiente (Larcher, 2004). Por lo tanto, es importante entender los procesos fisiológicos de la planta bajo las condiciones de déficit hídrico.

Para cubrir las necesidades adicionales de agua del cultivo, se requiere efectuar inversiones económicas de importancia en la captación, conservación, conducción, distribución y aplicación del agua, como también intensificar el aprovechamiento de fuentes subterráneas, sin las cuales la agroindustria de la caña de azúcar no podrá lograr niveles altos y sostenidos de productividad. El manejo de la cobertura vegetal, el mejoramiento del riego por gravedad actualmente utilizada, permitiría incrementar sensiblemente la eficiencia del uso del agua a nivel de parcela y disminuir los intervalos de riego, son factores que en conjunto mejorarían significativamente la productividad de la caña de azúcar en la región (Inman-Barber y Smith 2005).

3.3. Etapas de crecimiento

La caña de azúcar tiene esencialmente cuatro fases de crecimiento: fase de establecimiento; la cual implica germinación y emergencia, ya sea en plantación (plantillas) o en rebrote (socas y resocas) de los cuales crecerán nuevos tallos (amacollado); fase de ahijamiento, formativa o reposo fisiológico; fase de crecimiento rápido; y fase de maduración y cosecha que dependerán en gran medida de la humedad del suelo, (FAO, 2008). En México, se utiliza el sistema de clasificación de tres etapas desde el punto de vista de la madurez del cultivo, tal como se observa en la Figura 1.

- a. **Desarrollo de las cepas.** Abarca desde la germinación hasta que el cultivo alcanza su cobertura (5-6 meses de edad), se requiere mantener la humedad en la planta arriba del 85%, a fin de lograr una abundante población de cepas vigorosas.
- b. **Sazonado.** Desde que el cultivo cierra hasta que se inicia la maduración, se debe bajar la humedad en la planta procurando mantenerla entre 78 al 80 %, para inhibir el desarrollo vegetativo e iniciar la concentración de sacarosa en las plantas (6 a 9 meses).

c. **Maduración.** La maduración de la caña es la fase fisiológica senescente que se sitúa entre las fases de crecimiento rápido y la muerte final de la planta (9 a 12 meses). En general, la maduración es gradual hasta llegar a un máximo, después del cual el contenido de sacarosa en caña declina si no se cosecha (Clements, 1980).

En la maduración se requiere un bajo contenido de humedad del suelo, por lo que el riego debe ser reducido y luego detenerse para llevar la caña a la madurez; así, se detiene el crecimiento y se propicia la acumulación de carbohidratos y la conversión de azúcares reductores (glucosa y fructosa) a sacarosa (Pereira, 2009). La maduración del tallo ocurre desde la base hacia el ápice y por esta razón la parte basal contiene más azúcares que la parte superior. Cada entrenudo sucesivo completa su propio ciclo vegetativo que considera el engrosamiento y alargamiento de las células de la pared, el aumento sensible de materia seca, la deshidratación gradual, el aumento y retención de la sacarosa acumulada y la disminución del grado de alargamiento (Ortiz-Villanueva, 1981). La edad de la caña no es necesariamente síntoma de madurez.

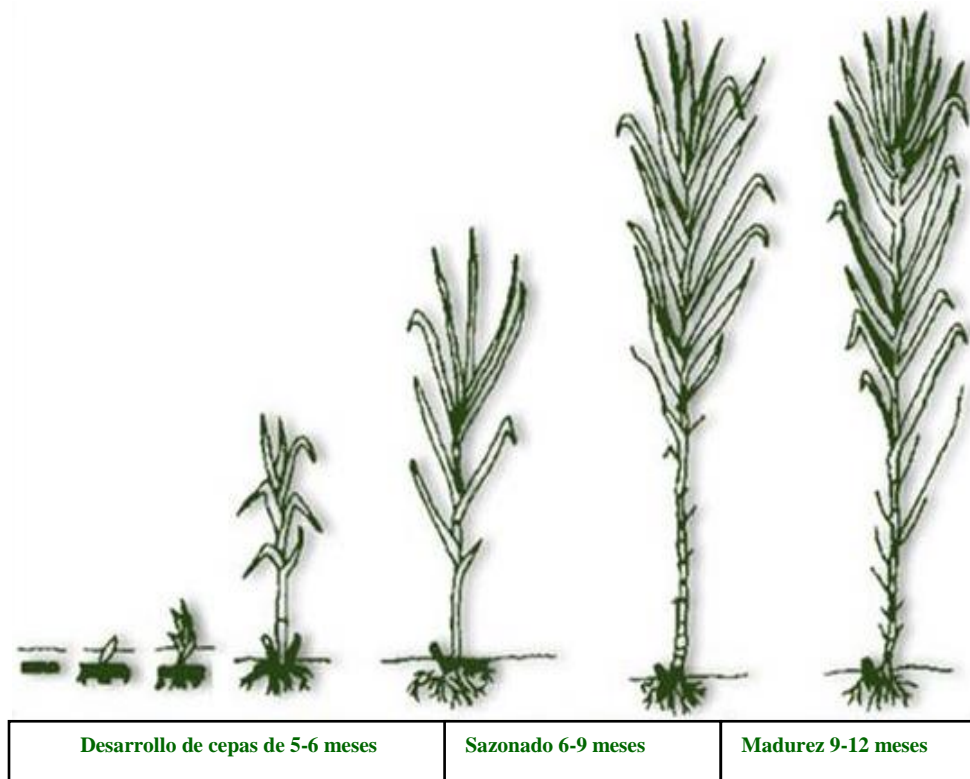


Figura 1 Diversas clasificaciones de las etapas de crecimiento del cultivo de caña de azúcar modificado de FAO (2006).

3.4. El estrés hídrico en el crecimiento, desarrollo y rendimiento en caña de azúcar

En los sistemas de producción cañeros es común la falta de agua durante la fase temprana e intermedia del crecimiento del cultivo (Martin *et al.*, 2007). El déficit de agua durante la etapa de amacollamiento afecta negativamente el desarrollo del área foliar, la producción de tallos y la acumulación de biomasa pero tiene poco impacto en el rendimiento final si en las etapas subsiguientes se mantiene irrigado el cultivo (Robertson *et al.*, 1999); sin embargo si el déficit de agua se presenta cuando la biomasa aérea está completamente desarrollada (área foliar >2), el impacto de la falta de agua es más severo, afectándose el rendimiento de biomasa final por incremento en la tasa de senescencia de hojas y de tallos y una reducción en el peso y acumulación de sacarosa en los tallos (Smit y Singels, 2006); por lo que un adecuado manejo de la irrigación durante estas etapas presenta un impacto positivo en el rendimiento final.

Una planta puede ser sometida a diversas tensiones ambientales. En cuanto a la disponibilidad de agua, la planta puede sufrir de estrés hídrico por la falta de agua (Angelocci, 2002). El estrés por agua es uno de los factores de estrés que causan daños importantes en los procesos fisiológicos y metabólicos de las plantas, resultando en una reducción de la productividad (Pimentel, 2004; Taiz y Zeiger, 2004). El agua utilizada o requerida por el cultivo se rige en gran medida por los intercambios de energía en la superficie cultivada, en el suelo, planta y atmósfera. Todo esto es parte de la evaporación en la superficie del suelo y la transpiración a través de los estomas, es decir; la evapotranspiración es muchas veces (unas 100 veces) mayor que el agua retenida por el cultivo (Inman-Barber y Smith 2005).

Las plantas pueden evitar o retrasar la escasez de agua mediante la limitación de la transpiración a través de cierre de los estomas o reduciendo el área expuesta de la hoja al sol. Las hojas jóvenes de caña de azúcar son capaces de enrollarse para reducir el área foliar expuesta y por lo tanto reducir la carga de radiación. Las hojas más jóvenes regularmente comienzan a enrollarse al mediodía, en promedio se reduce 20% la anchura real de la hoja (Inman-Bamber 2004). El enrollamiento de las hojas puede variar considerablemente entre cada variedad de caña de azúcar, así como la tolerancia al déficit de agua.

Si bien los procesos metabólicos de la planta son muy independientes de las relaciones internas de agua en la planta, relacionados con el potencial hídrico, estos procesos sólo se pueden llevar a cabo a través del control del suministro de agua al sistema radical y la demanda en las hojas y la

atmósfera. Por eso es importante saber cómo los diferentes procesos de crecimiento se relacionan con el déficit hídrico del suelo (Smit y Singels 2006).

La planta tiene que equilibrar la necesidad de conservar el agua a la vez que asimila CO₂, utilizando los mecanismos de la hoja y la difusión de CO₂ y vapor de agua a través de los estomas. La transpiración y la acumulación de materia seca se vinculan en la medida en que ambos dependen del intercambio gaseoso a través de los estomas. Sin embargo, la fotosíntesis neta y la acumulación de materia seca también dependen de procesos metabólicos que pueden responder al estrés hídrico de manera diferente al proceso de difusión y los efectos del estrés hídrico sobre el crecimiento expansivo y crecimiento en términos de acumulación de materia seca (Inman-Barber y Smith 2005).

La caña de azúcar puede soportar un cierto grado de estrés de agua sin afectar a la biomasa y la acumulación de sacarosa. Es claro que el crecimiento del cultivo es altamente sensible a la falta de agua. La respuesta de la caña de azúcar al riego, se puede clasificar en tres fases: desarrollo del área foliar temprana, desarrollo del área foliar tardía y fase de elongación del tallo, y la fase de maduración (Inman-Barber y Smith 2005).

El proceso de crecimiento celular es considerado el más sensible a la baja disponibilidad de agua en el suelo, la división y expansión celular son directamente inhibidas por la falta de agua. La reducción en el potencial hídrico del suelo afecta a la división celular y la elongación celular en la caña de azúcar (Goncalves, 2008). El estrés de agua en la fase inicial afecta el rendimiento de la caña de azúcar, reduciendo el tamaño de las plantas en general, y de algunas variables, tales como la producción y número de tallos, la altura y el diámetro de los tallos molederos, el área foliar y finalmente el peso de los tallos individuales (Rao *et al.*, 2005). Según Silva *et al.*, (2008), la variación en altura de la planta es indicativo de la tolerancia o la susceptibilidad de azúcar de caña al déficit de agua. La falta de agua en la caña de azúcar puede reducir a la mitad la longitud de los entrenudos, pero si no hay disponibilidad de agua de nuevo, la pérdida puede ser compensada por la mayor longitud de la siguiente entrenudos (Castro y Kluge, 2001).

Esta característica morfológica observada con el periodo seco es la formación de nudos y entrenudos cortos y muy próximos entre sí, disminuyendo el volumen de la sacarosa almacenamiento parénquima (Segato *et al.*, 2006).

Las hojas son los órganos responsables del 90% de acumulación de materia seca en las plantas, resultantes de la actividad fotosintética, así que los factores tales como altas temperaturas durante períodos de agua causa la disminución del estrés área de la hoja, y de acuerdo con Inman-Bamber (2004), el tiempo exposición a la sequía afecta negativamente el crecimiento de brotes, en particular la producción de hojas, aceleración del envejecimiento. Limitar la expansión de área foliar es también una respuesta a la escasez de agua, no sólo limita el tamaño de las hojas, sino también por la disminución del área foliar en el surgimiento de nuevas hojas (Santos y Carlesso, 1998; Shigaki *et al.*, 2004; Scarpari, 2007).

Varios autores describen que la senescencia es sensible al déficit de agua y una reducción en el número de hojas verdes se produce después de la reducción en la aparición de hojas (Robertson *et al.*, 1999; Machado, 2009). La reducción de las hojas verdes es una estrategia para disminuir la superficie transpirante y el costo metabólico para el mantenimiento del tejido (Inman-Bamber *et al.*, 2008). Características foliares tales como el peso específico de las hojas, grosor de la hoja y la densidad se ven afectados por factores ambientales tales como la disponibilidad de nutrientes y agua (Castro-Diez *et al.*, 1997; Bussotti *et al.*, 2000). Existe una relación entre la longevidad de las hojas y las características morfológicas de las hojas. Las especies que tienen mayor longevidad hoja generalmente tienen una menor área de superficie específica, peso específico foliar o mayor, debido a la cutícula de la hoja y la hoja más gruesa, así lignificados un área más grande, lo que aumenta la relación de peso/área; permitiendo a la hoja resistir durante mucho tiempo bajo condiciones adversas tales como la falta de agua (Lima *et al.*, 2006).

3.5. Efecto del estrés hídrico en los parámetros fisiológicos

La caña de azúcar es un cultivo de alta producción de biomasa que requiere de grandes cantidades de agua y nutrientes del suelo para una máxima productividad (Da Silva *et al.*, 2004). Esta productividad es principalmente definida por la actividad fotosintética que conlleva a la acumulación de sacarosa en el tallo durante la fase final del ciclo fenológico del cultivo. La actividad fotosintética durante los periodos de crecimiento del cultivo y la acumulación de sacarosa en la etapa de maduración es afectada por eventos bióticos ó abióticos, lo que incide en el rendimiento (Venkataramana *et al.*, 2006; Cha-Um y Kirdmanee, 2008).

Entre los parámetros fisiológicos que son afectados por el estrés causado por un déficit de agua están la tasa fotosintética, la eficiencia fotosintética del fotosistema II, el contenido relativo de agua, (Silva *et al.*, 2007) y la conductancia estomática (Smit y Singels, 2006). En el caso de la tasa fotosintética y la conductancia estomática se ha observado variación entre e intra cultivares de caña de azúcar (Pérez *et al.*, 2010). En la etapa de maduración del cultivo de caña se requiere de periodos limitantes en agua para restringir crecimiento vegetativo y promover la acumulación de sacarosa en los tallos. Durante ésta etapa los parámetros fisiológicos cambian debido a la mayor longevidad que presentan las hojas y una menor respuesta compensatoria ante estreses abióticos (Smit y Singels, 2006). De hecho, Meinzer y Grantz (1990) indican que bajo niveles similares de humedad en el suelo, la apertura estomática es menor en plantas adultas que en jóvenes, lo que explica en parte las bajas tasas de fotosíntesis en plantas adultas de caña.

Bajo condiciones de estrés hídrico, el contenido de sacarosa en la caña de azúcar tiene una serie de cambios morfo-fisiológicos, así como trastornos en su metabolismo (Pincelli, 2010). La adaptación y aclimatación al estrés hídrico como resultado de eventos integrados que se producen en todos los niveles de la organización: anatómico, morfológico, celular, molecular y bioquímico (Bueno *et al.*, 2006.)

La resistencia estomática, es decir, el grado de cierre de los estomas, está regulada por la planta de modo que la transpiración es proporcional al balance energético, sin inducir un calentamiento excesivo de la hoja (Taiz y Zeiger, 2004). Se cree que el estado del agua de las células epidérmicas es responsable de la apertura de los estomas, (Inman-Bamber y Smith, 2005). La cantidad, la distribución, el tamaño, la forma y la movilidad de los estomas son las características específicas de cada especie, y pueden ser modificados en función de las adaptaciones a las condiciones ambientales (Larcher, 2000). En las hojas de la caña de azúcar de los estomas están presentes tanto en el lado adaxial (haz), como en la abaxial (envés) y una mayor densidad de los estomas se encuentra en el envés de la hoja (Ferreira, 2005).

El número de estomas de la hoja se establece durante el proceso de crecimiento, y los factores que afectan a esta cantidad es la diferencia en la intensidad de la luz y de la disponibilidad de agua (Kouwenberg *et al.*, 2004). Una característica muy común en la caña de azúcar, para reducir la transpiración de la superficie de la hoja en condiciones de estrés hídrico, es la aparición de enrollamiento de la hoja, el cual induce a que el cultivo detenga su crecimiento.

Cuando las plantas cierran rápidamente los estomas, esta adaptación es modulativa y reversible. Una adaptación se produce cuando las hojas se desarrollan modificadas en condiciones de estrés hídrico, el cual tienen estomas más pequeños, pero mayor densidad estomática (Paiva y Oliveira, 2006). La densidad más alta y el menor tamaño de los estomas limita la pérdida excesiva de agua por transpiración (Silva, 2008).

La reducción de la asimilación de CO₂ se produce debido al cierre de los estomas, afectando la fotosíntesis debido a la restricción de CO₂, dando como resultado efectos perjudiciales directamente en el aparato fotosintético, mientras que las tasas de respiración no se ven afectadas (Sasaki y Machado, 1999). El control del intercambio de gases se considera un proceso complejo en las plantas, debido a que si hay una ligera disminución en la turgencia, hará la absorción de CO₂ extremadamente difícil, lo que reduce considerablemente la asimilación del carbono activo, por lo que requieren los estomas abiertos para la entrada de CO₂ y también cerca de ellos para evitar la pérdida de agua, pero la tendencia es la de favorecer la asimilación fotosintética (Angelocci, 2002).

Hay varios estudios que muestran la influencia del estrés hídrico sobre el intercambio gaseoso de los cultivos, especialmente la caña de azúcar (Inmam-Bamber y Smith, 2005; Smit y singels, 2006), por lo tanto bajo estrés hídrico, el intercambio de gases puede mostrar cambios de forma diferente, ya sea por limitaciones difusivas que restringen la disponibilidad de CO₂, como por las limitaciones efecto metabólico aumentando la fotoinhibición (Goncalves *et al.*, 2010).

También es importante mencionar que el contenido de clorofila en las hojas es una variable clave para la comprensión de las respuestas de una planta para el medio ambiente en el que opera, y por lo tanto es un indicador potencial del grado de estrés, ya que tiene un papel directo en el proceso de fotosíntesis de la captura luz y el inicio del transporte de electrones (Zarco-Tejada *et al.*, 2002).

Por todo lo anterior, en este estudio se determinó el efecto de la suspensión del riego previo a la cosecha para evaluar la respuesta del cultivo a los diferentes niveles de estrés hídrico durante la etapa de maduración en las condiciones del trópico en el sureste de México y así mejorar los rendimientos del cultivo de caña de azúcar.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Descripción del área de estudio

El trabajo de campo se realizó a partir del 17 de Diciembre de 2010 y se concluyó el 24 mayo de 2012 en el área de abastecimiento del Ingenio Pujiltic que se ubica a los $16^{\circ}17'32''$ LN y $92^{\circ}25'17''$ LO (Figura 2), en el km 46 en la carretera federal Tuxtla Gutiérrez-Venustiano Carranza, Chiapas, con una superficie cultivada de 16,600 ha (Superintendencia de Campo del Ingenio Pujiltic, 2012). El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano, se encuentra a una altitud de 625 msnm, con temperatura promedio anual de 25°C y precipitación promedio anual de 1006 mm (CONAGUA, 2010).

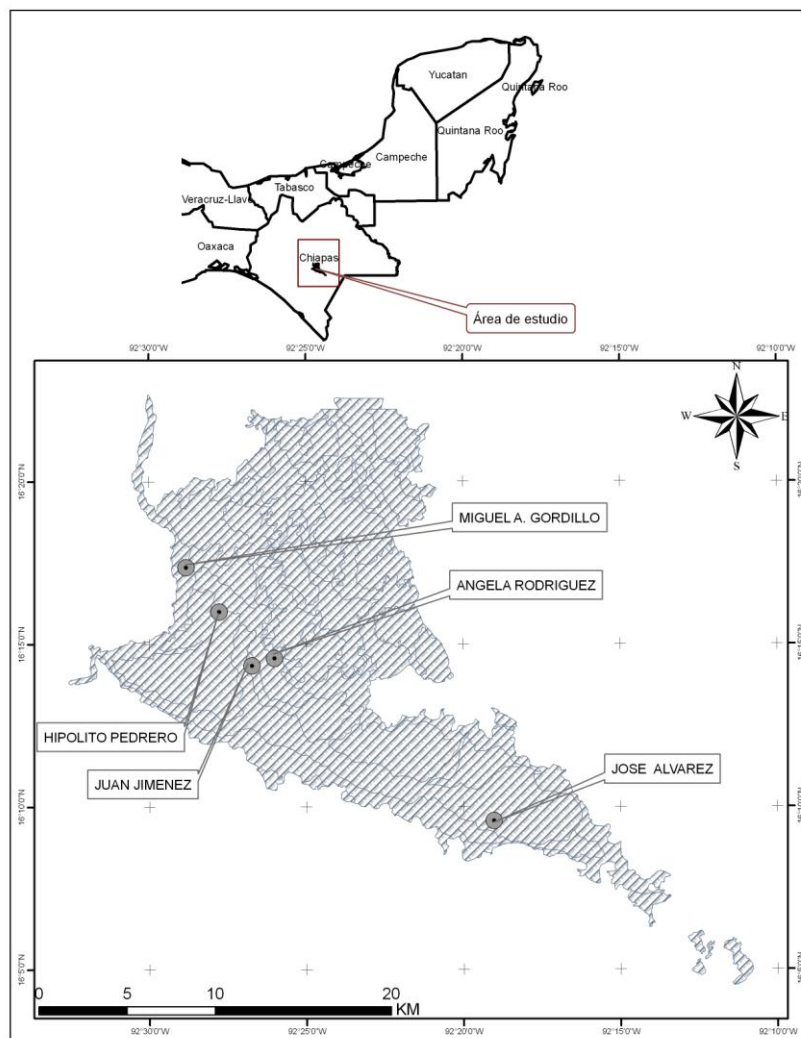


Figura 2. Ubicación del área de estudio en la zona de abastecimiento de caña de azúcar del Ingenio Pujiltic, en Chiapas, México.

Los suelos del área cañera de Pujilic son diversos en cuanto a tipo y origen, en cuanto a superficie el grupo dominante es el de los Vertisoles (26.3 %), seguido de Fluvisoles (12.6 %), Regosoles (10.2 %) y Gleysoles (7.5), los menos extensos son los Cambisoles (1 %). Es importante señalar que el origen calcáreo de la zona define la mayor parte de las características de los suelos y su fisiografía característica hace que un 20.5 % sea ocupado por cerros con afloramientos de la roca, donde las pendientes han limitado la formación de suelos (Salgado *et al.*, 2006).

4.2. Establecimiento de experimentos

El 90% del área cultivada con caña puede agruparse en dos polígonos de Thiessen: 957 mm y 1035 mm de precipitación (Salgado *et al.*, 2008). Por ello, se seleccionaron los suelos Vertisol éútrico y Gleysol mólico que se ubican en un polígono de 957 mm (Figura 2). Para alcanzar los objetivos planteados, se utilizó un diseño de bloques completamente al azar, con cinco repeticiones y los análisis se efectuaron de forma independiente.

- T1. Suspensión del riego 15 días antes de la cosecha.
- T2. Suspensión riego 30 días antes de la cosecha.
- T3. Suspensión el riego 45 días antes de la cosecha.
- T4. Suspensión el riego 60 días antes de la cosecha.
- T5. Suspensión el riego 75 días antes de la cosecha.

Este experimento se estableció con todos sus tratamientos en cada una de las 5 parcelas facilitadas por productores cooperantes. Cabe señalar que solo en la Parcela 1, de la Sra. Ángela Rodríguez Muñoz, no fue posible aplicar los tratamientos de suspensión del riego, debido a que el suelo estaba húmedo por la última precipitación ocurrida en la zona. Posteriormente, para el establecimiento de los tratamientos en campo, se dividió el ancho de la parcela entre cinco, de esta forma le correspondió una franja a cada tratamiento y dentro de cada franja se tomaron cinco observaciones como repeticiones. La aplicación de la lámina de riego para cada tratamiento del riego se diseñó de acuerdo con la entrada del agua a la parcela y la ubicación de la regadera (canal de riego) para así evitar que el tratamiento fuera regado accidentalmente como se muestra

en la Figura 3. Las variedades presentes en las parcelas fueron CP72-2086 en parcela 1; la Mex57-473 en la parcela 2; y la Mex69-290 en parcelas 3, 4 y 5.

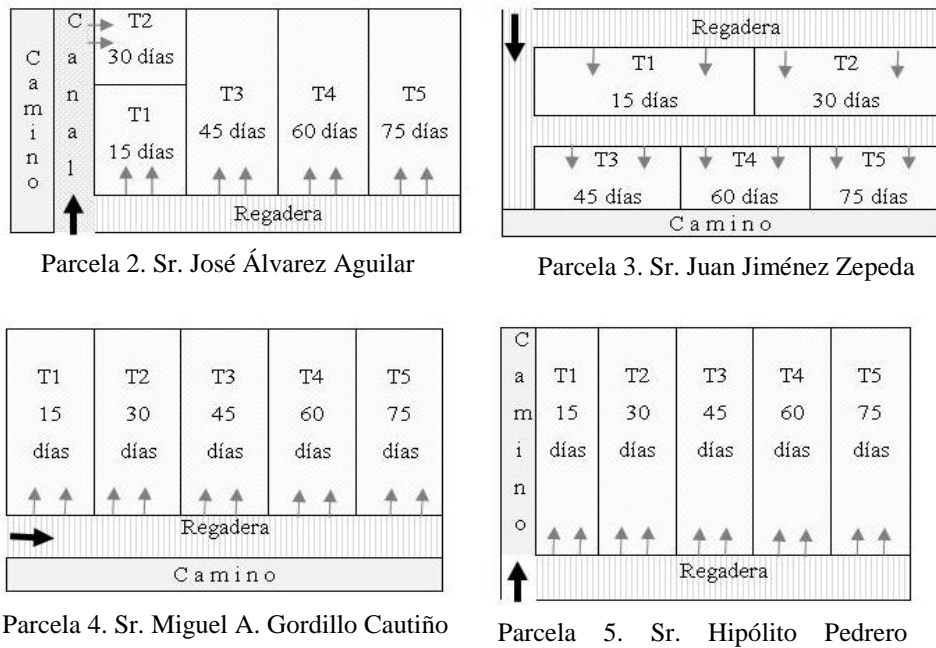


Figura 3. Distribución de tratamientos de suspensión de riego en caña de azúcar en el Ingenio Pujiltilc, Chiapas, México.

4.3. El manejo agronómico

Estuvo a cargo del productor cooperante y se insistió en realizar resiembra, cultivo con ganchos, control de malezas y fertilizar con una dosis acorde al tipo de suelo; se aplicó a los 2.5 meses de edad, usando las fuentes 17-17-17+urea (Salgado *et al.*, 2008).

4.4. Variables de estudio

Se realizaron mediciones quincenales para realizar muestreos y supervisar el desarrollo del cultivo y contabilizar el volumen de agua en cada riego.

4.4.1. Suelo

La humedad en el suelo determinó por el método gravimétrico (NOM-2000). Los muestreos iniciaron a partir del 15 de noviembre utilizando una barrena de acero inoxidable. Inicialmente se tomaron tres muestras de cada parcela con tres repeticiones cada una, de 0 a 30 cm y de 30 a 60 cm de profundidad. En el momento en que se inició con los tratamientos de suspensión, los muestreos de humedad se realizaron por tratamiento con tres repeticiones.

El peso húmedo se registró en campo con una balanza semi-analítica, las muestras previamente identificadas, se llevaron al laboratorio de aguas, suelos y plantas del Campus Tabasco, donde fueron secadas en la estufa a 105°C, por 24 h.

Curvas de retención de humedad. Por cada parcela se tomaron tres muestras de suelo de 0 a 30 cm de profundidad, las que se secaron a temperatura ambiente, se molieron y se tamizaron a 0.5 mm (Figura 4). Las muestras se llevaron al laboratorio de física de suelos del Campus Montecillo, para elaborar 6 curvas de humedad con 3 repeticiones, estas para conocer las constantes de humedad del suelo de cada parcela (humedad a CC o 1/3 atm, humedad a HC o 5 atm, y humedad a PMP o 15 atm).



Figura 4. Muestreo de suelo en el entresurco de la caña de azúcar en un experimento de estrés hídrico en caña de azúcar en el Ingenio Pujiltilic, Chiapas, Mexico.

4.4.2. Lámina de Riego

La cantidad de agua recibida por el cultivo de caña se determinó considerando la precipitación medida en cada una de los sitios, más el agua aplicada vía riego, esta última se determinó utilizando un vertedor triangular y el número de riegos (Figura 5).

El gasto se calculó de acuerdo con una fórmula experimental desarrollada por Horace W. King, de la universidad de Michigan (Trueba, 1976). La cual se expresa:

$$Q = Ch^{2.47} \quad \text{donde:}$$

Q = gasto (L/s)

C = coeficiente experimental (valor constante) para ángulos rectos. 1.34

H = tirante (m)

La lámina de riego aplicada se calculó de acuerdo a la siguiente formula:

$$Lr = (Q*t)/S \quad \text{donde:}$$

Q = gasto (L/s)

t = tiempo (h)

S = superficie (ha)



Figura 5. Medición del gasto de agua para el cálculo de la lámina de riego aplicada a cada tratamiento en un experimento de suspensión de riego en el Ingenio Pujiltic, Chiapas, México

4.4.3. Rendimiento experimental en campo (tha^{-1})

En dos surcos se midieron 10 m lineales de cepa. Se contó el número de tallos. En cada surco se cortaron cinco tallos completos, se registró el peso de tallos, posteriormente se eliminó la punta y hojas secas para registrar el peso del tallo moledero (Figura 6); con estos datos se calculó el rendimiento de biomasa en toneladas por hectárea (Valladares y Zamorano, 1976).



Figura 6. Muestreo del rendimiento en campo de tallos molederos para la determinación de calidad de los jugos en caña de azúcar en el Ingenio Pujiltic, Chiapas, Mexico.

Los datos de evaporación (mm), temperaturas mínimas y máximas (°C) y precipitación (mm), se tomaron de la estación climatológica automatizada del ingenio y del INIFAP en la estación meteorológica de Constitución, Socoltenango, Chiapas. El requerimiento de riego se determinó con el método de Blaney y Criddle y se elaboró el calendario de riego para el requerimiento de riego.

4.4.4. Parámetros fisiológicos

Al final de cada tratamiento de suspensión de riego, en la cuarta hoja (contada de la hoja más reciente hacia abajo), en dos tallos tomados al azar en cuatro cepas se midieron la conductancia estomática (gs), la tasa de asimilación de CO₂ neta instantánea (A), la tasa de transpiración (E), la concentración de CO₂ intracelular (Ci) y la radiación fotosintéticamente activa (PAR).

En cada hoja se tomaron tres lecturas del tercio medio, a intervalos de 2 h aproximadamente, con un equipo portátil para medir fotosíntesis marca ADC modelo LCI, Hoddesdon, UK, haciendo un total de 400 mediciones en la parcela (Figura 7). Todas las mediciones fueron tomadas entre las 9:30 y las 14:00 h. con una Radiación fotosintéticamente activa incidente (RFAi) de a 800 a 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Estos parámetros se midieron en plantaciones establecidas en el suelo Vertisol Éutrico, cultivado con las variedades de madurez temprana CP72 2086 y de madurez media Mex69 290.



Figura 7. Toma de muestras de fotosíntesis en caña de azúcar en el Ingenio Pujiltic, Chiapas, Mexico.

4.4.4.1 Número de estomas

Al mismo tiempo, se tomaron impresiones, con pegamento transparente, de la superficie foliar para la determinación de número de estomas (Figura 8). Las observaciones se realizaron en un microscopio con el objetivo de 40x. Para el análisis de la densidad estomática se evaluó según la fórmula de $\text{Número de estomas/mm}^2 = \text{No. estomas contados en el campo visual/área observada}$ (Rodríguez *et al.*, 2000).



Figura 8. Impresión de estomas en el haz y envés de la hoja con barniz de uñas en un portaobjetos en caña de azúcar, Ingenio Pujiltilic.

4.4.5. Control de madurez

A partir de los 9.5 meses de edad del cultivo se llevó un registro de los grados Brix cada 15 días. La toma de jugo se realizó en la parte media del tallo con un punzón de acero inoxidable. En cada tratamiento de suspensión del riego se realizó una lectura de grados Brix con cinco repeticiones utilizando un refractómetro manual marca ATC modelo HRHB-32 (Figura 9).



Figura 9. Lectura de los grados Brix con el refractómetro manual ATC modelo HRHB-32, en caña de azúcar, Ingenio Pujiltilic, Chiapas, Mexico.

4.4.6. Calidad del jugo

Comprende las mediciones de Grados Brix, sacarosa, humedad, azúcares reductores y pureza. El muestreo se realizó 3 días antes de la cosecha, de cada tratamiento de suspensión del riego, se tomó una muestra de 10 tallos con cuatro repeticiones, como se muestra en la Figura 6. Las determinaciones de la calidad del jugo de la caña de azúcar, se realizaron en el Laboratorio de Campo del Pujiltic, mediante el método de la Sección 8-10.

4.4.7. Análisis estadístico

Los datos fueron analizados bajo un diseño de bloques completamente al azar con 5 tratamientos de suspensión de riego y 4 cuatro repeticiones. Se empleó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) en el programa SAS 9.3. También se analizaron algunos parámetros fisiológicos como la conductancia estomática (g_s), la tasa neta instantánea de asimilación de CO_2 (A), la tasa de transpiración (E), la concentración de CO_2 intracelular (C_i). Estos datos fueron sometidos a un análisis de varianza bajo un diseño factorial 2 x 5 que corresponde a dos variedades y 5 tratamientos de suspensión de riego. La prueba de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) fue utilizada para detectar diferencias entre tratamientos. Para observar las relaciones entre los parámetros analizados por cada variedad independientemente del tratamiento se realizaron regresiones con el programa Excel ® utilizando todos los datos tomados por variedad.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos del contenido de humedad del suelo, los grados Brix, la calidad de los jugos y el rendimiento de caña se discuten para cada parcela ya que en cada una de ellas se estableció un experimento completo; en las parcelas donde se realizaron las mediciones de fotosíntesis y estomas, se presentan los resultados obtenidos.

5.1. Parcela 1: Sra. Ángela Rodríguez

5.1.1. Balance Hídrico

Este es un suelo Vertisol éutrico cultivado con la variedad CP 72-2086 de madurez temprana; la parcela fue programada para ser cosechada el 15 de enero de 2012. En este sitio no se hicieron los tratamientos de suspensión de riego porque hubo alta humedad residual por las lluvias. Durante su ciclo de crecimiento recibió 1049 mm de precipitación (Cuadro 1) más 204.5 mm a través de tres riegos de auxilio aplicados durante los meses de enero a mayo (Cuadro 2), que coinciden con la época de secas y de zafra. La suma total del agua reciba a través de la lluvia y el riego fue de 1,253.5 mm, la cual no satisface los 1,303.61 mm de agua que el cultivo de caña requiere para su normal crecimiento, en la zona de Cuatro caminos, como indican los cálculos hechos, en este estudio.

En el Cuadro 2 se observa que los riegos aplicados superan los requerimientos del cultivo en los meses de febrero a marzo, lo cual indica que el cultivo se estresa por exceso de agua en esta etapa de crecimiento. Para hacer más eficiente el agua de riego, se podrían programar cinco riegos en noventa días con una lamina de 40.8 mm, lo que implicaría regar cada 18 días. De esta forma el agua sería retenida por el suelo y puede ser aprovechada por el cultivo reduciendo el estrés del cultivo y la pérdida de N del suelo por desnitrificación (Wiedenfled, 2000). Lo anterior, evidencia la importancia de saber cómo los diferentes procesos de crecimiento se relacionan con el déficit hídrico del suelo (Smit y Singels, 2006).

Entre junio a octubre de 2011, se presentó la época de lluvias acumulándose un total de 884 mm. En este periodo el Método de Blaney y Criddle indica excesos de agua para el cultivo (valores con signo negativo), lo cual fue corroborado durante los muestreos de humedad. De noviembre a diciembre de 2011, llovieron 24.3 mm lo que favorece el proceso de madurez del cultivo (Salgado *et al.*, 2012).

En la Figura 10, se presentan los datos de humedad del Vertisol éutrico a (CC) capacidad de campo (52.2%), (HC) humedad crítica (20.3%), y a (PMP) punto de marchitez permanente (15.2%). El rango óptimo de humedad para el desarrollo normal del cultivo de caña de azúcar debe fluctuar entre CC y HC. Los datos de humedad del suelo, a partir de los 305 días indican una reducción en el contenido de humedad del suelo pero esta no llega a la humedad crítica; la reducción se considera benéfica debido a que coinciden con el periodo de sazonado y madurez del cultivo de la caña de azúcar (Inman-Bamber, *et al.*, 2012). A partir de los 350 días el contenido de humedad va disminuyendo hasta la cosecha sin afectar el desarrollo del cultivo.

En esta parcela no fue posible aplicar los tratamientos de suspensión del riego, debido a que el suelo estaba húmedo por las lluvias que se presentaron antes del experimento. Durante la cosecha, los carros patinaron por el alto contenido de humedad presente en el suelo. Lo cual evidencia que es necesario el drenaje superficial para que el contenido de humedad disminuya y evitar excesos en los meses de junio, agosto y septiembre (Cuadro 1).

En la Figura 11, se presentan los grados Brix durante el periodo de fin de crecimiento (<15 °Brix), sazonado y madurez de la variedad CP 72-8086, se observa que a partir de los 305 días los grados Brix se incrementan hasta la cosecha. Dado que el periodo de crecimiento de la caña de azúcar ocurre durante los 10 primeros meses del cultivo y el de sazonado y madurez del mes 11 al 12. En esta última etapa, se requiere que el suelo no reciba agua, ya que el cultivo al iniciar la madurez necesita perder humedad para concentrar la sacarosa (Lingle *et al.*, 2010). Los mayores grados Brix se observaron a los 365 días, que fue el momento cuando se cosechó. En el Cuadro 2 se presentan los resultados de la calidad de los jugos, de acuerdo con el índice de madurez de 9, la caña está madura y se refleja en los azúcares reductores que son cercanos a cero.

La pureza es alta y el contenido de sacarosa en jugo es de 13.97% (Cuadro 3). Los rendimientos experimentales fueron de 98 tha^{-1} , que resultaron levemente mayores que el rendimiento comercial (95 tha^{-1}). Los excesos de lluvia durante el periodo de crecimiento y la carencia de un sistema de drenaje, es posible que estén limitando los rendimientos de caña de azúcar en esta parcela, por lo que es necesario establecer un sistema de drenaje superficial construyendo zanjas cada 18 surcos (Mendoza *et al.*, 2003).

Cuadro 1. Calendario de riego para el módulo Cuatro Caminos, caña de azúcar del Ingenio Pujilic, Chiapas. Método de Blaney y Criddle.

Mes	Periodo (mes)	Temp. (°C)	t + 17.8	P (%)	f (cm)	Kt	f x Kt	Kc	Et	Et'	P	Pe	Rr
			21.8						------(mm)-----				
Ene	1	15.5	1.528	7.90	12.06	0.72	8.7112	0.30	26.134	28.459	1.8	1.988	26.471
Feb	1	16.1	1.555	7.34	11.41	0.74	8.452	0.35	29.583	32.216	2.6	2.340	29.876
Mar	1	19.4	1.706	8.44	14.39	0.84	12.145	0.50	60.726	66.131	8.1	7.290	58.841
Abr	1	22	1.826	8.47	15.46	0.92	14.3	0.60	85.801	93.438	34.1	30.690	62.748
May	1	23	1.872	9.03	16.89	0.96	16.146	0.77	124.325	135.390	93.8	84.420	50.970
Jun	1	22.7	1.858	8.85	16.44	0.95	15.563	0.90	140.067	152.533	231.1	207.990	-55.457
Jul	1	22.1	1.830	9.09	16.64	0.93	15.437	0.98	151.286	164.751	154.8	139.320	25.431
Ago	1	21.6	1.807	8.86	16.01	0.91	14.609	1.02	149.010	162.272	182.7	164.430	-2.158
Sept	1	21.6	1.807	8.27	14.95	0.91	13.636	1.02	139.087	151.466	213.8	192.420	-40.954
Oct	1	20.8	1.771	8.23	14.57	0.89	12.931	0.98	126.728	138.007	102.2	91.980	46.027
Nov	1	18.4	1.661	7.71	12.79	0.81	10.397	0.90	93.577	101.906	20.5	18.450	83.456
Dic	1	16.2	1.560	7.82	12.19	0.74	9.0699	0.78	70.745	77.041	3.8	3.420	73.621
Total					173.8		151.4			1303.61	1049.3		358.872

Cuadro 2. Balance Hídrico en el cultivo de caña de azúcar en el área de abastecimiento del Ingenio Pujiltic, Chiapas.

Parcela	Fecha de Riego	Tiempo (h)	Gasto (L/s)	Lámina de riego (mm)	Lámina total (mm)	Requerimiento de riego (mm)	Déficit o exceso (mm)
Ángela Rodríguez Muñoz	05/02/2011	48	57.75	62.37	204.35	29.88	-32.49
	10/03/2011	48	68.48	73.96		58.84	-15.12
	15/04/2011	48	62.98	68.02		62.75	-5.27

Cuadro 3. Calidad del jugo y rendimiento de caña Azúcar. Parcela de Ángela Rodríguez Muñoz. Ingenio Pujiltic.

	Altura Tallo (m)	Grados Brix	Sacarosa (%)	Pureza (%)	Humedad (%)	Azúcares Reductores (%)	Fibra (%)	Índice de Madurez	Daño de Barrenador (%)	Rendimiento (ton/ha)
Media [†]	2.3	15.4	13.97	90.5	68.60	0.21	13.6	9.99	2.22	98.92
dS	0.41	1.47	0.93	3.45	0.61	0.05	1.81	2.11	0.99	12.91

[†] Datos promedio de cinco repeticiones
Rendimiento comercial = 95.8 ton/ha

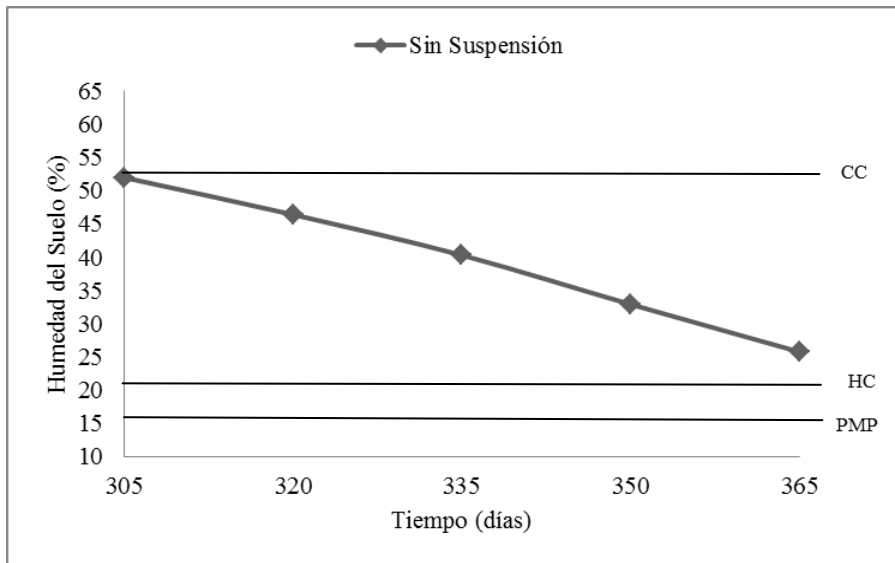


Figura 10. Humedad del suelo Vertisol éutrico cultivado con la variedad CP 72-2086. Parcela de Ángela Rodríguez Muñoz. Ingenio Pujiltic.

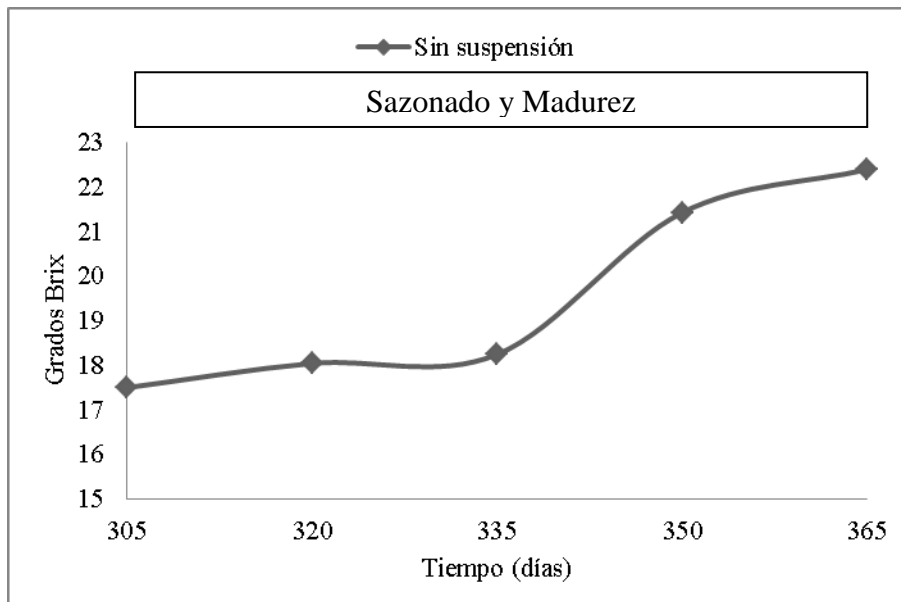


Figura 11. Evolución de los grados Brix en la variedad CP 72-2086 cultivada en el Vertisol éutrico. Parcela de Ángela Rodríguez Muñoz. Ingenio Pujiltic.

5.2. Parcela 2: Sr. José Álvarez Aguilar

5.2.1. Balance Hídrico

Este suelo es un Vertisol éutrico cultivado con la variedad Mex57-473; la parcela fue programada para ser cosechada el 25 de febrero del 2012. Durante su ciclo de crecimiento recibió 997 mm de precipitación (Cuadro 4), 233.9 mm de agua aplicada en tres riegos de auxilio durante los meses de marzo a mayo (Cuadro 2), y 16.9 a 32.8 mm de lámina de agua aplicada a todos los tratamientos de suspensión del riego. La suma total del riego y la recibida por precipitación en el cultivo fluctúa de 1,247.8 a 1,263.7 mm según los tratamientos de suspensión del riego (Cuadro 5), lo cual no satisface los requerimientos hídricos de 1,350.73 mm que necesita para su crecimiento normal (Salgado et al., 2012).

En el Cuadro 5 se observa que los riegos aplicados superan las necesidades hídricas del cultivo en los meses de marzo y abril, lo cual indica que el cultivo se estresa por exceso de agua en su etapa de crecimiento. Por el contrario, en el mes de mayo el requerimiento de agua fue insuficiente, lo cual indica que el cultivo se estresó por déficit de agua. Para mejorar la eficiencia del agua de riego, se pueden aplicar seis riegos durante este periodo con una lámina de riego de 38.9 mm, lo que implica regar cada 15 días. Así mismo el agua sería retenida por el suelo y aprovechada por el cultivo disminuyendo los riesgos de estrés hídrico y evitaría la pérdida de algunos nutrientes del suelo, tal como lo indican Smit y Singels (2006).

Durante junio a octubre de 2011, se presentó la época de lluvias acumulándose un total de 806 mm, el Método de Blaney y Criddle indica excesos de agua para el cultivo (Cuadro 4). De noviembre a diciembre de 2011, llovieron 25.9 mm. En la Figura 12, se presentan los datos de humedad a capacidad de campo (51.40%), humedad crítica (31.10%) y a punto de marchitez permanente (28.50%). Este suelo aporta un 20.3% de humedad aprovechable, la cual es menor que la observada para el Vertisol éutrico en la parcela de la Sra. Ángela Rodríguez Muñoz. Los datos muestran que a los 260 días la humedad del suelo está cercana a humedad crítica, debido a dificultades con los responsables del riego, el Sr. José Álvarez Aguilar no pudo regar el 13 de noviembre de 2011, lo cual ocasionó que el cultivo presentará déficit hídrico, la humedad del suelo llevo por abajo del punto de marchitez permanente.

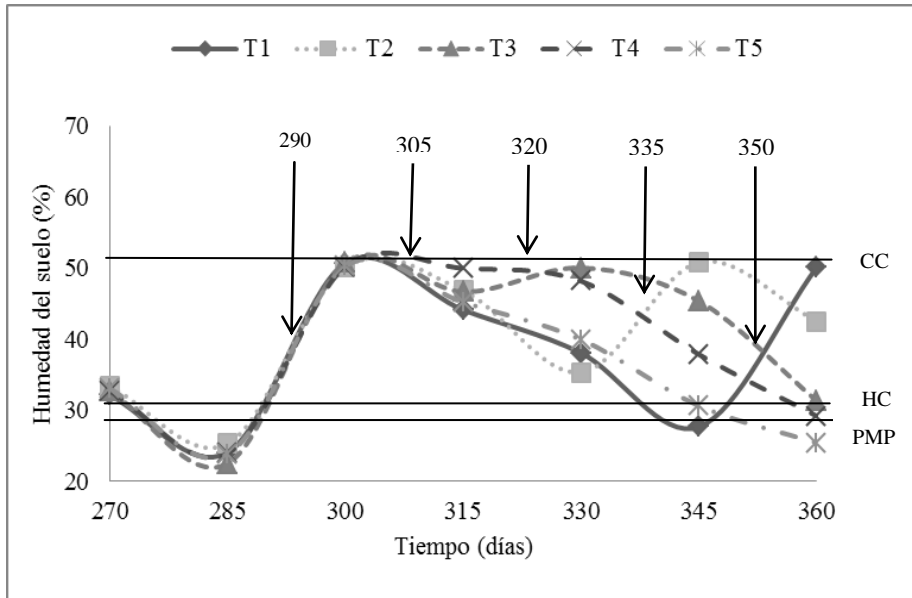


Figura 12. Humedad del suelo Vertisol éutricto cultivado con la variedad Mex57-473. Parcela de José Álvarez Aguilar. Ingenio Pujiltic.

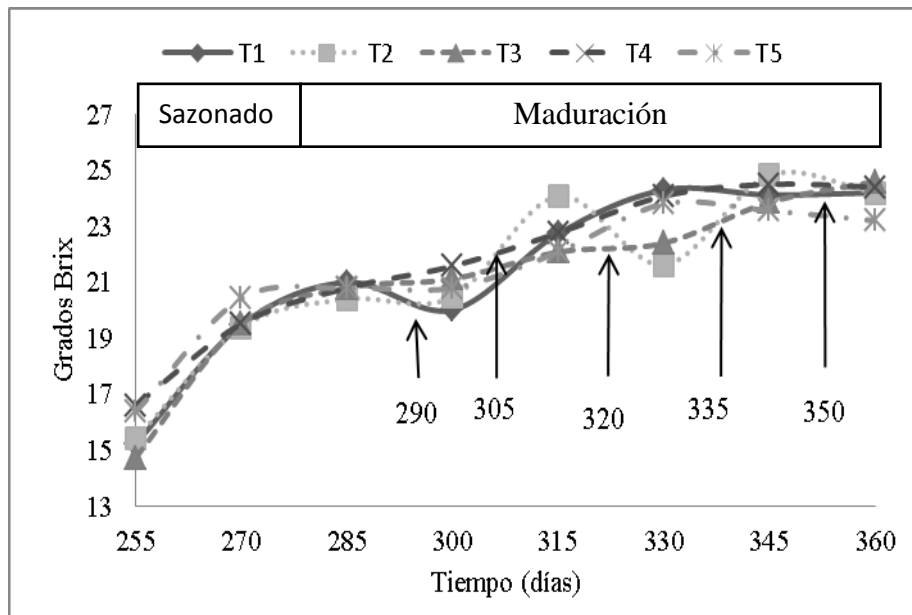


Figura 13. Evolución de los grados Brix de la variedad Mex57-473 cultivada en el Vertisol éutricto. Parcela de José Álvarez Aguilar. Ingenio Pujiltic.

Cuadro 4. Calendario de riego para el módulo la Mesilla, caña de azúcar del Ingenio Pujiltic. Método de Blaney y Criddle

Mes	Periodo (mes)	Temp. (°C)	$t + 17.8$ 21.8	P (%)	f (cm)	Kt	f x Kt	Kc	-----(mm)-----				
									Et	Et'	P	Pe	Rr
Ene	1	16.3	1.564	7.90	12.35	0.75	9.2281	0.30	27.684	28.692	3.8	3.762	24.930
Feb	1	18.1	1.647	7.34	12.08	0.80	9.703	0.35	33.962	35.198	1.7	1.939	33.258
Mar	1	20.4	1.752	8.44	14.78	0.87	12.932	0.50	64.660	67.014	2.0	2.360	64.654
Abr	1	23.5	1.894	8.47	16.05	0.97	15.589	0.60	93.533	96.937	70.2	36.031	60.906
May	1	24.4	1.936	9.03	17.47	1.00	17.462	0.77	134.457	139.351	88.2	48.901	90.450
Jun	1	24.5	1.940	8.85	17.17	1.00	17.217	0.90	154.956	160.597	204.3	72.519	88.078
Jul	1	24.2	1.927	9.09	17.51	0.99	17.395	0.98	170.473	176.679	103.2	59.784	116.895
Ago	1	23.4	1.890	8.86	16.74	0.97	16.215	1.02	165.392	171.413	167.0	71.219	100.193
Sep	1	23.1	1.876	8.27	15.52	0.96	14.88	1.02	151.776	157.301	194.6	70.464	86.837
Oct	1	21.6	1.807	8.23	14.87	0.91	13.57	0.98	132.987	137.827	136.9	57.642	80.186
Nov	1	19.2	1.697	7.71	13.08	0.84	10.953	0.90	98.578	102.166	20.1	18.076	84.090
Dic	1	17	1.596	7.82	12.48	0.77	9.5941	0.78	74.834	77.558	5.8	6.314	71.244
Total					180.10		164.74			1350.733	997.8		901.721

Cuadro 5. Balance Hídrico en el cultivo de caña de azúcar en el área de abastecimiento del Ingenio Pujiltic, Chiapas.

Parcela	Periodo	Fechas de Riego	Tiempo (h)	Gasto (L/s)	Lámina de riego (mm)	Lámina total (mm)	Requerimiento de riego (mm)	Déficit o exceso (mm)
José Álvarez Aguilar	Crecimiento	03/03/2011	24	43.65	75.43		64.55	-10.78
		13/04/2011	24	48.09	83.10	233.96	60.91	-22.19
		13/05/2011	24	43.65	75.43		90.45	15.02
	Sazonado y Madurez	T5:11/12/2011	13	31.76	16.93	16.8	66.57	0.29
		T4:25/12/2011	8.5	22.11	15.41	32.3	66.57	-1.23
		T3:10/01/2012	11	23.58	15.96	32.8	23.20	0.88
		T2:29/01/2012	9	19.30	12.41	29.3	23.20	-2.55
		T1:10/02/2012	5.5	28.27	10.66	27.5	31.13	-1.79

Para la Mesilla es importante que este riego se realice en la etapa de crecimiento, es un período crítico de la demanda de agua que ocasiona reducción en el rendimiento de caña y en la concentración de la sacarosa, tal como lo observó Ramesh, (2000).

5.2.2. Efecto de la suspensión de riego sobre grados Brix y humedad del suelo

A partir de los 290 días del ciclo se inició la suspensión del riego y la medición de la humedad del suelo (Cuadro 5 y Figura 12).

El riego del T5 se aplicó a toda la parcela lo que permitió que el contenido de humedad superara la capacidad de campo, de los 300 a 345 días el contenido de humedad fue adecuado, el tallo presentó 24 °Brix a los 330 días; es decir con este tratamiento de suspensión la caña maduró más temprano (Figura 13). A partir de este muestreo se observó una reducción en los grados Brix y el contenido de humedad llegó al PMP, previo a la cosecha se observaron agrietamientos en el suelo.

El T4 se inició a los 305 días, aun cuando el suelo tenía exceso de humedad, el cual se prolongó hasta los 323 días cuando alcanzó la humedad a CC, a partir de este momento la humedad del suelo se fue reduciendo hasta los 360 días en que llegó a PMP, por lo que se puede afirmar que este tratamiento no produjo déficit hídrico y fue benéfico para el sazonado y madurez de la caña de azúcar (Inman-Bamber et al., 2012).

El T3 se aplicó a los 320 días, a pesar que el contenido de humedad se redujo a partir de los 300 días, este no llegó a la HC, por lo tanto el cultivo no se estresó por déficit hídrico, con la aplicación del riego el contenido de humedad superó la CC, posteriormente el contenido de humedad fue disminuyendo sin provocar estrés al cultivo y llegó a la HC a los 360 días. Por el contenido de humedad elevado, el proceso de sazonado y madurez fue lento; alcanzando los 23 °Brix a los 345 días, los cuales aumentaron hasta los 24 °Brix al momento de la cosecha.

El T2 se aplicó a los 335 días, se observa que de 300 a 335 días en que se aplicó el último riego, el contenido de humedad disminuye presentando los valores menores de humedad en el suelo, pero sin llegar a la HC, con el riego la humedad se incrementó superando la CC. Al momento de la cosecha el suelo tenía humedad. La reducción en el contenido de humedad aceleró el proceso de sazonado y madurez, a los 315 días el cultivo tenía 23 °Brix. Dado que el contenido de humedad continuó disminuyendo, redujo los grados Brix a 21, a los 330 días, lo cual indica que el cultivo en su etapa final

de maduración la humedad del suelo, induce nuevo crecimiento (Lingle et al., 2010). Con la aplicación del riego los grados Brix se incrementan, llegando al momento de la cosecha a 25 °Brix.

El T1 se aplicó a los 350 días, el riego aplicado a todas las parcelas a los 300 días mantuvo la humedad en el rango óptimo llegando a HC a los 335 días. A partir de este momento, la humedad se redujo llegando a PMP a los 345 días provocando estrés hídrico en el cultivo, después del riego a los 350 días el contenido de humedad se incrementó superando la CC a los 360 días. El riego que se suspendió el 13 de noviembre estresó al cultivo y lo llevó a incrementar los grados Brix a 21. Con el riego de los 290 días, se observó la reducción a 19 °Brix a los 300 días. Conforme se va perdiendo la humedad del suelo los grados Brix aumentaron hasta 24 a los 330 días, los que se mantienen hasta la cosecha.

5.2.3. Efecto de la suspensión en la calidad del jugo y el rendimiento de caña de azúcar

En el Cuadro 6, se presentan los resultados de la calidad de los jugos y rendimientos de la caña de azúcar por cada tratamiento. No se observaron diferencias significativas para grados Brix, Sacarosa, humedad, fibra, daño por barrenador y rendimiento de caña. Lo que indica que no hubo efecto de los tratamientos de suspensión del riego previo a la cosecha. Dado el impacto que tienen en el precio de la caña de azúcar algunas de estas variables se hace una interpretación de las tendencias observadas.

El T5 presentó un índice de madurez de 4 e indica que la caña no está madura, y los azúcares reductores tienen el nivel más alto. La pureza es alta y el contenido de sacarosa en jugo es de 11.80% que es considerado bajo. El rendimiento experimental fue de 129 tha^{-1} , que resultó menor que el rendimiento comercial de caña cosechada (132 tha^{-1}). Es claro mencionar que este tratamiento fue el que mostró los niveles más bajos en la calidad de los jugos y se pudo deber al estrés hídrico que sufrió al suspenderle el agua 75 días antes de la cosecha; por lo que el estrés hídrico causa daños importantes en el procesos fisiológicos y metabólicos de las plantas, resultando en una reducción en la calidad de los jugos (Pimentel, 2004; Taiz y Zeiger, 2004), por lo que no es recomendable para la región de la Mesilla.

Cuadro 6. Calidad del jugo y rendimiento de caña de azúcar. Parcela de José Álvarez Aguilar. Ingenio Pujiltic

Tratamiento	Peso (kg)	Grados Brix	Sacarosa (%)	Pureza (%)	Humedad (%)	Azúcares Reductores (%)	Fibra (%)	Índice de Madurez	Daño de Barrenador (%)	Rendimiento (ton/ha)
1 (15 días)	2.37a	15.62a	14.00a	89.71ab	69.72a	0.29a	12.66a	7.15ab	6.84a	115.92a
2 (30 días)	2.55a	14.99a	13.89 ^a	92.69a	69.87a	0.22a	12.79a	8.70 ^a	5.86a	116.03a
3 (45 días)	2.42a	15.62a	13.72 ^a	87.92ab	69.50a	0.30ab	13.07a	6.59ab	4.81a	127.63a
4 (60 días)	2.45a	13.90a	12.57 ^a	90.52ab	70.52a	0.27b	12.80a	6.65ab	7.56a	121.87a
5 (75 días)	2.35a	13.69a	11.80 ^a	86.05b	70.45a	0.47a	12.70a	4.39b	7.72a	129.50a
Media	2.43	14.77	13.19	89.38	70.01	0.31	12.80	6.70	6.56	122.19
CV(%)	4.99	12.43	12.55	3.19	1.67	27.16	4.79	26.77	35.11	12.48
Prob. de f	0.22	0.44	0.30	0.05	0.67	0.01	0.88	0.06	0.38	0.61
MSD	0.27	4.13	3.73	6.44	2.64	0.19	1.38	4.04	5.19	34.38

Rendimiento comercial = 132 ton/ha

El T4, suspensión del riego 60 días antes de la cosecha, mostró un índice de 6, indicativo de la madurez del cultivo y esta se refleja en los azúcares reductores que fueron cercanos a cero. La pureza es alta y el contenido de sacarosa en jugo es de 12.80% y los grados Brix de 13.90, considerados normales con respecto a los otros tratamientos. La pérdida del contenido de humedad favoreció el contenido de sacarosa en la caña de azúcar. Pero, el rendimiento de caña se redujo a 121 tha⁻¹, que resultó menor que el rendimiento del T5 y del comercial (132 tha⁻¹). Por lo que no se recomienda para la zona de la Mesilla.

T3 suspensión de riego 45 días antes de la cosecha fue uno de los mejores tratamientos y alcanzó un índice de madurez de 6, la caña se considera madura y esta se refleja en los reductores que son cercanos a cero. La pureza es alta y el contenido de sacarosa en jugo es de 13.72% considerado óptimo y los grados Brix de 15.62 son considerados altos. Es importante mencionar que los niveles de calidad de jugos de este tratamiento son adecuados y que el contenido de humedad del suelo favoreció el rendimiento del cultivo (Lingle *et al.*, 2010) sin que este se estresara alcanzando un rendimiento experimental de 127 tha⁻¹ que resultó menor que el rendimiento comercial de caña cosechada (132 tha⁻¹). Por ello, se recomienda que la suspensión del riego para la Mesilla se inicie 45 días antes de la cosecha.

T2 aunque el contenido de humedad del suelo estaba en CC, este mantuvo el máximo nivel del índice de madurez de 8, la caña se considera madura y se reflejó en los reductores. La pureza fue alta y el contenido de sacarosa en jugo fue de 13.89% es considerado normal y los grados Brix de 14.99 son considerados óptimos. Debido a que el suelo contenía humedad por la suspensión del riego a los 30 días antes de la cosecha, en su etapa final de maduración del cultivo, este induce nuevo crecimiento (Pimentel, 2004) y aunque no se vea reflejado en la calidad de los jugos, si se ve afectado en la disminución del rendimiento (Taiz y Zeiger, 2004). Por ello, no se considera recomendable para la Mesilla regar 30 días antes de la cosecha

El T1 aplicación de riego 15 días antes de la cosecha, presentó una disminución en el contenido de humedad del suelo a los 345 días que llegó a PMP antes de la suspensión del riego; la cual no afectó la calidad de los jugos, y presentó un índice de madurez de 7.

La caña se considera madura, por ello los reductores fueron cercanos a cero. La pureza fue alta, 14.0% de sacarosa en jugo y 15.62 .Brix, valores mayores en comparación de los otros tratamientos. Con la aplicación del riego, el contenido de humedad del suelo fue arriba de CC al momento de la cosecha, reduciendo el rendimiento experimental a 115 tha^{-1} , que resultó menor que el rendimiento comercial (132 tha^{-1}). Los excesos de lluvia durante el periodo de crecimiento y la carencia de un sistema de drenaje, fueron una limitante para lograr mayor rendimiento de caña de azúcar en esta parcela (Viator *et al.*, 2012). Sin embargo, para mantener y aumentar más los rendimientos es necesario establecer un sistema de drenaje superficial construyendo los drenes cada 18 surcos (Mendoza *et al.*, 2003), esto por la topografía del terreno.

5.3. Parcela 3: Sr. Juan Jiménez Zepeda

5.3.1. Balance Hídrico

El suelo de esta parcela es un Gleysol mólico cultivado con la variedad Mex 69-290 de madurez media a tardía y fue programada para ser cosechada el 15 de marzo de 2012. Durante su ciclo de crecimiento recibió 1049 mm de precipitación (Cuadro 1), 109.0 mm de agua aplicada en dos riegos de auxilio durante los meses de marzo y abril (Cuadro 7) y 18.5 a 38.5 mm de lámina de agua aplicada a los tratamientos de suspensión de riego. La suma total del riego y la precipitación fluctúa de 1,176.5 a 1,196.5 mm según los tratamientos de suspensión del riego (Cuadro 7), lo cual no satisface los requerimientos hídricos de 1303.61 mm que necesita el cultivo para su crecimiento normal, en la Mesilla, en base a los cálculos realizados en este estudio.

En el Cuadro 1 se observa que los riegos aplicados superan las necesidades hídricas del cultivo en los meses de junio, agosto y septiembre, lo cual indica que el cultivo se estresa por exceso de agua en su etapa de crecimiento. En este periodo el cultivo permaneció inundado lo que provocó la muerte de la cepa de caña; lo anterior, demuestra la necesidad de establecer el drenaje superficial. Por el contrario en el mes de enero el requerimiento de agua fue insuficiente, lo cual indica que el cultivo se estresó por déficit de agua.

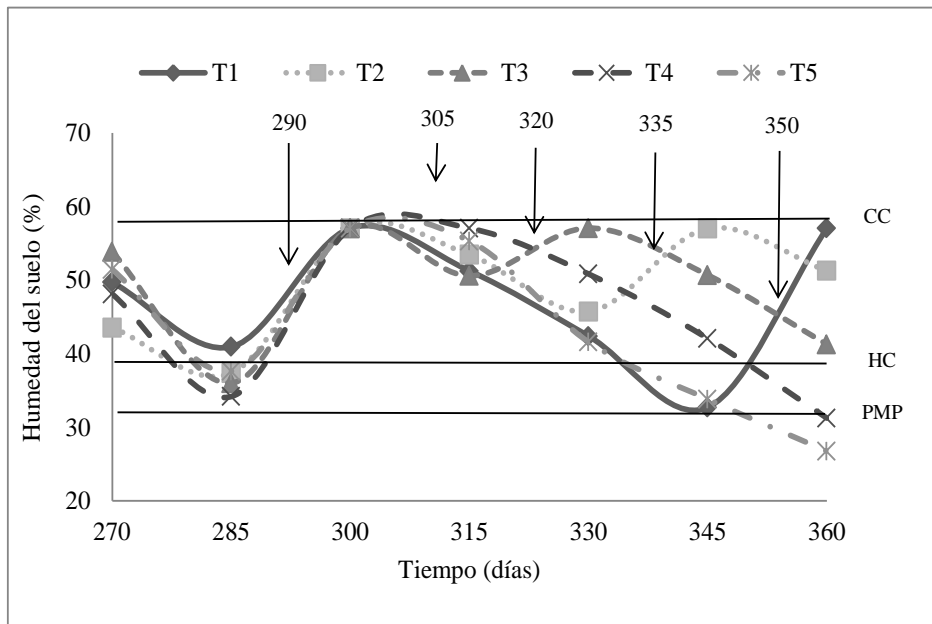


Figura 14. Humedad del suelo Gleysol mólico cultivado con la variedad Méx 69-290. Parcela de Juan Jiménez Zepeda. Ingenio Pujiltilic

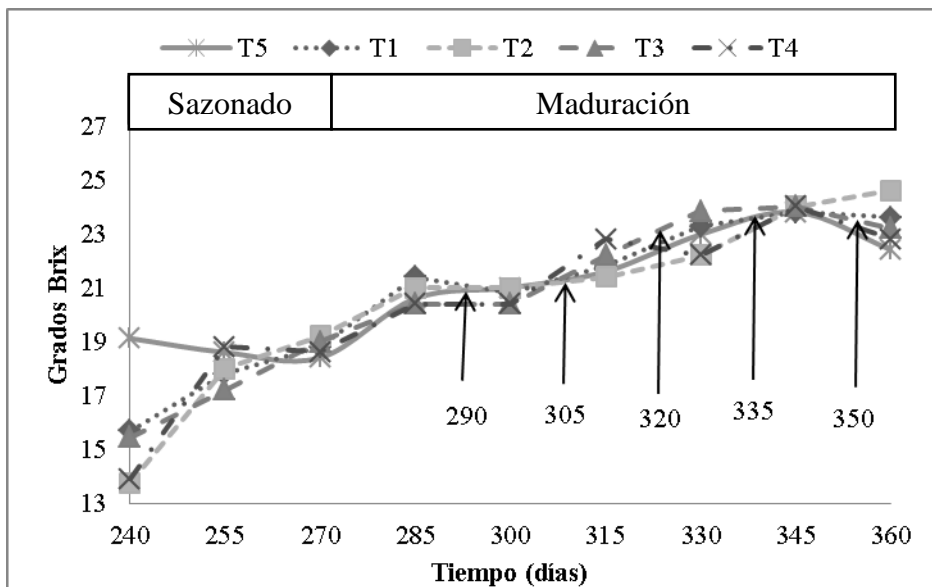


Figura 15. Evolución de los grados Brix de la variedad Mex 69-290 cultivada en el Gleysol mólico. Parcela de Juan Jiménez Zepeda. Ingenio Pujiltilic.

Cuadro 7. Balance Hídrico en el cultivo de caña de azúcar en el área de abastecimiento del Ingenio Pujilic, Chiapas.

Parcela	Periodo	Fechas de Riego	Tiempo (h)	Gasto (L/s)	Lámina de riego (mm)	Lámina total (mm)	Requerimiento de riego (mm)	Déficit o exceso (mm)
Juan Jiménez Zepeda	Crecimiento	03/03/2011	12	43.65	59.17	109.06	58.84	-0.33
		13/04/2011	12	48.09	49.89		62.75	12.86
	Sazonado y Madurez	T5:01/01/2012	8	28.27	18.50	18.50	23.46	4.96
		T4:16/01/2012	9	22.11	16.28	34.78	23.46	-11.32
		T3:31/01/2012	10	12.33	10.08	28.58	23.46	-5.12
		T2:15/02/2012	10	12.33	5.99	24.49	26.47	1.98
		T1:01/03/2012	13	31.76	20.08	38.58	51.85	13.27

Cuadro 8. Calidad del jugo y rendimiento de caña de azúcar. Parcela de Juan Jiménez Zepeda. Ingenio Pujilic

Tratamiento	Peso (kg)	Grados Brix	Sacarosa (%)	Pureza (%)	Humedad (%)	Azúcares Reductores (%)	Fibra (%)	Índice de Madurez	Daño por Barrenador (%)	Rendimiento (ton/ha)
1 (15 días)	11.45a	14.08a	12.57a	89.65a	69.90a	0.21 ^a	11.69a	8.42a	2.64a	77.25a
2 (30 días)	11.40a	15.42a	13.73a	89.22a	69.90a	0.25 ^a	12.61a	7.86a	1.81a	70.66a
3 (45 días)	12.37a	14.28a	12.85a	89.98a	70.25a	0.22 ^a	12.56a	8.24a	1.98a	92.14a
4 (60 días)	12.07a	15.15a	13.61a	89.80a	70.52a	0.34 ^a	11.86a	6.12a	1.68a	85.84a
5 (75 días)	12.87a	13.19a	12.15a	92.48a	70.90a	0.23 ^a	11.67a	7.63a	1.47a	76.77a
Media	12.03	14.42	12.98	90.23	70.29	0.25	12.08	7.65	1.92	80.53
CV(%)	12.3	10.51	9.29	4.00	1.88	23.31	6.40	22.02	50.75	12.94
Prob. de f	0.59	0.29	0.34	0.73	0.79	0.05	0.27	0.36	0.52	0.08
MSD	3.33	3.41	2.72	8.14	2.98	0.13	1.71	3.80	2.19	23.50
Rendimiento comercial = 67 ton/ha										

Para hacer más eficiente el agua de riego, se deben aplicar 4 riegos durante este periodo con una lámina de riego de 27.26 mm, lo que implica regar cada 15 días. Así mismo el agua sería retenida por el suelo y aprovechada por el cultivo disminuyendo los riegos de estrés hídrico y evitaría la pérdida de algunos elementos del suelo, tal como lo indican Smit y Singels (2006). A partir del mes de mayo a octubre de 2011, se presentó la época de lluvias acumulándose un total de 880 mm. En este periodo el Método de Blaney y Criddle indica excesos de agua para el cultivo (Cuadro 1). De noviembre a diciembre de 2011, llovieron 24.3 mm. En la Figura 14, se presentan los datos de humedad a CC (58.30%), HC (38.60%) y a PMP (32.00%).

Este suelo aporta 19.7 % de humedad aprovechable, la cual es menor tomando como referencia la parcela de la Sra. Ángela Rodríguez Muñoz, ya que este suelo al retener más agua, proporciona al cultivo menor cantidad de agua aprovechable. Los datos de humedad del suelo, a partir de los 285 días indican una reducción en el contenido de humedad del suelo, en algunos tratamientos disminuyó por abajo de la HC, lo cual causa estrés hídrico al cultivo de caña (Inman-Barber y Smith 2005).

5.3.2. Efecto de la suspensión de riego sobre grados Brix y humedad del suelo

A partir de los 290 días se inició la aplicación de los tratamientos de suspensión del riego y la medición de la humedad del suelo (Cuadro 7 y Figura 14).

El riego del T5 se aplicó a toda la parcela lo que permitió que el contenido de humedad superará la capacidad de campo, de los 300 a 345 días el contenido de humedad fue adecuado y el tallo presentó 24 °Brix a los 345 días; es decir este tratamiento de suspensión del riego alcanzó su máximo maduración en este muestreo (Figura 15). A partir de los 345 días se observó una reducción en los grados Brix y el contenido de humedad llegó a PMP, previo a la cosecha se observó estrés hídrico en la planta y pequeñas grietas en el suelo. El estrés hídrico se caracteriza por los síntomas de torcedura de las hojas, cierre de los folíolos, y si el déficit es severo, se observa un cierre total de la hoja (Rao et al 2005).

El T4 se aplicó a los 305 días, aun cuando el suelo tenía exceso de humedad y esta se mantuvo hasta los 319 días cuando alcanzó la humedad a CC, a partir de este momento la humedad del suelo fue disminuyendo hasta los 360 días que llegó por debajo de PMP

y por ello se puede afirmar que este tratamiento manifestó déficit hídrico y fue benéfico para el sazonado y madurez de la caña de azúcar (Inman-Bamber, et al., 2012).

El T3 se aplicó a los 320 días, aunque el contenido de humedad se redujo a partir de los 300 días, este no llegó a la HC, por lo tanto el cultivo no sufrió estrés hídrico con la aplicación del riego a los 320 días y el contenido de humedad superó la CC, el contenido de humedad fue disminuyendo sin provocar déficit hídrico al cultivo y sin llegar a HC antes de los 360 días. Este contenido de humedad elevado interrumpió el proceso de sazonado y madurez (Singels, et al., 2012); el cual se caracterizó por ser lento y con contenidos variables de grados Brix, finalmente se cuantificaron 23 °Brix al momento de la cosecha.

El T2 se aplicó a los 335 días, se observó que de los 300 a 335 días en que se aplicó el riego, el contenido de humedad va disminuyendo mostrando los valores menores de humedad en el suelo, pero sin llegar a HC, con el riego la humedad se incrementó superando la CC. Con el riego a los 290 días, se observó una disminución a 21 grados Brix a los 300 días. En la medida que el contenido de humedad del suelo va disminuyendo los grados Brix comienzan a incrementarse a partir de los 315 días. Al momento de la cosecha el suelo contenía humedad; esta no disminuyó los grados Brix, por el contrario, continuo el aumento alcanzando su máximo de 25 °Brix al momento de la cosecha.

El T1 se aplicó a los 350 días, el riego aplicado a todas las parcelas a los 300 días, mantuvo la humedad en el rango óptimo (Rodríguez et al., 2011), llegando por debajo de HC a los 345 días. A partir de este momento, después del riego a los 350 días el contenido de humedad se incrementó superando la CC a los 360 días. Con el riego de los 290 días, se observó la reducción a 20 grados Brix a los 300 días. Conforme se va perdiendo la humedad del suelo los grados Brix aumentaron hasta 24 a los 345 días, los que se mantienen hasta la cosecha. Esta rápida recuperación de los grados Brix se debe al incremento de las temperaturas observadas en el mes de marzo.

En este suelo, un riego pesado como los que aplica el Sr. Juan Jiménez Zepeda puede mantener agua en el suelo por más de 30 días entre los rangos óptimos CC y HC.

5.3.3. Efecto de la suspensión en la calidad del jugo y el rendimiento de caña de azúcar

En el Cuadro 8 se presentan los resultados de calidad de los jugos y rendimientos de la caña de azúcar por tratamiento. Es claro señalar que no hay diferencias significativas para grados Brix, sacarosa, humedad, fibra, daño por barrenador y rendimiento de caña. Lo que indica que no hubo efecto de los tratamientos de suspensión del riego previo a la cosecha. Debido al impacto que tienen en el precio de la caña de azúcar algunas de estas variables se hace una interpretación de las tendencias observadas.

El T5, suspensión del riego 75 días antes de la cosecha, presentó un índice de madurez de 7 lo que indica que la caña está madura, por ello los reductores son cercanos a cero. La pureza es la más alta y el contenido de sacarosa en jugo es de 12.15%, considerado el más bajo. El rendimiento experimental fue de 76 tha^{-1} , que resultó considerablemente alto en relación al rendimiento comercial de caña cosechada (67 tha^{-1}). Los bajos rendimientos observados en esta parcela se deben al exceso de humedad ocurrido en el periodo de junio, agosto y septiembre, que redujo la población y el diámetro de los tallos de caña, tal como lo observaron Viator et al., (2012). Por el bajo rendimiento de caña observado, no es recomendable suspender el agua 75 días antes de la cosecha en la zona de Reforma.

El T4, suspensión del riego 60 días antes de la cosecha, mostró un índice de 6, indicativo de la madurez del cultivo, y los reductores fueron cercanos a cero. La pureza considerada alta y el contenido de sacarosa en jugo fue de 13.61% y los grados Brix de 15.15 es considerado alto. La pérdida del contenido de humedad en el suelo permitió una acumulación normal de sacarosa en la caña de azúcar y no mostró estrés hídrico al momento de la cosecha del cultivo y si benéfica para la acumulación de sacarosa (McCormick, et al., 2008). El rendimiento de caña fue de 85 tha^{-1} , que resultó mayor que el rendimiento del T5 y del comercial (67 tha^{-1}). Este rendimiento pudiese ser mayor, pero fue afectado por los excesos de humedad ocurridos en su etapa de crecimiento en los meses de junio a octubre y por la falta de programación de cosecha de las parcelas vecinas que impidieron el riego eficiente. Por la capacidad del suelo Gleysol de retener humedad recomendamos la suspensión del riego 2 meses antes de la cosecha en el ejido Reforma del Ingenio de Pujilic.

T3 suspensión de riego 45 días antes de la cosecha, alcanzó un índice de madurez de 8, considerada alta respecto a los otros tratamientos y esta se refleja en los reductores que son los más cercanos a cero. La pureza es alta y el contenido de sacarosa en jugo es de 12.85% considerado óptimo y 14.28 °Brix, valores considerados normales. El contenido de humedad del suelo al momento de la cosecha estuvo a CC y no es favorable para la cosecha a pesar que este mostró el rendimiento experimental más alto 92 tha^{-1} . Ya que la maquinaria puede causar daño a la cepa y provocar compactación en el suelo (Salgado et al., 2000). De efectuarse el drenaje superficial, sería recomendable para la esta zona de Reforma del Ingenio Pujiltic, suspender el riego 45 días antes de la cosecha, ya que los Gleysoles retienen mucha humedad.

T2 suspensión del riego 30 días antes de la cosecha cuando el contenido de humedad en el suelo estaba en CC, este obtuvo un índice de madurez de 7; es decir, la caña se considera madura y con bajos reductores. Posiblemente este proceso sea favorecido, ya que en marzo las temperaturas aumentan. La pureza fue alta y el contenido de sacarosa en jugo es de 13.73% considerado el valor mas alto al igual que los grados Brix de 15.42. Debido a que el suelo contenía humedad por la suspensión del riego 30 días antes de la cosecha, en su etapa final de maduración del cultivo, este induce nuevo crecimiento y aunque no se vea reflejado en la calidad de los jugos (Lingle et al., 2010), si se reflejó en la reducción del rendimiento de caña (70 tha^{-1}), que resultó muy similar al rendimiento comercial de caña cosechada (67 tha^{-1}). La humedad del suelo puede dificultar las labores de cosecha y causar destrozos al surco de caña (Salgado et al., 2000). Por ello, no se considera recomendable para la esta zona de Reforma del Ingenio Pujiltic, regar 30 días antes de la cosecha

El T1 donde se aplicó riego 15 días antes de la cosecha, presentó una disminución en el contenido de humedad del suelo a los 345 días que llegó a PMP antes de la suspensión del riego; la cual no afectó la calidad de los jugos con un índice de madurez de 8. La caña se considera madura por ello los reductores fueron cercanos a cero. La pureza es alta, 12.57% de sacarosa en jugo y 14.08 °Brix. Con la aplicación del riego a los 350 días, el contenido de humedad del suelo se incrementó a CC al momento de la cosecha, con un rendimiento experimental de 77 tha^{-1} , que resultó mayor que el rendimiento comercial de caña cosechada (67 tha^{-1}). Los excesos de lluvia durante el periodo de crecimiento y la carencia de un sistema de drenaje son una limitante para lograr mayor

rendimiento de caña y calidad de los jugos, ya que el estrés hídrico por excesos de humedad en el suelo es considerado el segundo factor del medio ambiente limitativo de la producción de caña de azúcar (Silva et al., 2008). Es por ello que para lograr aumentar más los rendimientos es necesario establecer un sistema de drenaje superficial construyendo los drenes cada 18 surcos. Por el destrozo del campo cañero, la compactación del suelo, y los bajos rendimientos de caña no se recomienda regar 15 días antes de la cosecha.

5.4. Parcela 4: Sr. Miguel Ángel Gordillo Cautiño

5.4.1. Balance hídrico

El suelo Gleysol mólico de esta parcela está cultivado con la variedad Mex 69-290 de madurez media a tardía y fue programada para ser cosechada el 5 de abril de 2012. Durante su ciclo de crecimiento recibió 1049 mm de precipitación (Cuadro 1), una lámina de 391.58 mm de agua aplicada en seis riegos de auxilio durante los meses de abril a noviembre (Cuadro 9) y 16.05 a 35.49 mm de lámina de agua aplicada a los tratamientos de suspensión de riego. La suma total del riego y la recibida por precipitación en el cultivo fluctúa de 1456.93 a 1476.37 mm, según los tratamientos de suspensión del riego (Cuadro 9); lo cual no satisface los requerimientos hídricos de 1500 mm que necesita para su crecimiento normal el cultivo de caña (Salgado et al., 2012).

En el Cuadro 9 se observa que los riegos aplicados superan las necesidades hídricas del cultivo en los meses de junio, agosto y diciembre, lo cual indica que el cultivo se estresa por exceso de agua en su etapa de crecimiento. Por el contrario, en el mes de octubre a noviembre el requerimiento de agua fue insuficiente, lo cual indica que el cultivo se estresó por déficit hídrico. Es por ello, que para mejorar la eficiencia del agua de riego, se pueden aplicar doce riegos durante este periodo con una lámina de riego de 32.6 mm, lo que implica regar cada 15 días. Así mismo el agua sería retenida por el suelo y aprovechada por el cultivo disminuyendo el estrés hídrico y evitaría la pérdida de algunos nutrientes del suelo, tal como lo indican Smit y Singels (2006).

Cuadro 9. Balance Hídrico en el cultivo de caña de azúcar en el área de abastecimiento del Ingenio Pujiltic, Chiapas.

Parcela	Fechas de Riegos	Tiempo (h)	Gasto (L/s)	Lámina de riego (mm)	Lámina total (mm)	Requerimiento de riego (mm)	Déficit o exceso (mm)
Miguel Ángel Gordillo Cautiño	25/04/2011	24	19.39	54.57		62.75	8.18
	10/06/2011	24	25.16	70.79		-55.46	-126.25
	10/08/2011	24	25.16	70.79	391.58	-2.16	-72.95
	13/10/2011	24	25.16	43.47		46.03	2.56
	13/11/2011	24	22.16	62.37		83.46	21.08
	09/12/2011	24	31.83	89.59		73.62	-15.97
	T5:22/01/2012	20	22.11	16.05	16.05	23.46	7.41
	T4:06/02/2012	9	19.3	14.97	31.02	26.47	-4.55
	T3:21/02/2012	10	12.33	10.63	26.68	26.47	-0.21
	T2:07/03/2012	7	31.76	17.80	33.85	51.85	18.00
T1:22/03/2012	9	25.06	19.44	35.49	51.85	16.36	

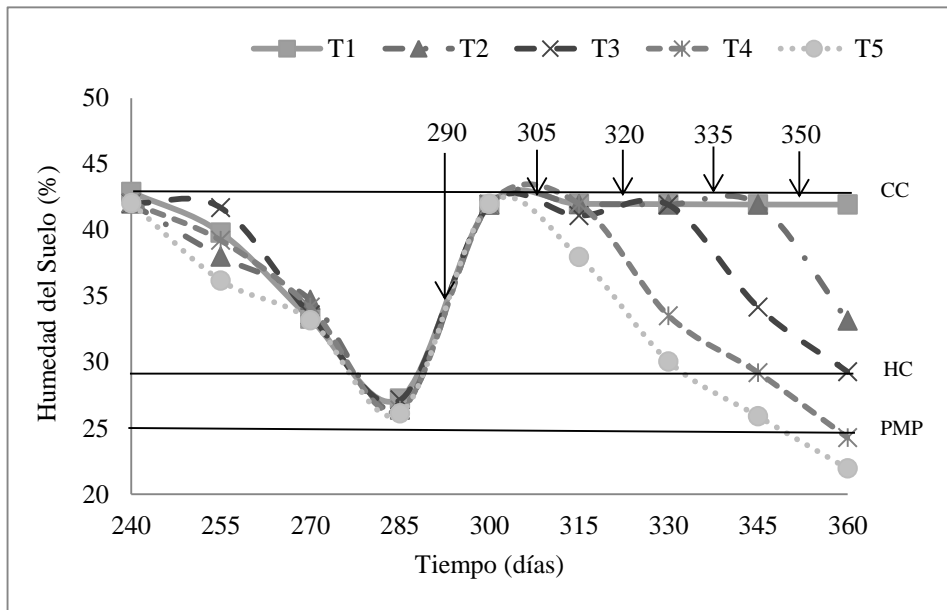


Figura 16. Humedad del suelo de la variedad Méx 69-290 cultivada en el Gleysol mólico. Parcela Miguel Ángel Gordillo Cautiño. Ingenio Pujilic.

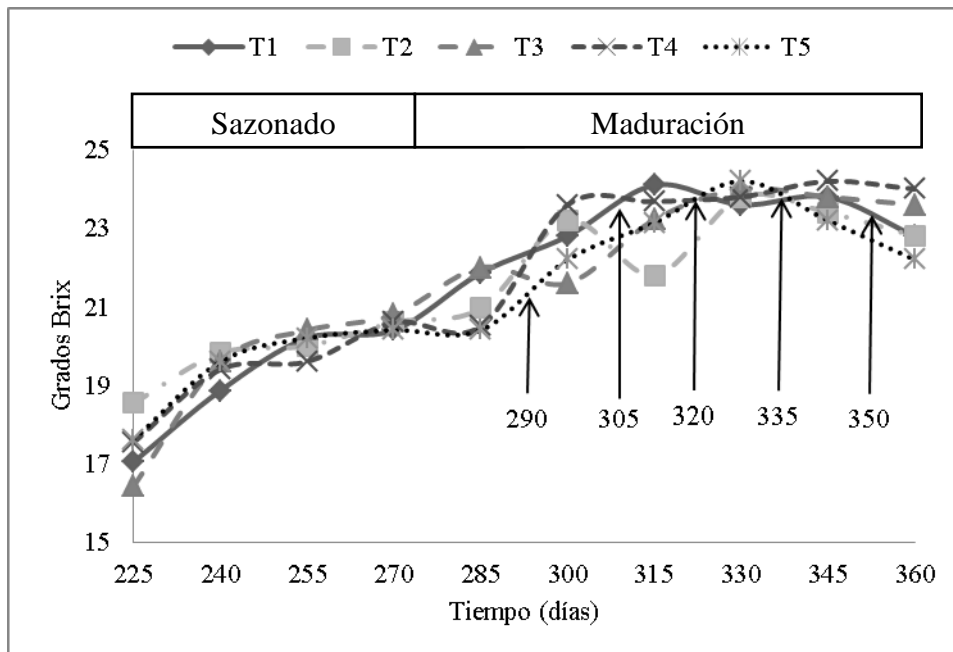


Figura 17. Grados Brix de la variedad Mex 69-290 cultivada en el Gleysol mólico. Parcela Miguel Ángel Gordillo Cautiño. Ingenio Pujilic.

de mayo a octubre de 2011, se presentó la época de lluvias acumulándose un total de 880 mm, el Método de Blaney y Criddle indica excesos de agua para el cultivo (Cuadro 1); de noviembre a diciembre de 2011 llovieron 24.3 mm.

En la Figura 16, se presentan los datos de humedad a CC (42.90%), HC (29.30%) y a PMP (25.00%). Es importante mencionar que este suelo aporta solo 13.6% de humedad aprovechable, la cual es inferior tomando como referencia la observada en el Gleysol mólico de la parcela del Sr. Juan Jiménez Zepeda. A los 285 días la humedad del suelo estuvo cercana a PMP, la humedad del último riego de auxilio duró 43 días. Para esta zona de Pujiltic, es importante que los riegos se realicen con menos intervalos de tiempo, ya que el porcentaje de humedad aprovechable es muy baja y se han identificado el crecimiento como un período crítico de la demanda de agua (Ramesh, 2000).

5.4.2. Efecto de la suspensión de riego sobre grados Brix y humedad del suelo

A los 290 días se inició la suspensión del riego y el control de la humedad del suelo (Cuadro 9 y Figura 16).

El T5, se aplicó a toda la parcela lo que permitió que el contenido de humedad superara la CC y a partir de los 300 a 330 días el contenido de humedad llegó a HC, el tallo presentó 24 °Brix como su valor máximo; es decir con este tratamiento de suspensión la caña maduró más temprano (Figura 17), lo cual fue favorecido por el incremento de la temperatura en los meses de marzo y abril (Cuadro 1). A partir de los 330 días, se observó una reducción en los grados Brix hasta alcanzar 22 grados Brix y el contenido de humedad descendió por abajo del PMP, observándose grietas en el suelo antes de la cosecha. En esta época, el Gleysol mólico conserva la humedad del riego durante 30 días. El estrés hídrico en esta etapa induce nuevo crecimiento, como son raíces adventicias, lalas e hijuelos, lo cual no es deseable, porque se remobilizan las reservas del cultivo reduciendo el rendimiento de caña (Silva y Costa, 2004). Es por ello, que no es recomendable suspender el riego a los 75 días previos a la cosecha en esta zona del Ingenio Pujiltic.

El T4 se aplicó a los 305 días cuando el suelo tenía exceso de humedad, el cual se mantuvo hasta los 317 días cuando alcanzó la humedad a CC. Posteriormente la

humedad del suelo fue disminuyendo rápidamente hasta los 345 días que llegó a HC y alcanzando el PMP a los 360 días. La aplicación del primer riego a toda la parcela provocó que el cultivo acelerara su proceso de sazonado y madurez, alcanzando 24 °Brix a los 300 días, con la aplicación del riego a los 305 días, se observó que los grados Brix, se mantuvieron hasta el momento de la cosecha, por lo que se puede afirmar que este tratamiento no produjo déficit hídrico y aunque se aceleró el proceso de sazonado y madurez del cultivo, no se redujeron los grados Brix y por el contrario solo se mantuvieron hasta la cosecha, lo cual fue benéfico para el sazonado y madurez de la caña de azúcar (Inman-Bamber *et al.*, 2012).

El T3 se aplicó a los 320 días, cuando el suelo tenía humedad por encima de CC, debido a los dos riegos aplicados previamente. A partir de los 335 días la humedad disminuyó rápidamente hasta HC, al momento de la cosecha. Los riegos previos interrumpieron el proceso de sazonado y madurez de la Variedad Mex 69-290, que se considera lento; alcanzando su valor máximo de 24 °Brix a los 330 días. Conforme se va perdiendo la humedad del suelo los grados Brix disminuyeron hasta 23 al momento de la cosecha, como producto de este desfase (Bueno *et al.*, 2006). Para esta parcela no se recomienda aplicar riego a los 45 días antes de la cosecha.

El T2 inició a los 335 días, cuando la humedad del suelo estaba arriba de CC por los tres riegos aplicados, se observa que al momento de la cosecha el suelo aún está dentro del rango de CC. Este tratamiento al igual que el T3 se vio afectado por la primera aplicación del riego a toda la parcela, ya que al momento de este riego tenía 23 °Brix y disminuyeron alcanzando 22 °Brix, el cual provocó que el proceso de sazonado y madurez fuera lento; pero con la última aplicación del riego a los 335 días, alcanzó su valor máximo de 24 °Brix y en la medida que el contenido de humedad continuó disminuyendo, redujo los grados Brix a 23 al momento de la cosecha, como respuesta a estas alteraciones en el proceso de sazonado y madurez (Angelocci, 2002) de la variedad Mex 69-290. Es por ello, que no se recomienda la aplicación del riego a los 30 días antes de la cosecha.

El T1 aplicado a los 350 días, mantuvo la humedad del suelo por encima de CC al momento de la cosecha, esta forma de regar va en contra del proceso de sazonado y madurez del cultivo de caña, de acuerdo a este proceso, el cultivo de caña alcanza su máximo crecimiento en el décimo mes del ciclo, y a partir de este momento, el cultivo

inicia un procesos de senescencia donde va perdiendo humedad para acelerar el proceso de acumulación de sacarosa en el tallo. A los 315 días se alcanzó el valor máximo de 24 grados Brix, lo que indica que la variedad Mex 69-290 cultivada en el Gleysol mólico tiene un comportamiento de madurez media. De este periodo a la cosecha, los grados disminuyeron hasta alcanzar los 22 °Brix. La humedad excesiva está considerada como la segunda causa principal del medio ambiente que limita la producción de caña de azúcar (Silva *et al.*, 2008). Es por ello que no se recomienda la aplicación de riego 15 días antes de la cosecha. Es importante mencionar que el terreno no se vio afectado por las labores de cosecha.

5.4.3. Efecto de la suspensión en la calidad del jugo y el rendimiento de caña de azúcar

En el Cuadro 10 se presentan los resultados de la calidad de los jugos y rendimientos de la caña de azúcar por cada tratamiento. No se observaron diferencias significativas para grados Brix, sacarosa, humedad, fibra, daño por barrenador y rendimiento de caña. Lo que indica que no hubo efecto de los tratamientos de suspensión del riego previo a la cosecha. Por la importancia que tienen en el precio de la caña de azúcar, se hace una interpretación de las tendencias observadas para algunas de estas variables.

El T5 presentó un índice de madurez de 6, lo que indica que la caña está madura y con reductores cercanos a cero. La pureza es alta, el contenido de sacarosa en jugo es de 12.56% y 14.75 °Brix. El rendimiento experimental fue de 103 tha^{-1} , que resultó superior al rendimiento comercial de caña cosechada (97.4 tha^{-1}). T5 fue el tratamiento que más estrés hídrico manifestó pero mantuvo los valores óptimos de la calidad de los jugos, una posible explicación a este hecho puede ser la tolerancia al estrés hídrico que algunas variedades presentan (Angelocci, 2002). Por el bajo rendimiento obtenido y el estrés a que se somete al cultivo, no es recomendable para esta zona del Ingenio Pujilic suspender el riego 75 días previos a la cosecha.

Cuadro 10. Calidad del jugo y rendimiento de caña. Parcela de Miguel Ángel Gordillo Cautiño. Ingenio Pujiltilic, Chiapas.

Tratamiento	Peso (kg)	Grados Brix	Sacarosa (%)	Pureza (%)	Humedad (%)	Azúcares Reductores (%)	Fibra (%)	Índice de Madurez	Rendimiento (ton/ha)
1 (15 días)	12.43 ^a	15.46a	12.96a	83.57a	70.58a	0.27a	12.20 ^a	6.90a	109.63a
2 (30 días)	13.28 ^a	13.67a	11.77a	86.16a	69.88a	0.29a	12.43 ^a	5.91a	103.31a
3 (45 días)	12.99 ^a	13.14a	11.71a	89.31a	70.70a	0.31a	12.64 ^a	5.43a	111.34a
4 (60 días)	12.95 ^a	14.89a	12.82a	85.98a	69.40a	0.31a	12.85 ^a	6.17a	116.52a
5 (75 días)	13.08 ^a	14.75a	12.56a	85.29a	69.10a	0.31a	12.54 ^a	6.03a	103.31a
Media	12.94	14.38	12.36	86.06	69.93	0.29	12.52	6.08	108.81
CV(%)	6.76	11.17	13.24	6.39	2.02	10.98	7.33	20.07	14.87
Prob. de f	0.72	0.29	0.72	0.68	0.44	0.32	0.88	0.59	0.74
MSD	1.97	3.62	3.69	12.4	3.18	0.07	2.07	2.83	36.48

Rendimiento comercial = 97.4 ton/ha

El T4 suspensión de riego 60 días antes de la cosecha fue uno de los mejores tratamientos de y mostró un índice de 6, indicativo de la madurez del cultivo y esta se refleja en los azúcares reductores que fueron cercanos a cero. La pureza es alta, el contenido de sacarosa en jugo es de 12.82% y los grados Brix de 14.89, considerados óptimos con respecto a los otros tratamientos. La pérdida del contenido de humedad favoreció el contenido de sacarosa y grados Brix en la caña de azúcar sin que el cultivo se estresara (Lingle *et al.*, 2010). Este tratamiento obtuvo el máximo rendimiento de caña (116 tha⁻¹) que resultó mayor que el rendimiento del T5 y del comercial (97.4 tha⁻¹). Dado que la calidad de los jugos son adecuados y que el cultivo de caña no se estresó, se recomienda que la suspensión del riego para la zona del Ingenio Pujiltilic inicie 45 días antes de la cosecha.

T3 donde se suspendió el riego 45 días antes de la cosecha, alcanzó un índice de madurez de 5, la caña se considera madura con reductores cercanos a cero. La pureza fue la más alta pero el contenido de sacarosa en jugo y grados Brix, fueron los más bajos (Cuadro 10). El T3 presentó un rendimiento experimental de 111 tha⁻¹, que resultó mayor que el rendimiento comercial (97.4 tha⁻¹). Este tratamiento se vio afectado por la humedad acumulada de los tratamientos anteriores, presentando bajo contenido de sacarosa, 1% menos que T4 (Inman-Bamber y Smith, 2005). Por ello, no se recomienda la suspensión del riego para esta zona del Ingenio Pujiltilic 30 días antes de la cosecha.

T2 mantuvo el contenido de humedad del suelo a CC, presento un índice de madurez de 5, la caña se considera madura con reductores cercanos a cero. La pureza es alta, el contenido de sacarosa en jugo es de 11.77% considerado bajo, y los grados Brix de 13.67 son considerados óptimos. Debido a que el suelo contenía humedad por la suspensión del riego a los 30 días antes de la cosecha afecto la etapa final de maduración del cultivo, y esto se vio reflejado en el contenido de sacarosa, ya que la humedad del suelo induce a nuevo crecimiento en el cultivo (Salgado *et al.*, 2012). El rendimiento de caña experimental fue 103 tha⁻¹ que resultó mayor que el rendimiento comercial de caña cosechada (97.4 tha⁻¹) La humedad del suelo no permitió una adecuada calidad de los jugos. Por ello, no se considera recomendable para la zona del ingenio Pujiltilic regar 30 días antes de la cosecha.

El T1 donde se aplicó riego 15 días antes de la cosecha con una humedad del suelo por encima de CC y con la humedad acumulada de los riegos anteriores, presento un índice de madurez de 6 considerada madura, lo cual se reflejó en los reductores que fueron cercanos a cero. La pureza fue alta, 12.96% de sacarosa en jugo y 15.46 grados Brix, considerados lo más altos en comparación de los otros tratamientos, aun cuando el cultivo se estreso por excesos de humedad.

El rendimiento experimental fue de 109 tha^{-1} , que resultó mayor que el rendimiento comercial de caña cosechada (97.4 tha^{-1}). Por lo anterior, no se recomienda para la zona de Pujilic aplicar riego 15 días antes de la cosecha. Los excesos de lluvia durante el periodo de crecimiento y la carencia de un sistema de drenaje, fueron una limitante para lograr mayor rendimiento de caña de azúcar en esta parcela (Viator *et al.*, 2012). Para mantener y aumentar los rendimientos es necesario establecer un sistema de drenaje superficial construyendo los drenes cada 18 surcos y así evitar que el cultivo se estrese por excesos de agua en la etapa de crecimiento.

5.5. Parcela 5: Sr. Hipólito Pedrero Alegría

5.5.1. Balance hídrico

Este es un suelo Gleysol mólico cultivado con la variedad Mex 69-290 de madurez media a tardía y fue programada para ser cosechada el 25 de abril de 2012. Durante su ciclo de crecimiento recibió 1049 mm de precipitación (Cuadro 1), 219.0 mm de agua aplicada en tres riegos de auxilio durante los meses de noviembre a enero (Cuadro 11) y 20.11 a 40.60 mm de lámina de agua en promedio en los tratamientos de suspensión de riego. La suma total del riego y la precipitación fluctúa entre 1,288.11 a 1,308.60 mm según los tratamientos de suspensión del riego (Cuadro 11), lo cual no satisface los requerimientos hídricos de 1,303.61 mm que la caña de azúcar necesita para su crecimiento normal, en la zona de Cuatro caminos como lo indican los cálculos hechos en este estudio.

En el Cuadro 1 se observa que los riegos aplicados superan las necesidades hídricas del cultivo en los meses de junio, agosto y septiembre, lo cual indica que el cultivo se estresó por exceso de agua en su etapa de crecimiento. Por el contrario, en los meses de octubre a febrero, se requiere de la aplicación de riego para evitar que el cultivo de caña se estrese.

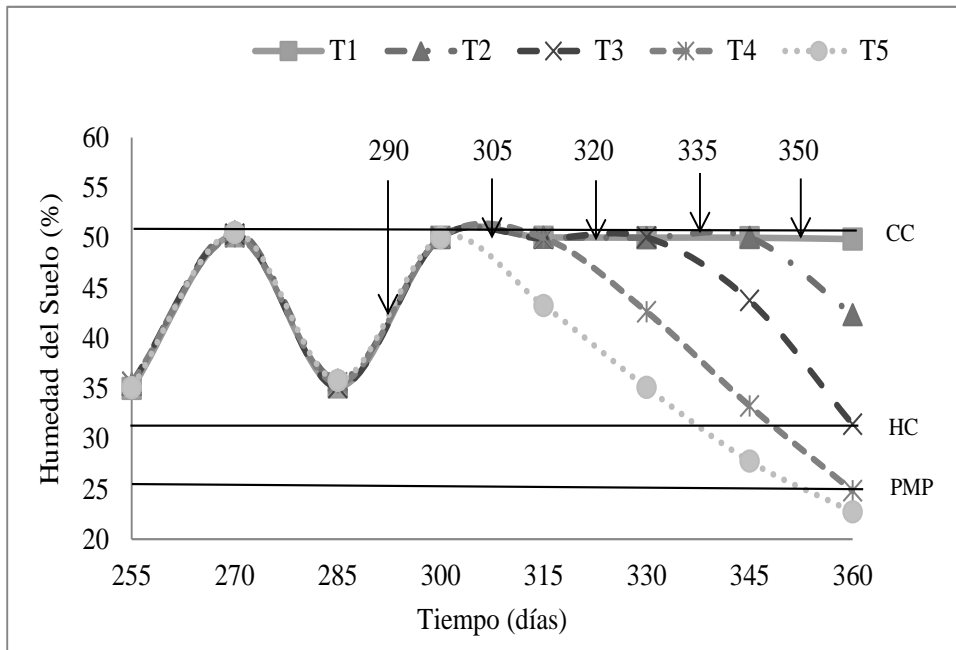


Figura 18. Humedad del suelo de la variedad Méx 69-290 cultivada en el Gleysol mólico. Parcela Hipólito Pedrero Alegría. Ingenio Pujiltilic.

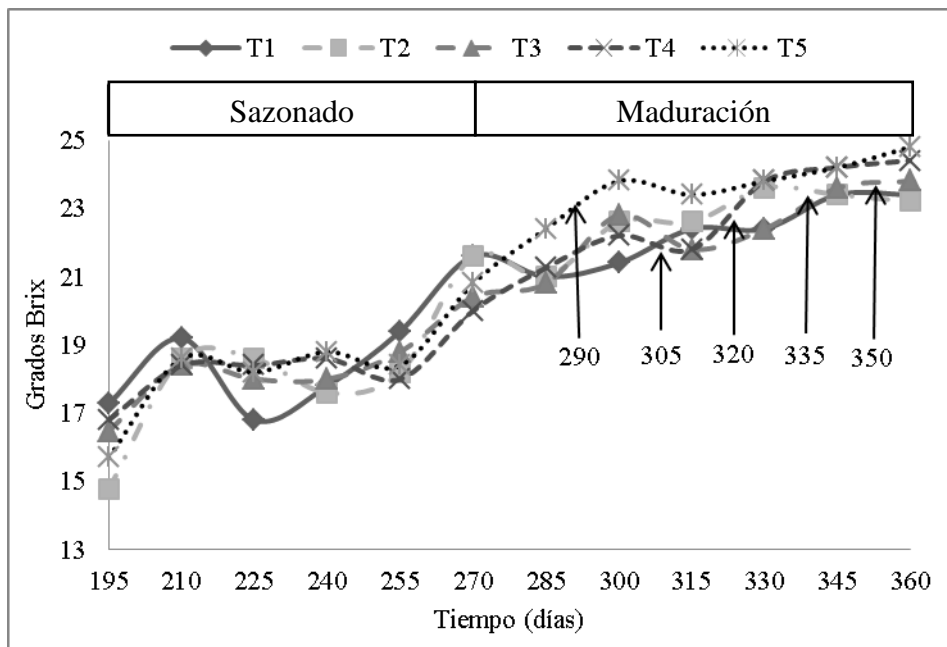


Figura 19. Evolución de los grados Brix de la variedad Mex 69-290 cultivada en el Gleysol mólico. Parcela Hipólito Pedrero Alegría. Ingenio Pujiltilic

Cuadro 11. Balance Hídrico en el cultivo de caña de azúcar en el área de abastecimiento del Ingenio Pujiltic, Chiapas.

Parcela	Fechas de Riego	Tiempo (h)	Gasto (L/s)	Lámina de riego (mm)	Lámina total (mm)	Requerimiento de riego (mm)	Déficit o exceso (mm)	
Hipólito Pedrero Alegría		10/11/2011	24	43.65	75.43	83.46	8.03	
	Crecimiento	10/12/2011	24	39.46	68.19	219.05	73.62	5.43
		10/01/2012	24	43.65	75.43		26.47	-48.96
		11/02/2012	9	52.66	20.11	20.11	26.46	6.35
		26/02/2012	10	19.20	11.35	31.46	26.46	-5.00
	Sazonado y Madurez	12/03/2012	9	31.76	16.81	36.92	51.85	14.93
		27/03/2012	12	22.15	15.64	35.75	51.85	16.10
		11/04/2012	8	43.55	20.49	40.60	52.88	12.28

Cuadro 12. Calidad del jugo y rendimiento de caña de azúcar. Parcela de Hipólito Pedrero Alegría. Ingenio Pujiltilic, Chiapas.

Tratamiento	Peso (kg)	Grados Brix	Sacarosa (%)	Pureza (%)	Humedad (%)	Azúcares Reductores (%)	Fibra (%)	Índice de Madurez	Rendimiento (ton/ha)
1 (15 días)	12.95a	15.15a	12.86a	85.06a	70.28a	0.32 ^a	11.80a	5.98a	112.06a
2 (30 días)	11.05a	14.81a	13.03a	88.14a	69.78a	0.22 ^a	11.95a	8.45a	109.11a
3 (45 días)	12.33a	15.92a	13.20a	88.03a	70.05a	0.22 ^a	12.27a	8.65a	125.99a
4 (60 días)	12.65a	15.66a	12.90a	83.57a	71.02a	0.25 ^a	12.76a	7.38a	123.75a
5 (75 días)	11.75a	14.81a	12.81a	86.58a	70.08a	0.28 ^a	11.31a	6.94a	109.73a
Media	12.15	15.26	12.95	85.27	70.23	0.26	12.01	7.47	116.12
CV(%)	10.61	8.18	6.6	5.47	1.43	21.28	7.04	20.07	15.04
Prob. de f	0.29	0.63	0.96	0.53	0.50	0.12	0.23	0.13	0.51
MSD	2.90	2.82	1.93	10.52	2.27	0.12	1.91	3.38	39.37

Rendimiento comercial = 98.1 ton/ha

Para hacer más eficiente el agua de riego, se pueden aplicar 8 riegos durante este periodo con una lámina de 40.0 mm cada uno, lo que implica regar cada 18 días. Así mismo el agua sería retenida por el suelo y aprovechada por el cultivo estrés hídrico y evitar la lixiviación de nutrientes del suelo, tal como lo indican (Wiedenfled, 2000; Smit y Singels (2006). de mayo a octubre de 2011 se presentó la época de lluvias acumulándose un total de 880 mm; en este periodo el Método de Blaney y Criddle indica excesos de agua para el cultivo (Cuadro 1). Pero de noviembre a diciembre de 2011, llovieron 24.3 mm que resultan insuficientes lo que afecta la etapa final del crecimiento de la caña de azúcar y por ello se aplican los riegos de auxilio (Salgado *et al.*, 2003).

En la Figura 18, se presentan los datos de humedad a CC (50.7%), HC (31.2%) y a PMP (25%). Este suelo retiene 19.5 % de humedad aprovechable, la cual es menor tomando como referencia la parcela de la Sra. Ángela Rodríguez Muñoz. Los datos de humedad del suelo, a partir de los 255 días indican un aumento en el contenido de humedad del suelo por encima de CC, por la última aplicación de riego de auxilio.

5.5.2. Efecto de la suspensión de riego sobre grados Brix y humedad del suelo

A partir de los 290 días se comenzó con la suspensión del riego y se dio inicio a la medición de la humedad del suelo (Cuadro 11 y Figura 18).

El T5 se aplicó a los 290 días y al resto de los tratamientos de suspensión, cuando el contenido de humedad en el suelo se encontraba entre CC y HC por efecto de la última aplicación del riego de auxilio realizada el 10 de enero del 2012. En el tallo se registraron 23 °Brix, el proceso de sazonado y madurez se interrumpió, y se observó que el cultivo fue madurando lentamente, alcanzando los 24 °Brix a los 335 días (Figura 19), favorecido por la disminución del contenido de humedad a HC, tal como lo reportaron Inman-Bamber *et al.*, (2012). Dado que la humedad disminuyó a PMP, al momento de la cosecha se registraron 25 °Brix. Previo a la cosecha se observó estrés hídrico en la planta y pequeñas grietas en el suelo. No es recomendable suspender el riego 75 días antes de la cosecha.

El T4 se aplicó a los 305 días, así como a los tratamientos T3, T2 y T1 de suspensión del riego, aun cuando el suelo tenía exceso de humedad, la que se mantiene hasta los 317 días cuando alcanzo la humedad a CC Este exceso de humedad de 15 días de duración interrumpió el proceso de madurez. A medida que la humedad del suelo disminuye hasta

PMP, la variedad Mex 69-290 se sufre déficit hídrico, lo que favoreció el proceso de sazonado y madurez (Salgado *et al.*, 2012), alcanzando 24.5 °Brix a la cosecha. El Gleysol mólico puede mantener la humedad entre CC y HC de un riego durante 32 días a inicio de marzo y de 30 días después de mediados de marzo, por lo que regar cada 15 días fue perjudicial para el cultivo.

El T3 se aplicó a los 320 días y a los tratamientos T2 y T1 de suspensión del riego, aun cuando el contenido de humedad era superior a CC. A partir de los 335 el contenido de humedad fue disminuyendo hasta alcanzar la HC al momento de la cosecha. Debido al contenido de humedad elevado en el suelo se interrumpió el proceso sazonado y madurez, el comportamiento de los grados Brix fue irregular (Singels *et al.*, 2012), llegando a solo 23 °Brix al momento de la cosecha.

El T2 se aplicó a los 335 días y al T1, aun cuando la humedad acumulada de los riegos anteriores era superior a CC. A partir de los 350 días la humedad del suelo comienza a disminuir, pero manteniéndose cercana a CC al momento de la cosecha. El exceso de humedad interrumpe el proceso de sazonado y madurez de la Variedad Mex 69-290, y el comportamiento de los grados Brix fue irregular (Taiz y Zeiger, 2004), llegando a 22, al momento de la cosecha.

El T1 se aplicó a los 350 días, el Gleysol mólico con riego cada 15 días mantuvo la humedad arriba de CC, lo que ocasiona que la caña no madure (Pimentel, 2004). El comportamiento de los grados Brix fue irregular (Taiz y Zeiger, 2004), llegando a 23, al momento de la cosecha, favorecido por el aumento de las temperaturas abril (Cuadro1).

5.5.3. Efecto de la suspensión en la calidad del jugo y el rendimiento de caña de azúcar

En el Cuadro 8 se presentan los resultados de calidad de los jugos y rendimientos de la variedad Mex 69-290. No se observaron diferencias significativas para grados Brix, sacarosa, humedad, fibra, daño por barrenador y rendimiento de caña. Lo que indica que no hubo efecto de los tratamientos de suspensión del riego previo a la cosecha. Debido al impacto que tienen en el precio de la caña de azúcar alguna de estas variables, se hace una interpretación de las tendencias observadas.

El T5, con la suspensión del riego a los 75 días antes de la cosecha, presentó un índice de madurez de 6.9, indicativo de que la caña está madura con reductores cercanos a cero. La pureza es alta y el contenido de sacarosa en jugo es de 12.81% y 14.81 °Brix, que son considerados bajos respecto a los otros tratamientos. El rendimiento experimental fue de 109 tha^{-1} , que resultó mayor en relación al rendimiento comercial de caña cosechada (98.1 tha^{-1}). Sin embargo; esto pudo deberse al estrés hídrico que sufrió al suspenderle el agua 75 días antes de la cosecha y por el estrés por exceso de humedad durante la etapa de crecimiento, lo que posiblemente redujo el rendimiento de caña (Viator *et al.*, 2012), por lo que no es recomendable para la región de Cuatro Caminos del Ingenio Pujiltilic.

El T4, suspensión del riego 60 días antes de la cosecha, mostró un índice de madurez de 7, indicativo de que la caña está madura con reductores cercanos a cero. El riego previo, posiblemente causó este valor fuera menor que el T3. No obstante, la pureza es alta y el contenido de sacarosa en jugo es de 12.90% y los grados Brix de 15.66, considerado el más alto. El cultivo no mostró estrés hídrico, por el contrario la pérdida del contenido de humedad en el suelo fue benéfica para la acumulación de sacarosa (McCormick, *et al.*, 2008). El rendimiento de caña fue de 123 tha^{-1} , que resultó mayor que el rendimiento de T5. Pero este puede incrementarse si se realiza el drenaje superficial cada 18 surcos para evitar los excesos de humedad durante la etapa de crecimiento. Además, se debe atender las necesidades hídricas de este cultivo (Singels *et al.*, 2012), ya que no se está aplicando el volumen de agua requerida de 1500 mm por el cultivo y las láminas de riego deben ser más pequeñas. El cultivo de caña solo debe regarse dentro de la etapa de crecimiento 0 a 300 días, después debe suspenderse el riego para que el cultivo de forma natural sazone y madure.

En T3 la suspensión de riego inició 45 días antes de la cosecha, alcanzó un índice de madurez de 8 por lo que su calidad fue la más alta en comparación con los otros tratamientos, a pesar del efecto indeseable de los riegos previos que alteraron los grados Brix. Las temperaturas más cálidas de marzo y abril, y la humedad del suelo de HC, se consideran benéfica para el sazonado y madurez de la caña de azúcar (Inman-Bamber *et al.*, 2012) y por ello el rendimiento experimental de 125 tha^{-1} , que resultó mayor que T5 y T4. El programa de riego de Cuatro Caminos debe revisarse para ajustar el volumen de riego, el intervalo entre riego y la lámina de riego; además del drenaje superficial (Silva *et al.*, 2008). Se considera recomendable para esta zona de Cuatro Caminos del Ingenio Pujiltilic regar 45 días antes de la cosecha.

En T2 la suspensión del riego inició 30 días antes de la cosecha, este obtuvo un índice de madurez de 8; es decir, la caña se considera madura con reductores cercanos a cero. El exceso de humedad del suelo en la etapa final de maduración de la variedad Mex 69-290, induce nuevo crecimiento (Lingle *et al.*, 2010) y aunque no se vea reflejado en la calidad de los jugos, si se manifiesta en la disminución del rendimiento a 109 tha^{-1} , con respecto T4 y T3. Por ello, no se considera recomendable para la región de Cuatro Caminos del Ingenio Pujilic regar 30 días antes de la cosecha

El T1 donde se aplicó el riego 15 días antes de la cosecha, presentó el menor índice de madurez (5). La pureza es alta, 12.86% de sacarosa en jugo y 15.15 °Brix. El rendimiento experimental fue de 112 tha^{-1} . Los excesos de lluvia durante el periodo de crecimiento y la carencia de un sistema de drenaje, fueron una limitante para lograr mayor rendimiento y calidad de los jugos de caña de azúcar (Lingle *et al.*, 2010). Es por ello que para lograr incrementos en los rendimientos de caña es necesario establecer un sistema de drenaje superficial construyendo los drenes cada 18 surcos. No se recomienda suspender el riego 15 días antes de la cosecha, porque el suelo esta húmedo y dificulta las labores de cosecha.

5.7. Efecto de la suspensión del riego en algunos parámetros fisiológicos del cultivo de caña de azúcar

La productividad del cultivo de caña de azúcar es principalmente definida por la actividad fotosintética que conlleva a la acumulación de sacarosa en el tallo con mayor énfasis durante la fase final de su ciclo fenológico, ya que se ve afectada en gran medida por eventos bióticos ó abióticos lo que incide en el rendimiento (Cha-Um y Kirdmanee, 2008). Por ello, se evaluó la respuesta que tienen los parámetros fisiológicos, la conductancia estomática (gs), la tasa de transpiración (E), la tasa de fotosíntesis (A), y la concentración intracelular de CO_2 (Ci) a la suspensión de riego iniciado 75, 60, 45, 30 y 15 días antes de la cosecha en la variedad Mex57-473, en un suelo Vertisol éutrico del Sr. José Álvarez Aguilar que fue cosechada el 25 de Febrero del 2012 y la variedad Mex69-290 de madurez media a tardía en un suelo Gleysol mólico del Sr. Juan Jiménez Zepeda que fue cosechada el 15 de marzo del 2012.

En el Cuadro 13 se presentan los resultados del análisis de varianza (ANOVA) de los parámetros fisiológicos de la caña de azúcar de la variedad Mex57-473 y de la variedad Mex69-290 (Cuadro 14).

Cuadro 13. Análisis de varianza para los parámetros fisiológicos de caña de azúcar de la variedad Mex57-473, bajo tratamientos de suspensión de riego. Ingenio Pujilic

Suspensión	Conductancia estomática (gs) (mmol m ⁻² s ⁻¹)	Tasa neta instantánea de asimilación (A) (μmol m ⁻² s ⁻¹)	Tasa de Transpiración (E) (mmol m ⁻² s ⁻¹)	Concentración CO ₂ (Ci) (vpm)
1 (15 días)	0.08b	10.37b	5.42a	121.53a
2 (30 días)	0.10a	13.32a	4.72ab	106.21a
3 (45 días)	0.08ab	11.39ab	3.86c	117.89a
4 (60 días)	0.07b	9.02b	4.37bc	122.08a
5 (75 días)	0.08b	10.36b	5.05ab	114.44a
Media	0.08	10.67	4.64	117.63
CV (%)	36.60	43.28	31.03	62.60
Prob. de F	0.0004**	0.0034**	0.0001**	0.9071NS
MSD	0.01	2.70	0.84	43.09

* Significativa, ** altamente significativo, NS No significativo, vpm.

Cuadro 14. Análisis de varianza para los parámetros fisiológicos de caña de azúcar de la variedad Mex69-290, bajo tratamientos de suspensión de riego. Ingenio Pujilic

Suspensión	Conductancia estomática (gs) (mmol m ⁻² s ⁻¹)	Tasa neta instantánea de asimilación (A) (μmol m ⁻² s ⁻¹)	Tasa de Transpiración (E) (mmol m ⁻² s ⁻¹)	Concentración CO ₂ (Ci) (vpm)
1 (15 días)	0.08b	11.84 a	2.60c	108.44b
2 (30 días)	0.11a	12.48 a	3.58a	143.42a
3 (45 días)	0.08b	11.08a	3.34ab	140.16ab
4 (60 días)	0.06b	7.95b	2.96bc	143.91a
5 (75 días)	0.05b	6.47b	2.11d	171.52a
Media	0.08	9.68	2.87	144.26
CV (%)	40.76	54.03	37.86	54.63
Prob. de F	0.0001**	0.0001**	0.0001**	0.0001**
MSD	0.01	2.15	0.44	32.41

* Significativa, ** altamente significativo, NS No significativo, vpm.

Conductancia estomática (gs). Se observa en las dos variedades Mex57-473 y Mex69-290, que hay diferencias altamente significativas para la suspensión del riego, con un coeficiente de variación (CV) de 36.6% para la Mex57-473 y 40.7% de CV para la Mex69-290, que indican alta variación en la medición de este parámetro.

Tasa de fotosíntesis (A). Los resultados del ANOVA para A muestran diferencias altamente significativas para la suspensión del riego en las dos variedades, con un coeficiente de variación (CV) de 43.28% de la variedad Mex57-473 y 54.03 % de CV de la Mex69-290, que muestra dinámica que es esta variable.

Tasa de transpiración (E). Se encontraron diferencias altamente significativas en la E para la suspensión del riego para la variedad Mex57-473 con un CV de 31.03 37.86% y 37.86 % de CV para la Mex69-290, lo que indica que existe una gran variabilidad en la medición de este parámetro.

La concentración de CO₂ intracelular Ci. Únicamente se muestra una diferencia altamente significativa para la suspensión del riego en la variedad Mex69-290 con un CV de 54.63 y no significativa para la Mex57-473, con un CV de 62.60%, que indica gran variabilidad, debido a la movilidad que tiene el CO₂. Por ello, si el cultivo es sometido a estrés hídrico hay una ligera disminución en la turgencia, suficiente para provocar el cierre de estomas, hará que la absorción de dióxido de carbono extremadamente difícil (Angelocci, 2002).

En la Figura 20 y 21, se muestra la repuesta de variedad, que dependió de la suspensión sometida al déficit hídrico antes de la cosecha. La tasas fotosintética (A), la tasa de transpiración (E) y la conductancia estomática (gs) disminuyeron en la variedad Mex57-473 conforme se incrementó el número de días que el cultivo permaneció sin riego. Por la disminución de la tasa fotosintética a mayor tiempo de suspensión de riego, la concentración de CO₂ intracelular se incrementó, lo que indica que el tejido foliar esta senesciendo, porque su madurez es temprana y está completando su ciclo; además, la humedad en el suelo estuvo en PMP (Figura 12) y alcanzó los mayores grados Brix (Figura 13). En contraste la variedad Mex69-290 presentó mayores A y E, bajo las mismas condiciones de falta de agua en el suelo. En ésta variedad, la conductancia estomática no disminuyó con el incremento de días sin riego; lo anterior indica que la caña está activa pese a la restricción hídrica. En el Cuadro 15, se observa que en ambas variedades presentaron similar número de estomas en ambos lados de la hoja. Son hipoestomáticas, es decir presentan mayor número de estomas en el envés (Ferreira, 2005).

El número de estomas en el haz fue de 22.9 ± 4.3 para la variedad Mex57-473 y de 20.9 ± 3.8 para Mex69-290; en el envés de 41.5 ± 6.0 (Mex57-473) y 47.1 ± 5.8 (Mex69-290). La cantidad, la distribución, el tamaño, la forma y la actividad de los estomas son las características específicas de cada especie, y pueden variar en función de las adaptaciones a las condiciones ambientales (Larcher, 2000).

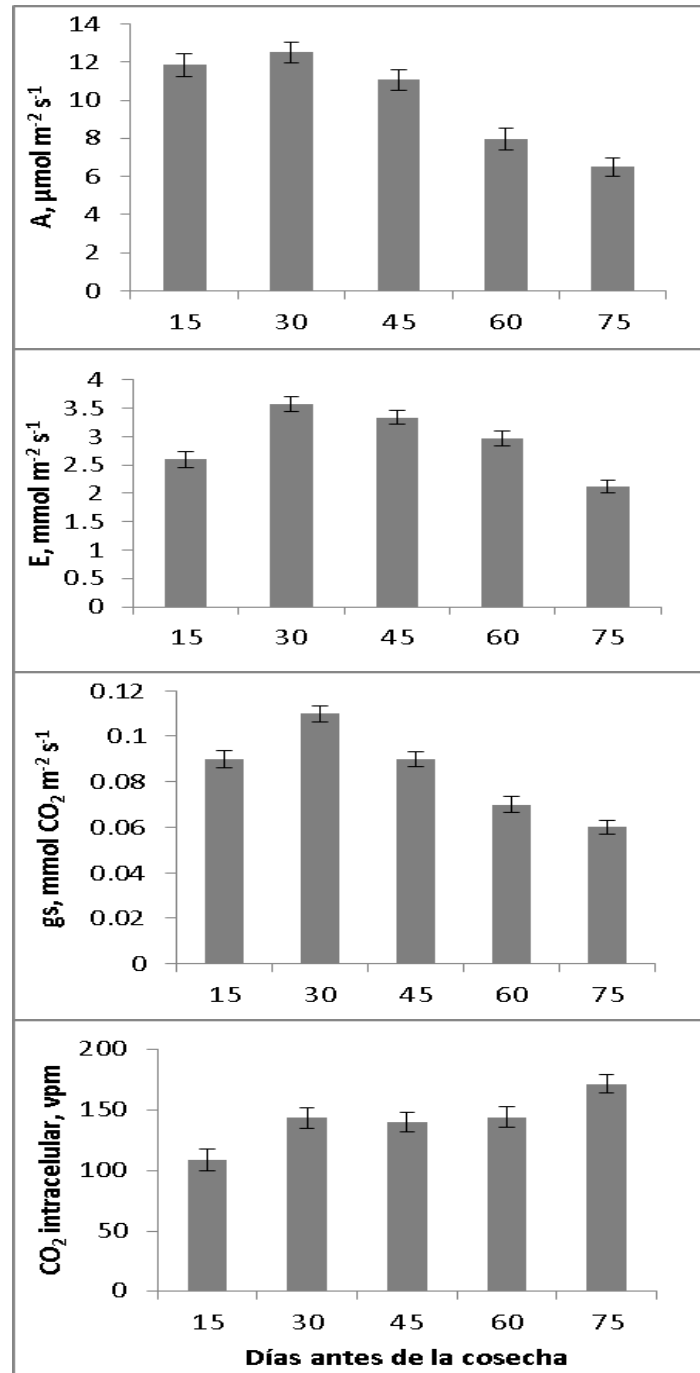


Figura 20. Efecto de la suspensión del riego en caña de azúcar 75 días antes de la cosecha de la variedad Mex57-473. Ingenio Pujilic.

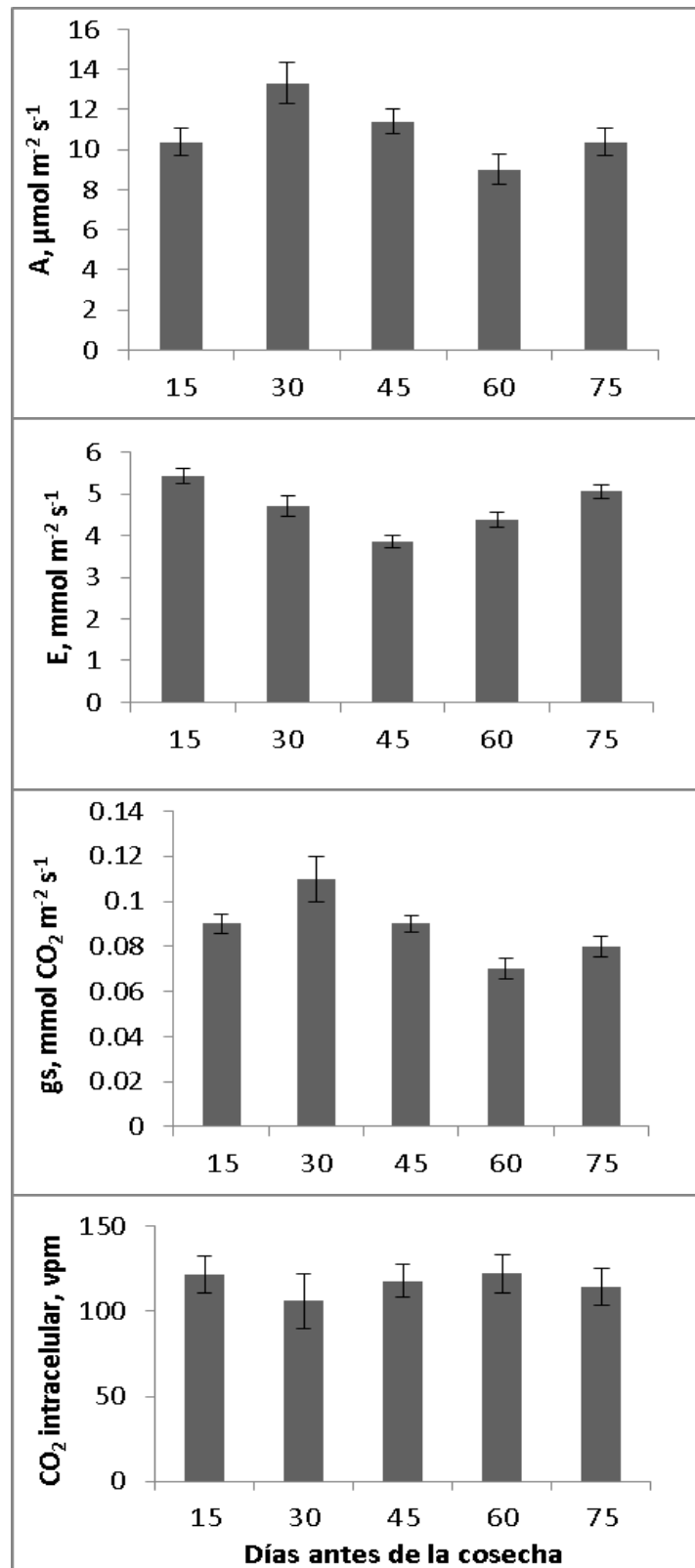


Figura 21. Efecto de la suspensión del riego en caña de azúcar 75 días antes de la cosecha de la variedad Mex69-290. Ingenio Pujilic.

Cuadro 15. Número de estomas por campo a 40x por variedad en caña de azúcar cultivada en el Ingenio Pujiltic, Chiapas.

Tratamiento	Mex57-473		Mex69-290	
	Haz	Envés	Haz	Envés
1 (15 días)	22.6 ± 9.8	41.3 ± 2.5	18.0 ± 1.7	45.5 ± 12.0
2 (30 días)	24.0 ± 2.0	46.7 ± 11.2	20.0 ± 3.0	44.6 ± 6.0
3 (45 días)	22.6 ± 3.0	40.0 ± 6.5	21.0 ± 5.0	45.5 ± 4.9
4 (60 días)	21.0 ± 4.5	33.7 ± 8.3	20.0 ± 3.6	45.0 ± 5.2
5 (75 días)	24.0 ± 2.0	46.0 ± 1.4	25.7 ± 5.6	55.0 ± 1.0
Media	22.9 ± 4.3	41.5 ± 6.0	20.9 ± 3.8	47.1 ± 5.8

En Cuadro 16 se observan los tratamientos de suspensión de riego sobre la densidad estomática (DE) en la hoja de las dos variedades de caña de azúcar. No se observa un incremento en el número de estomas por área en el tratamiento de 75 días de suspensión de riego sobre todo en el envés de la hoja en las dos variedades. Éste es más pronunciado en la variedad Mex69-290. Algunos autores indican que el número de los estomas y su densidad parecen ser las variables más sensibles al cambio en las condiciones ambientales, posiblemente relacionadas con la resistencia estomática, lo que evitaría el exceso de transpiración y permitiría una mejor adaptación a condiciones de estrés hídrico (Aasaman *et al.* 2001). En el caso de una disminución de la densidad estomática, se incrementa la resistencia estomática y con ello se evita el exceso de transpiración (Takur 1990).

Cuadro 16. Densidad estomática mm² en las dos superficies de la hoja de caña de azúcar, cultivadas en el Ingenio Pujiltic, Chiapas.

Tratamiento	Mex57-473		Mex69-290	
	Densidad estomática mm ²		Densidad estomática mm ²	
	Haz	Envés	Haz	Envés
1 (15 días)	133.3 ± 49.7	206.6 ± 12.5	90.0 ± 15.0	218.3 ± 45.3
2 (30 días)	120.0 ± 10.0	233.3 ± 56.2	100.0 ± 15.0	223.3 ± 30.1
3 (45 días)	133.3 ± 15.2	200.0 ± 32.7	105.0 ± 25.0	216.6 ± 25.6
4 (60 días)	105.0 ± 22.9	168.3 ± 11.6	100.0 ± 18.3	225.0 ± 25.2
5 (75 días)	120.0 ± 10.0	210.0 ± 35.0	128.3 ± 28.4	275.0 ± 5.0
Media	114.3 ± 21.5	203.7 ± 35.6	104.7 ± 19.0	231.7 ± 26.4

La relación entre tasa fotosintética (A) y tasa de transpiración (E) representa la eficiencia instantánea del uso de agua del cultivo (Figura 12c). Como lo indica el coeficiente angular de

la relación lineal el valor fue superior en Mex57-473 (3.14 μmol de CO_2 fijado por cada mmol de H_2O gastado) respecto al de la variedad Mex69-290 (2.16 μmol de CO_2 fijado por cada mmol de H_2O gastado). Este comportamiento fisiológico de la variedad Mex57-473 de maduración media parece indicar una mayor susceptibilidad al déficit hídrico durante la etapa de maduración en comparación con la variedad de maduración media Mex69-290.

La Figura 22 muestra las relaciones entre conductancia estomática, transpiración y fotosíntesis sin considerar la condición de estrés durante la etapa de maduración de las dos variedades. Se observa que la conductancia estomática presenta una fuerte influencia sobre la tasa de transpiración (Figura 22b). Esta fue mayor para Mex57-473 ($R^2=0.74$) que para Mex69-290 ($R^2=0.63$).

En contraste la tasa fotosintética presentó una respuesta a la conductancia estomática similar en ambas variedades (Figura 22a), aunque el control de la conductancia sobre la tasa de fotosíntesis en la variedad Mex69-290 no ocurrió en forma directa y proporcional ($R^2=0.44$). Bajos valores de conductancia estomática como consecuencia de falta de agua, parece ser uno de los factores que reduce la tasa de fotosíntesis en caña de azúcar.

Esto también se observa para la tasa de transpiración aunque el efecto es diferente dependiendo de la variedad (Figura 22b). Cuando se realizó la correlación entre tasa de fotosíntesis y tasa de transpiración se observa que a bajas tasas de transpiración, la tasa fotosintética en ambas variedades responde de manera similar, pero a tasas de transpiración superiores a 2 mmoles de $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ la variedad Mex57-473 presenta mayores tasas de fotosíntesis, aunque existe una gran variación para esta variable en ambas variedades.

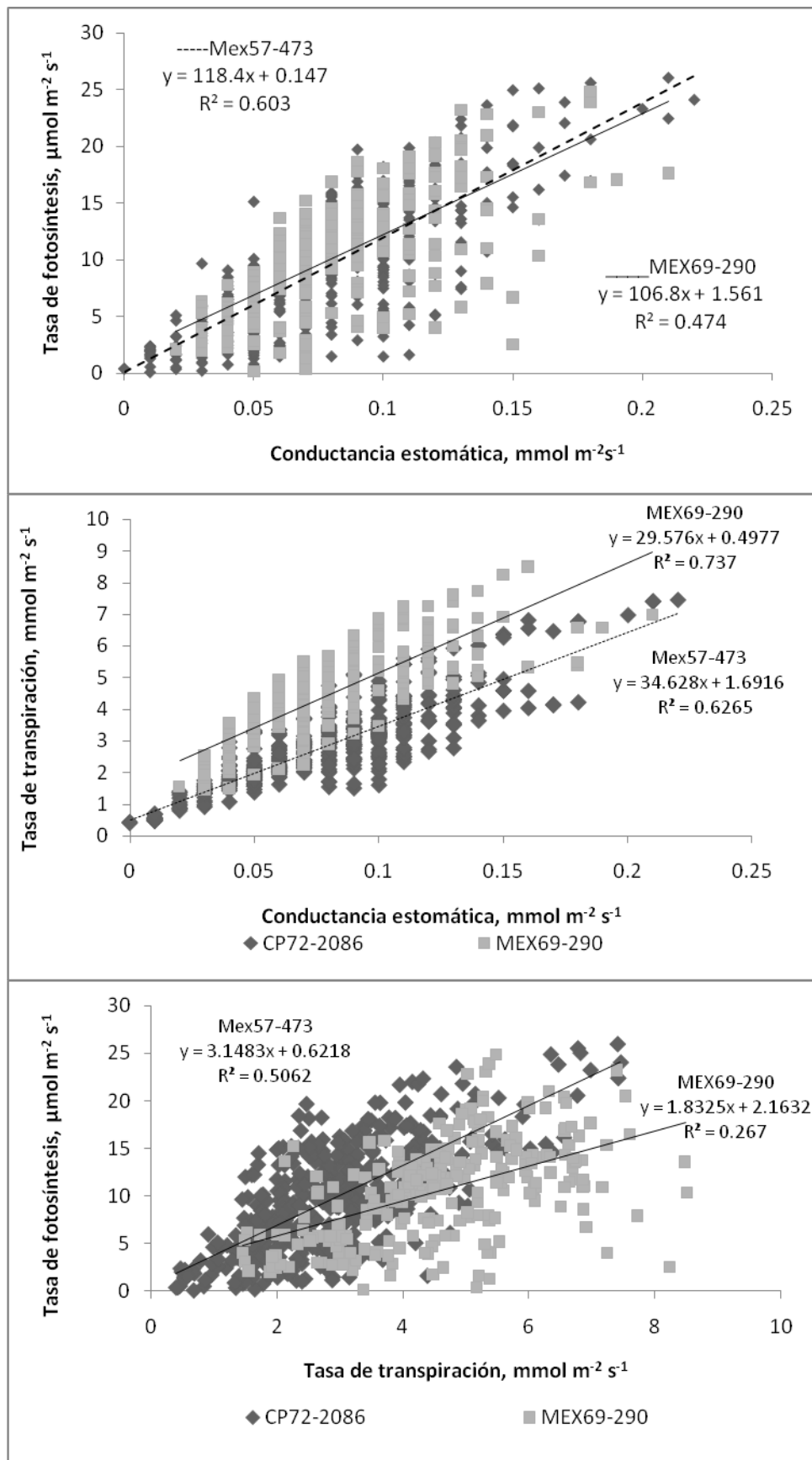


Figura 22. Relaciones entre la conductancia estomática, transpiración y fotosíntesis en la variedad Mex57-473 y Mex69-290. Ingenio Pujiltilic.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Este estudio nos permitió determinar que la lámina de agua que demanda el cultivo de caña de azúcar en Cuatro Caminos es de 1,303.61 mm y en la Mesilla 1350.73mm a lo largo de su ciclo de crecimiento; la precipitación natural mas el agua aportada por el riego, no satisface las necesidades hídrica del cultivo. Por lo tanto, se recomienda dar los riegos de auxilios necesarios para satisfacer las necesidades hídricas de la caña de azúcar. Por lo ello, la primera hipótesis se rechaza.
2. De acuerdo con el balance hídrico de Cuatro caminos y la Mesilla, el manejo del agua no es suficiente. El cultivo de la caña de azúcar sufre doble estrés: por falta de agua al inicio del ciclo y exceso de agua en la etapa de crecimiento. La programación del riego en ambos módulos debe de ser ajustada para aplicar el riego a intervalos de tiempo más cortos y en las cantidades de agua requerida por el cultivo.
3. La suspensión del riego a los 60 y 45 días antes de la cosecha, no interrumpen el proceso de maduración debido al contenido de humedad en el suelo; este estudio muestra que el cultivo no se estresó, ya que los °Brix, rendimiento de caña y concentración de sacarosa presenta valores altos de azúcar. En base a esta conclusión se acepta la segunda hipótesis.
4. Nuestros datos muestran que al proporcionar el agua requerida por el cultivo de caña de azúcar de acuerdo con el calendario de riego, además de establecer un sistema de drenaje superficial en donde se requiera y suspender el riego entre los 45 y 60 días antes de la cosecha se incrementan los rendimientos de tallo moledero y se mejoran calidad de jugos de la caña de azúcar.
5. La variedad Mex69-290 respecto a la Variedad Mex57-473 mostró tasas más altas de fotosíntesis, transpiración, conductancia estomática y menor concentración de CO₂ intracelular, los cuales son indicadores de tolerancia al estrés hídrico. En todos los tratamientos la variedad Mex69-290, produjo mayores rendimientos de tallo moledero que la variedad Mex57-473. Por lo tanto se rechaza la tercera hipótesis.

VII. LITERATURA CITADA

- Aasaman K, A Sober, M Rahi. 2001. Leaf anatomical characteristic associated with shoot hydraulic conductance, stomatal conductance and stomatal sensitivity to changes of leaf water status in temperate deciduous trees. *Aust. J. PlantPhysiol.* 28: 765-774.
- Angelocci, L. R. 2002. El agua y el intercambio de gases en plantas / energía con la atmósfera: Introducción al tratamiento biofísico. Piracicaba, Brasil. 272 p.
- Apel, K., Hirt, H. 2004. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annu Rev Plant Biol* 55: 373–399 p
- Batta, SH. y Singh, R. 1986. Sucrose metabolism in sugar cane grown under varying climatic conditions: synthesis and storage of sucrose in relation to the activities of sucrose syntethase, sucrose-phosphate syntethase and invertase. *Phytochemistry* 25: 2431-2431 p.
- Benvenuti, F. A. 2005. Relação de índices espectrais de vegetação com a produtividade da cana-de-açúcar e atributos edáficos Dissertação. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Brasil. 120 p.
- Bray, E.A., Bailey-Serres, J., Weretilnyk, E. 2000. Responses to abiotic stresses. In: Buchanan, B.B., Gruissem, W., Jones, R.L. (ed.): *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. 1158-1203 p. American Society of Plant Physiologists, Rockville.
- Brodribb, T.T., Holbrook, N.M. 2003. Stomatal closure during leaf dehydration, correlation with other leaf physiological traits. *Plant Physiol.* 132: 2166-2173.
- Bueno, L. C. S.; Mendes, A. N. G.; Carvalho, S. P. 2006. Mejoramiento de plantas: principios y procedimientos. 2. ed. Lavras: UFLA. 319 p.
- Bussotti, F. 2000. Leaf morphology and macronutrients in broad-leaved tress in central Italy. *Trees-Structure and Function*, Berlin. 14: 361-368.
- Castro P.R.C., Kluge R.A. 2001. Ecofisiología de las culturas extractivas: caña de azúcar, los árboles de caucho, aceite de coco ; aceite de palma y aceite de oliva. Cosmopolis: Stoller de Brasil. 138 p.

- Castro-Díez, P. 1997. Leaf morphology and leaf chemical compositions in three *Quercus* (Fabaceae) species along a rainfall gradient in NE Spain. *Trees—Structure and Function*, Spain. 11: 127-134.
- Cañeros. 2011. Unión nacional de cañeros A.C.- CNPR: www.caneros.org.mx.
- Cengicaña (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la caña de Azúcar). 2007. Evolución de la Producción y Productividad de la Agroindustria Azucarera y mapas generales de la zona Cañera de la costa sur de la republica de Guatemala, 20 p.
- Cha-Um S. y C. Kirdmanee 2008. Effect of osmotic stress on proline accumulation, photosynthetic abilities and growth of sugarcane plantlets (*Saccharum officinarum* L.). *Pak. J. Bot.* 40: 2541-2552.
- Clements, H.F. 1980. Sugarcane crop logging and control; principles and practices. The University Press of Hawaii, Honolulu. USA. 520 p.
- Conagua. 2010. Servicio Meteorológico Nacional-Comisión Nacional del Agua. Normales. <http://smn.cna.gob.mx/>.
- De Silva A.L.C. y W.A.J.M de Costa. 2004. Varietal variation in growth, physiology and yield of sugarcane under two contrasting water regimes. *Tropical Agricultural Research*. 16:1-12.
- Endres L., J. Vieira S., V. Marques F. y G. Veríssimo de S. B. 2010. Photosynthesis and water relations in Brazilian sugarcane. *The Open Agriculture Journal* 4:31-37.
- FAO-Food and Agriculture Organization, 2008. Food Production and Security. <http://www.fao.org/ag/AGL/agll/spush/topic1.htm> #brazil (accessed 10 June, 2008).
- FAO- Food and Agriculture Organization. 2006. Crop Water Management for Sugarcane. En: <http://www.fao.org/landandwater/aglw/cropwater/sugarcane.stm>.
- Fauconnier, D. Y Bassereau, D. 1975. La caña de azúcar: técnicas agrícolas y producciones tropicales. Edit. BLUME. Barcelona, España. 433 p.

- Ferreira E. A. 2005. Anatomía cuantitativa, micromorfología y sensibilidad a los herbicidas en genotipos de caña de azúcar. Tesis de Maestría en Botánica. Universidad Federal de Vicosa, Brasil. 83 p.
- Goncalves E.R. 2010. Intercambio de gases y fluorescencia de la clorofila en la variedad de caña de azúcar sometido a falta de agua. Ingeniería agrícola y ambiental, Campina Grande. Brasil. 14 (4): 378-386
- Goncalves E.R. 2008. La fotosíntesis, la respuesta osmorreguladora y en el crecimiento inicial de cuarto variedades de caña de azúcar sometido a falta de agua. Tesis de Maestría en Agronomía/producción de plantas. Universidad Federal de Alagoas, Rio Largo. 66 p.
- González G., A., B. Ortiz V. y C.I. Pascual P. 1974. Sazonado y maduración de la caña de azúcar. CNIA. Serie Divulgación Técnica IMPA Libro No. 8. México, D. F. 165 p.
- Hatch MD, Sancher J.A. Glasziou KT. 1963. Sugar accumulation cycle in sugarcane. I. Studies on enzymes of the cycle. Plant Physiol. 38: 338-343.
- Hernández M. G.I., S. Salgado G., D. J. Palma-López, L.C. Lagunés E., M. Castelán E. O. Ruiz R. 2008. Vinaza y composta de cachaza como fuente de nutrientes en caña de azúcar en un Gleysol Mólico de Chiapas, México.
- Hirschi, K.D. 2004. The calcium conundrum. Both versatile nutrient and specific signal. Plant Physiol. 136: 2438-2442.
- Hsiao, T.C., Xu, L. 2000. Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. J. Exp. Bot. 51: 1595-1616.
- Inman-Bamber, N.G., Lakshmanan, P., Park, S. 2012. Sugarcane for water-limited environments: Theoretical assessment of suitable traits. Field Crops Research. 134: 95-104.
- Inman-Bamber, N.G., Bonnett, G.D., Spillman, M.F., Hewitt, M.L., Jackson, J., 2008. Increasing sucrose accumulation in sugarcane by manipulating leaf extension and photosynthesis with irrigation. Aus. J. Agric. Res. 59:13–26.

- Inman-Bamber, NG; Smith, DM. 2005. Water relations in sugarcane and response to water deficits. *Field Crops Research* 92:185-202.
- Inman-Bamber, N.G. 2004. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. *Field Crops Res.* 89: 107–122.
- Inman-Bamber N G and de Jager J M. 1986a. The reaction of two varieties of sugarcane to water stress. *Field Crops Res.* 14:15–28.
- Koonjah, S. S. 2006. A quantitative study of water stress effect on sugarcane photosynthesis. *Proceedings South African Sugar Technology Association, South Africa.* 80: 148-158.
- Larcher, W. 2004. *Ecofisiologia Vegetal*. Rima, São Carlos, SP, 531p.
- Larcher, W. 2000. *Ecofisiología vegetal*. Rima, São Carlos. 531 p.
- Larrahondo A., J. E., y C. O. Briceño B. 2004. Una aproximación a la reducción de las pérdidas de sacarosa entre cosecha y molienda en el sector azucarero colombiano. Cali. *Cenicaña. Procesos Industriales.* 3: 22 p.
- Lima A. L. S. 2006. Compuestos nitrogenados, compuestos fenólicos y características morfológicas de las hojas: comparación de hoja caduca y arbórea semicaducifolias de leguminosas. *Ciencia Agrícola, Piracicaba, Brasil.* 63(1): 40-45.
- Lingle S. E., Johnson, R. M., Tew, T. L., Viator R. P. 2010. Changes in juice quality and sugarcane yield with recurrent selection for sucrose. *Field Crops Research.* 118: 152–157.
- Lingle S.E and Smith C.R. 1991. Sucrose metabolism related to growth and ripening in sugarcane. *Crop Science* 34:1279-1283.
- Machado, R.S. 2009. Las respuestas fisiológicas de genotipos de caña de azúcar en el déficit de agua impuesto en la fase inicial de desarrollo. Tesis de Maestría en Agricultura Tropical y Subtropical, Instituto Agronómico de Campinas, Brasil. 64 p.
- Martínez C.A., A. Castillo M. y N. Milanés R. 1999. Deterioro postcosecha de la variedad de caña de azúcar Méx 69-290 en la zona de influencia del ingenio San José de Abajo.

In: XII Reunión Científica- Tecnológica Forestal y Agropecuaria Veracruz 99. 2 y 3 de Diciembre de 1999, Veracruz, 14-19 p.

Martin E.C., W. Stephens, R. Wiedenfeld, H.C. Bittensbender, J.P. Beasley, Jr., J.M. Moore, H. Neibling, y J.J. Gallian. 2007. Sugar, oil and fiber. *In* R.J. Loscano and R.E. Sojka (ed.) Irrigation of agricultural crops. 2nd ed. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI. 279-335p.

McCormick, A.J., Cramer, M.D., Watt, D.A. 2008. Culm sucrose accumulation promotes physiological decline of mature leaves in ripening sugarcane. *Field Crops Research*. 108: 250-258

Mendoza, P. J. D., Nikolskii, G. L., Palacios, V. O. L., Landeros, S. C., Palma, L. D. J., Carillo, A. E., Estrada, B. M. A. 2003. Análisis del funcionamiento hidráulico de diferentes tipos de drenaje agrícola en Tabasco, México. *Ingeniería hidráulica en México*. 18 (2): 107-119.

Meinzer F.C., Grantz D.A. 1990. Stomatal and hydraulic conductance in growing sugarcane: stomatal adjustment to water transport capacity. *Plant Cell Environ*. 13: 383-388.

NOM. 2000. Norma Oficial Mexicana que Establece las Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos. Estudios, Muestreo y Análisis. NOM- 021-RECNAT 2000. 2ª ed. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 26 p.

Quirino, B.F., Noh, Y., Himelblau, E., Amasino, R.M. 2000. Molecular aspects of leaf senescence. *Trends Plant Sci*. 5: 278-282.

Ortiz-Villanueva B. 1981. Control del sazonado y maduración de la caña de azúcar. CNIA. IMPA. Serie divulgación técnica No. 20. México, 32 p.

Paiva R., Oliveira L.M. 2006. Fisiología y producción vegetal. Lavras: Editora UFLA. 104 p.

Pérez da G. J., F. Aparecida R., J.R. Boucas F., M.C. Neves de O., C. B. Hoffmann-Campo y S. M. Zingaretti. 2010. Physiological parameters in sugarcane cultivars submitted to water deficit. *Braz. J. Plant Physiol.*, 22(3):189-197.

- Pereira J. S., J. A. Mateus, L. M. Aires, G. Pita, C. Pio, J. S. David, V. Andrade, J. Banza, T. S. David, T. A. Paco, and A. Rodríguez. 2007. Net ecosystem carbon exchange in three contrasting mediterranean ecosystems-the effect of drought. *Biogeosciences*. 4:791-802 p.
- Pincelli, R. P. 2010. Tolerancia al estrés hídrico en la caña de azúcar, cultivares evaluados por variables morfofisiológicas. Tesis de Maestría en Agronomía. Facultad de Ciencias Agronómicas, Botucatu, Brasil. 78 p.
- Pimentel, C. 2004. La relación de la planta con el agua. Seropédica: Ed. 191 p.
- Ramesh, P. 2000. Effect of different levels of drought during the formative phase on growth parameters and its relationship with dry matter accumulation in sugarcane. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 185: 83-89.
- Rao, C. M.; Kumar, M. V.; Reddy, L. K. 2005. Management of sugarcane clones under limited moisture situations (drought) at formative stage. *Indian Sugar, Indian*, p. 949-953.
- Robertson, M.J., Inman-Bamber, N.G., Muchow, R.C., Wood, A.W. 2000. Physiology and productivity of sugarcane with early and mid-season water deficit. *Field Crops Research* 64: 211-227.
- Robertson M.J., N.G. Inman-Bamber, R.C. Muchowa y A.W. Wood. 1999. Physiology and productivity of sugarcane with early and mid-season water deficit. *Field Crops Research* 64: 211-227.
- Robertson, M.J., Donaldson, R.A., 1997. Changes in the components of cane and sucrose yield in response to drying-off before harvest. *Field Crops Res.* 55: 201-208.
- Rodríguez, F.A., Da Graca, J.P., De Laia, M.L., Nhani-Jr, A., Galbiati, J.A., Ferro, M.I.T., Ferro, J.A., and Zingaretti, S.M. 2011. Sugarcane genes differentially expressed during water déficit. *Biología Plantarum*. 55 (1): 43-53 p.
- Rodríguez R.; E, Maritza R,Y; Cid M; González-Olmedo, J.L. 2000. Aclimatización de plántulas de caña de azúcar (*Saccharum* sp. híbrido) provenientes de sistemas de inmersión temporal. *Cultivos Tropicales* 21(3):51-56.

- Takur P. 1990. Different physiological response of tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.) cultivar to drought. *Acta Physiologiae Plantarum* 12: 175-182.
- Salgado G.S., Núñez E. R., Cabriales P.J.J., Etchevers B.J.D., Palma-López D.J., Soto H.M.R. 2000. Respuesta de la soca de la caña de azúcar a la fertilización NPK. *Agrociencia*. 34: 689-698 p.
- Salgado G.S., R. Núñez E., J. J. Peña C., J. D. Etchevers B., D. J. Palma L. y M.R. Soto H. 2003. Manejo de la fertilización en el rendimiento, calidad del jugo y actividad de invertasas en caña de azúcar. *Interciencia* 28 (10):476-480 p.
- Salgado G. S., Núñez E.R., Palma-López D.J., Lagunes-Espinosa L.C., Debernardi V.H., Mendoza H.R.H., (2006) Manejo de Fertilizantes y Abonos Orgánicos. ISPROTAB. Colegio de Postgraduados, Tabasco, México. 211p.
- Salgado-García. S., D. J. Palma-López, J. Zavala-Cruz, L. C. Lagunés-Espinoza., M. Castelán-Estrada., C. F. Ortiz-García., J. F. Juárez-López., J. A. Rincón-Ramírez y E. Hernández-Nataren. 2008. Programa sustentable de fertilización para el ingenio Pujiltic, Chiapas, México. *Terra-Latinoamericana*. 26 (4):361-373.
- Salgado G.S., L.C. Lagunes E., C.F. Ortiz G., L. Bucio A., y E. M. Aranda I. 2012. Caña de azúcar: producción sustentable. Colegio de Postgraduados-Mundi Prensa. México, D.F. 493 p.
- Santos R. F., Carlesso R. 1998. Déficit de agua y procesos morfológicos y fisiológicos de las plantas. *Ingeniería Agrícola y Ambiental, Campina Grande, Brasil*. 2(3): 287-294.
- Sasaki, R. M., Machado, E. C. 1999. Intercambio gaseoso y conductancia estomática en dos especies de trigo en contenido de agua en el suelo. *Brasileira de Pesquisa Agropecuaria, Brasil*. 34 (9): 1571-1579 p.
- Sausen T.L. 2007. Respuestas fisiológicas de *Ricinus communis* ala reducción en la disponibilidad de agua en el suelo. Tesis de Maestría en Ciencias de la planta. Facultad de Agronomía. Universidad Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. 61 p.

- Scarpari M. S. 2007. Modelo para producir la maduración de la caña de azúcar con el objetivo de planificación optimizada. Tesis de Doctorado en Ciencias de las Plantas. Facultad de Agricultura. Sao Paulo, Piracicaba, Brasil. 120 p.
- Segato, S. V.; Mattiuz, C. F. M.; Mazambani, A. E. 2006. Aspectos fenológicos da cana-de-azúcar. In: SEGATO, S. V. et al. : Actualización en producción de cana de azúcar. Piracicab, CP 2. 415 p.
- Shigaki, F. 2004. We do stress influence parameters regiment water, and accumulation of different varieties productivity sugarcane en Miracema. Universidad Rural Magazine, Seropédica, 24(1): 63-71 p.
- SIAP. 2012. Producción agrícola. Ciclo: Cíclicos y perennes 2011. Modalidad: riego + temporal. www.siap.sagarpa.gob.mx. Consultado el 21 de agosto de 2012.
- Silva, M.A, Silva, J.A.G., Enciso, J., Sharma V., Jifon, J. 2008. Yield components as indicators of drought tolerance of sugarcane. Sci. Agric. 65: 620-627.
- Silva M.A., Jifon J.L., da Silva J.A.G. y Sharma V. 2007. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. Brazilian Journal of Plant Physiology. 19: 193-201.
- Silva, A. L. C.; Costa, W. A. J. M. 2004. Varietal variation in growth, physiology and yield of sugarcane under two contrasting water regimes. Tropical Agricultural Research, Sri Lanka. 16: 1-12.
- Stuedle, E. 2000. Water uptake by roots: effects of water deficit. J. exp. Bot. 51: 1531-1542.
- Smit MA, Singels A. 2006. The response of sugarcane canopy development to water stress. Field Crops Research. 98: 91-97 p.
- Smith, J.P., Lawn, R.J., Nable, R.O., 1999. Investigations into the root: shoot relationship of sugarcane and some implications for crop productivity in the presence of sub-optimal conditions. Proc. Aust. Sugar Cane Technol. 21, 108-113 p
- Singels, A. M., van den Berg, M. A. Smit, M.R. Jones, van Antwerpen R. 2010. Modelling water uptake, growth and sucrose accumulation of sugarcane subjected to water stress. Field Crops Research. 117: 59-69.

- Tardieu, F., Reymond, M., Hamard, P., Granier, C., Muller, B. 2000. Spatial distribution of expansion rate, cell division rate and cell size in maize leaves: a synthesis of the effects of soil water status, evaporative demands and temperature. - *J. exp. Bot.* 51: 1505-1514.
- Taiz, L.; Zeiger, E. 2004. *Fisiología Vegetal*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed. 719 p.
- Trewavas, A. 2000. Signal perception and transductions. In: Buchanan, B.B., Gruissem, W., Jones, R.L. (ed.): *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. 975-977. American Society of Plant Physiologists, Rockville.
- Venkataramana, S. and K.M. Naidu. 1993. Invertases-sucrose relationship in young and mature stem of sugarcane. *Phytochemistry* 32 (4): 821-822.
- Venkataramana S, Guruja RPN, Naidu KM. 1986. The effects of water stress during the formative phase on stomatal resistance and leaf water potential and its relationship with yield in ten sugarcane varieties. *Field Crops Res.* 13:345-353.
- Verslues, P. E. 2006. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. *The Plant Journal*, Michigan. 45: 523-539..
- Viator, R. P., P.M. White Jr. P.M., Hale, A. J., Waguespack H.L. 2012. Screening for tolerance to periodic flooding for cane grown for sucrose and bioenergy. *Biomass and Bioenergy*. 44: 56-63.
- Wiedenfeld, R.P. 2000. Water stress during different sugarcane growth periods on yield and response to N fertilization. *Agricultural Water Management*, 43: 173-182.
- Wu Y. & Cosgrove D.J. 2000. Adaptation of roots to low water potentials by changes in cell wall extensibility and cell wall proteins. *Journal of Experimental Botany*. 51: 1543-1553.
- Zarco-Tejada, P. J. 2002. Leaf Chlorophyll a+b and canopy LAI estimation in crops using R-T models and Hyperspectral Reflectance Imagery. In: *Congress of the European Society for Agronomy*. 7.