
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y
AGROPECUARIAS



ASIMILACIÓN NETA DE CO₂, CRECIMIENTO Y
VARIACIÓN ESTACIONAL DE CARBOHIDRATOS EN
VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum
officinarum* L.) EN LAS LOCALIDADES DE AHUALULCO
DEL MERCADO Y EL EJIDO LA JOYA, JALISCO

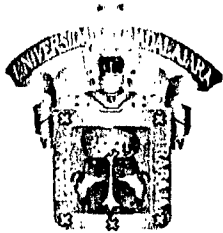
TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO

P R E S E N T A

JOSEFA MANUELA GARCÍA CORRALES

LAS AGUJAS, ZAPOPAN, JAL., OCTUBRE DEL 2001



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS
BIOLOGICAS Y AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERO AGRONOMO
COMITE DE TITULACION

ING. ELENO FELIX FREGOSO
DIRECTOR DE LA DIVISION DE CIENCIAS AGRONOMICAS
PRESENTE

Con toda atención nos permitimos hacer de su conocimiento, que habiendo sido aprobada la modalidad de titulación: TESIS con el título:

" ASIMILACION NETA DE CO₂, CRECIMIENTO Y VARIACIÓN ESTACIONAL DE CARBOHIDRATOS EN VARIEDADES DE CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum officinarum* L.) EN LAS LOCALIDADES DE AHUALULCO DE MERCADO Y EL EJIDO LA JOYA, JALISCO"

El cual fue presentado por él (los) pasante(s):

JOSEFA MANUELA GARCIA CORRALES

El Comité de Titulación, designó como director y asesores, respectivamente, a los profesores:

DR. ENRIQUE PIMIENTA BARRIOS	DIRECTOR
M.C. SALVADOR HURTADO DE LA PEÑA	ASESOR
ING. JUAN BOJORQUEZ MARTINEZ	ASESOR

Una vez concluido el trabajo de titulación, el Comité de Titulación designó como sinodales a los profesores:

M.C. EDUARDO RODRIGUEZ DIAZ	PRESIDENTE
ING. JUAN BOJORQUEZ MARTINEZ	SECRETARIO
DR. ENRIQUE PIMIENTA BARRIOS	VOCAL

Se hace constar que se han cumplido los requisitos que establece la Ley Orgánica de la Universidad de Guadalajara, en lo referente a la titulación, así como el Reglamento del Comité de Titulación.

ATENTAMENTE
"PIENSA Y TRABAJA"

Las Agujas, Zapopan, Jal. a 10 de octubre de 2001.

M.C. JESUS NETZAHUALCOYOTL
MÁRTIN DEL CAMPO MORENO
PRESIDENTE DELCOMITE DE TITULACION

M.C. SALVADOR GONZALEZ LUNA
SRIO. DEL COMITE DE TITULACION

AGRADECIMIENTOS

A DIOS Por dejarme llegar hasta donde estoy y por darme un consuelo en todos los momentos de mi vida.

A mi Director de Tesis Doctor Enrique Pimienta por su apoyo y tenerme tanta paciencia, por la amistad que me ha brindado y enseñarme a ser mejor cada día.

A mis asesores M.C. Salvador Hurtado de la Peña, Ing. Juan Bojorquez por ayudarme en la revisión de mi tesis

A mis mejores maestros que han dejado huella en mi formación academica Dr. Enrique pimienta, M.C. Diego Vargas, M.C. José de Jesús Batista, M.C. Maria Luisa García, M.C. Eduardo Rodríguez, M.C. Adriana Abeldaño, M.C. José Sánchez, M.C. Gil virgen, M.C. Francisco vernal, Ing. Juan Bojorquez, Ing. Eduardo Villarruel

Agradezco profundamente a la Universidad de Guadalajara por brindarme la oportunidad de haberme formado profesionalmente

A mis amigos, Ivette, Betita, Gris, Gamaliel Gabriela, Jane, Kay, Ernesto, Lauro, Yolanda, Por escucharme comprenderme apoyarme y compartir momentos inolvidables de mi vida.

A mis amigos y compañeros de estudios, Maria Rivera, Alejandro Barbosa, Daniel Chan Humberto meza, Omar Granados, Eduardo Amador y a Ricardo Merino, Efrén Solano por ser unas personas neutrales y ser muy buenos amigos.

A Oscar y Javier por compartir conmigo momentos y travesuras que siempre las recordare con mucho cariño

A mis Mejores amigos, Carlos por quererme tanto y estar siempre cuando lo necesito, a José María por brindarme siempre su amistad y apoyarme cuando mas lo he necesitado y sobre todo por darme buenos consejos.

Mi mas grande agradecimiento a la señora Ana Berta Villarreal por ayudarme con los cuidados de mi hijo ya que si no fuera por eso no hubiese podido seguir estudiando.

Agradezco a Julia, Maru y Blanca por apoyarme en el laboratorio, a Salvador, Norma y Dr. Enrique por apoyarme en el trabajo de campo y oficina.

DEDICATORIAS

A MIS PADRES

Teresa Corrales Muñoz y Salomón García Muños por darme la vida y darme siempre su cariño y apoyo-

A MI HIJO

Andres Alejandro García Corrales por quererme tan incondicionalmente y por ser la razón de mi vida

A MI TIA

Matilde García por inculcarme valores y darme una educación y quererme siempre

A FELIPE FERNANDEZ

Por sus regaños que no han sido embano, por quererme y por nunca hacerme menos

A MIS HERMANOS

Fernando, Bety, Xochilt, Norma, Leticia, Cecilia, Andres. Por estar siempre en los momentos en que los he necesitado, por darme siempre su apoyo y consentirme tanto.

A MI MEJOR AMIGA

Norma Morales por apoyarme y estar conmigo cuando más lo he necesitado, sobre todo por tenerme tanta paciencia, y compartir alegrías, tristezas y sobre todo tantas travesuras.

A MIS MAESTROS

Dr. Enrique Pimiento e Ing. Juan Bojorquez, porque más que mis maestros han sido como mis ángeles de la guarda

A MI BOMBOM

por hacerme sentir cada día mejor y por ser alguien tan especial en mi vida

INDICE

	<i>Página</i>
INDICE DE CUADROS	iii
INDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	v
I. INTRODUCCIÓN	1
Objetivos	2
Hipótesis	3
II. REVISION DE LITERATURA	4
2.1 La caña de azúcar	4
2.1.1 El cultivo de la caña de azúcar en México	4
2.1.2 Descripción taxonómica y origen de la caña de azúcar	4
2.1.3 Sistemática de la planta	5
2.1.4 Composición de la caña de azúcar	5
2.1.5 Constituyente de la caña	6
2.2 Crecimiento en plantas	7
2.3 Fisiología de la caña de azúcar	10
2.3.1 Mecanismo de asimilación de CO ₂	10
2.3.2 Respuesta de las plantas a la luz	11
2.4 Metabolismo de carbohidratos solubles (azúcares) en plantas	14
III. MATERIALES Y METODOS	20
3.1 Descripción de los sitios de estudio	20
3.2 Variables físicas del ambiente	20
3.3 Tasas de asimilación neta diaria de CO ₂	21

3.4 Crecimiento primario y grosor de tallos	21
3.5 Variación estacional de carbohidratos solubles	21
3.6 Densidad de estomas en hojas	23
3.7 Análisis de la información	24
3.8 Ajuste de curvas	24
IV. RESULTADOS	25
Características ambientales de las zonas de estudio	25
Características físico-químicas de los suelos	28
Densidad de estomas en hojas fotosintéticamente activas	30
Tasas de asimilación neta diaria de CO ₂	30
Crecimiento primario en tallos	36
Engrosamiento	39
Variación estacional en la acumulación de azúcares	41
V. DISCUSIÓN	43
VI. CONCLUSIONES	46
VII. LITERATURA CITADA	48

INDICE DE CUADROS

	<i>Página</i>
Cuadro 1. Variables ambientales y tasas instantáneas máximas de asimilación de CO ₂ en variedades de caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.) en la localidad de Ahualulco del Mercado, Jalisco.	27
Cuadro 2. Variables ambientales y tasas instantáneas máximas de asimilación de CO ₂ en la variedad de caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.) Méx 57-473 en la localidad de La Joya, Jalisco.	27
Cuadro 3. Características físico-químicas de los suelos de Ahualulco del Mercado y el ejido La Joya, Jalisco.	28
Cuadro 4. Densidad de estomas en hojas fotosintéticamente activas de variedades de caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.) cultivadas en Ahualulco del Mercado y en el ejido La Joya, Jalisco.	30
Cuadro 5. Variación estacional en la asimilación neta diurna de CO ₂ en variedades de caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.) cultivadas en Ahualulco del Mercado y el ejido La Joya, Jalisco.	33
Cuadro 6. Promedio de la conductancia estomatal diurna en variedades de caña (<i>Saccharum officinarum</i> L.) en las localidades de Ahualulco del Mercado y La Joya, Jalisco.	35
Cuadro 7. Promedio de la fracción molar intercelular diurna en variedades de caña (<i>Saccharum officinarum</i> L.) en las localidades de Ahualulco del Mercado y La Joya, Jalisco.	35
Cuadro 8. Promedio de la resistencia estomatal en variedades de caña (<i>Saccharum officinarum</i> L.) en las localidades de Ahualulco del Mercado y La Joya, Jalisco.	36

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Procesos fisiológicos en la caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.)	13
Figura 2. Precipitación pluvial mensual (barras) y temperatura del aire máxima y mínima promedio mensual en las localidades de Ahualulco del Mercado y el ejido La Joya, Jalisco.	26
Figura 3. Variación en el contenido de agua del suelo a 15, 30 y 60 cm en Ahualulco del Mercado y La Joya, Jalisco.	29
Figura 4. Variación estacional en las tasas de asimilación neta de CO ₂ en caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.) en la región de Ahualulco del Mercado, Jalisco para las variedades Méx 57-473 y CP 72-2086.	31
Figura 5. Variación estacional en las tasa de asimilación neta de CO ₂ en caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.) en la región de la Joya, Jalisco para la variedad Méx 57-473.	32
Figura 6. Crecimiento acumulado en tallos de variedades de caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.) en Ahualulco del Mercado y La Joya, Jalisco.	37
Figura 7. Crecimiento relativo mensual en tallos de variedades de caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.) en Ahualulco del Mercado y La Joya, Jalisco.	37
Figura 8. Crecimiento en diámetro acumulado en tallos de variedades de caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.) en Ahualulco del Mercado y La Joya, Jalisco.	40
Figura 9. Crecimiento en diámetro relativo mensual en tallos de variedades de caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.) en Ahualulco del Mercado y La Joya, Jalisco.	40
Figura 10. Variación estacional en la acumulación de azúcares totales en variedades de caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.) en Ahualulco del Mercado y La Joya, Jalisco.	42
Figura 11. Variación estacional en la acumulación de azúcares reductores en variedades de caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.) en Ahualulco del Mercado y La Joya, Jalisco.	42

RESUMEN

En los últimos años el cultivo de la caña (*Saccharum officinarum* L.) ha experimentado un aumento notable en la superficie cultivada en el área de influencia del Ingenio José María Martínez de Tala en el estado de Jalisco (25,000 has de riego y temporal). Sin embargo, las variedades experimentan nuevos ambientes que presenta una mayor variación en las condiciones climáticas y edáficas. Esta variación en los factores mencionados puede causar efectos en los procesos fisiológicos básicos de la planta, como es el caso de la fotosíntesis, transpiración y respiración, y por consiguiente en el rendimiento comercial de esta especie. El presente trabajo se llevó a cabo en dos áreas de producción de caña de azúcar, la localidad del municipio de Ahualulco del Mercado y el ejido La Joya en el municipio de Magdalena en el estado de Jalisco. Ambas zonas presentan variaciones climáticas y edáficas así como en el manejo agronómico bajo el cual se cultivan las diferentes variedades, por lo que el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de algunas variables climáticas y de manejo agronómico sobre la respuesta fisiológica y de crecimiento en variedades de caña de azúcar Méx. 57-473 y CP 72-2086. Los resultados obtenidos en este primer año de trabajo revelaron que la presencia de periodos largos de sequia aumentó la transpiración en las plantas de caña y por consiguiente se redujo fuertemente las ganancias de carbono. Además, las temperaturas frías presentes en la localidad de la Joya redujeron la concentración de azúcares en tallos.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años el cultivo de la caña (*Saccharum officinarum* L.) ha experimentado un aumento notable en la superficie cultivada en el área de influencia del Ingenio José María Martínez de Tala en el estado de Jalisco (25,000 has de riego y temporal). Sin embargo, para incrementar la frontera agrícola de este cultivo se han establecido plantaciones comerciales las cuales experimentan nuevos ambientes en los que se presenta una mayor variación en las condiciones climáticas y edáficas. Esta variación en los factores mencionados puede causar efectos en los procesos fisiológicos básicos de la planta, como es el caso de la fotosíntesis, transpiración y respiración (Yu, 1999 ; Flexas, *et al.*, 1999; Chaumont *et al.*, 1994), y por consiguiente en el rendimiento comercial de esta especie. A esto hay que agregar el hecho de que en el cultivo de la caña la variación genética es escasa y probablemente nula, por lo que se tiene un reducido acervo genético para enfrentar las variaciones al estrés biótico y abiótico del ambiente en que se desarrolla esta especie. Dos de las zonas importantes de producción de caña de azúcar para el abastecimiento del Ingenio José María Martínez de Tala, Jalisco son la localidad del municipio de Ahualulco del Mercado y el ejido La Joya en el municipio de Magdalena en el estado de Jalisco. Ambas zonas presentan variaciones climáticas y edáficas como las temperaturas del aire, precipitación pluvial y en suelos presentan diferencias en las características físico-químicas, estado nutricional y contenido de agua, así como en el tratamiento agronómico bajo el cual se manejan las diferentes variedades en estas dos localidades.

OBJETIVOS

General:

- Evaluar el efecto de las variables climáticas del ambiente y de manejo agronómico sobre la respuesta fisiológica y de crecimiento en las variedades de caña de azúcar Méx. 57-473 y CP 72-2086 en las localidades de Ahualulco del Mercado y el ejido La Joya, municipio de Magdalena, Jalisco.

Particulares:

- Determinar el efecto del ambiente sobre la variación estacional en las tasas de asimilación neta diurna de CO₂ en las variedades en estudio.
- Determinar el efecto del ambiente sobre la variación estacional en la acumulación de azúcares en tejidos de tallos en las variedades en estudio.
- Definir las etapas del crecimiento en tejido primario meristemático y engrozamiento en tallos y su relación con los factores del ambiente y manejo agronómico en las variedades de caña de azúcar en estudio.

HIPOTESIS

- La actividad fisiológica y de crecimiento de las variedades Méx. 57-473 y CP. 72-2086 es afectada por las diferencias en las condiciones ambientales que se presentan en las localidades de estudio.
- Las ganancias de carbono y la acumulación de azúcares en las variedades en estudio difieren debido a la respuesta de estas a las condiciones climáticas presentes en cada localidad.
- El crecimiento primario en plantas de caña de azúcar esta relacionado a la disponibilidad de energía metabólica de las plantas la cual responde a las condiciones ambientales presentes en cada localidad.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 LA CAÑA DE AZÚCAR

2.1.1 *El cultivo de la caña de azúcar en México*

En México se siembran aproximadamente 700,000 has. de caña de azúcar tanto en condiciones de riego como de temporal con un rendimiento promedio de nacional de 74.87 toneladas/ha. En el área de influencia del Ingenio José María Martínez de Tala, Jalisco se siembran aproximadamente 25,000 has de temporal (5 cortes) y de riego (8 cortes) con un rendimiento promedio de 74 toneladas/ha (inedito). Las variedades más comunes en el área de influencia del Ingenio José María Martínez de Tala, Jalisco son ; CP 72-2086; Méx. 57-473 y Méx 80-1410.

2.1.2 *Descripción taxonómica y origen de la caña de azúcar*

En el desarrollo de la industria azucarera, las variedades comerciales de caña que han contribuido a destacar la importancia de esta rama en la economía de los países, pertenecen básicamente a especies e híbridos del género *Saccharum* (Sánchez, 1972). La planta de la caña de azúcar pertenece a la familia de las gramíneas, del género *Saccharum*. Las variedades cultivadas son híbridos de la especie *officinarum* y otras afines (*spontaneum*). Procede del Extremo Oriente, de donde llegó a España en el siglo IX. España la llevó a América en el siglo XV. Es un cultivo plurianual. Se corta cada 12 meses, y la plantación dura aproximadamente 5 a 8 años. Tiene un tallo macizo de 2 a 5 metros de altura con 5 ó 6 cm de diámetro. El sistema radical lo compone un robusto rizoma subterráneo; puede propagarse por estos rizomas y por trozos de tallo.

2.1.3 Sistemática de la planta

Reino vegetal

División:	Espermatofitas o fanerógamas
Sub-División:	Angiospermas
Clase:	Monocotiledóneas
Orden:	Zacates o Gluminifloras
Familia:	Gramineae.
Sub-familia:	Panicoideae.
Tribu:	Andropogoneae
Sub-tribu:	Sacarineas
Género:	<i>Saccharum</i>
Especie:	spp.

2.1.4 Composición de la caña de azúcar

La caña tiene una riqueza de sacarosa del 14% aproximadamente, aunque varía a lo largo de toda la recolección. El azúcar es un endulzante de origen natural, sólido, cristalizado, constituido esencialmente por cristales sueltos de sacarosa obtenidos a partir de la caña de azúcar o de la remolacha azucarera mediante procedimientos industriales apropiados (Sánchez, 1972; Perafán, 2000). El azúcar es sacarosa, un carbohidrato de origen compuesto por carbono, oxígeno e hidrógeno (carb-o-hidr-ato). Los azúcares blancos son alimentos muy puros con más del 99% de sacarosa. Los azúcares crudos poseen un contenido algo menor de sacarosa (> 94%) pues conservan aún parte de la miel a partir de la cual fueron fabricados (Perafán, 2000; Lingle, 1994).

2.1.5 Constituyentes de la caña.

La caña de azúcar está compuesta por una parte sólida llamada fibra y una parte líquida, el jugo, que contiene agua y sacarosa. En ambas partes también se encuentran otras sustancias en cantidades muy pequeñas.

La sacarosa es la forma básica de la energía en el reino vegetal. Las plantas convierten el agua y el dióxido de carbono (que es un contaminante del aire) en sacarosa, utilizando la energía del sol en el proceso de fotosíntesis. La sacarosa de la caña de azúcar es un disacárido natural formado por los monosacáridos glucosa y fructosa.

Las proporciones de los componentes varían de acuerdo con la variedad (familia) de la caña, edad, madurez, clima, suelo, método de cultivo, abonos, lluvias, riegos, etc. Sin embargo, unos valores de referencia general pueden ser:

Agua: 73 - 76 %

Sacarosa: 8 - 15 %

Fibra: 11 - 16 %

La sacarosa del jugo es cristalizada en el proceso como azúcar y la fibra constituye el bagazo una vez molida la caña.

Otros constituyentes de la caña presentes en el jugo son:

Glucosa: 0,2 - 0,6 %

fructosa: 0,2 - 0,6 %F

Sales: 0,3 - 0,8 %

Ácidos orgánicos: 0,1 - 0,8 %

Otros: 0,3 - 0,8 %

2.2 CRECIMIENTO EN PLANTAS

En las zonas áridas y semiáridas de México el crecimiento vegetal es limitado por diferentes factores, siendo la disponibilidad de agua el principal factor limitante, de ahí lo importante que es conocer aspectos relevantes de este componente principalmente en lo que respecta a la cantidad de precipitación anual, la variabilidad de esta precipitación, y los patrones de distribución esperados de la precipitación estacional. Sin embargo, otras características ambientales como vientos fuertes y secos, humedad relativa, cambios bruscos de temperatura durante el día, el tipo y profundidad del suelo, deficiencia de nutrientes en el suelo y la presencia de sales y sustancias tóxicas contribuyen a limitar el crecimiento de plantas (Pimienta *et al.*, 1995; Quinzenberry, 1987).

En general, el efecto de un estrés se traduce en una reducción de la fotosíntesis y el crecimiento de plantas (Yordanov, *et al.*, 2000). El estrés causado por sequía así como temperaturas bajas pueden limitar la fotosíntesis en plantas (Flexas, *et al.*, 1999). Las temperaturas altas y la presencia de agua en el suelo inducen el crecimiento en plantas de caña de azúcar. Sin embargo, las temperaturas altas del aire y suelo pueden influir negativamente en la productividad y crecimiento de especies al limitar la adquisición y uso interno y externo de carbono, al modificar los gradientes de presión de vapor de hoja-aire que se manifiestan en una mayor resistencia estomatal al intercambio de gases además de afectar los diferentes procesos metabólicos de plantas (Martin *et al.* 1995 ; Udomprasert *et al.*, 1995b).

El crecimiento vegetal es dependiente de la generación de nuevas células en el meristemo y su subsecuente expansión en la zona de elongación (Bradford y Trewavas, 1994). En las plantas, el crecimiento se restringe a determinadas zonas que tienen células producidas recientemente por división celular en un meristemo. Los procesos metabólicos y físicos que producen las curvas de crecimiento son

demasiados complejos (Salisbury y Ross, 1992). En plantas tanto la reanudación y cese del crecimiento en tallos generalmente puede ser correlacionado con factores ambientales físicos en particular. Los factores ambientales frecuentemente ejercen efectos inductivos mediante cambios que evocan el metabolismo y distribución hormonal dentro de la planta. El crecimiento en tallo, o incremento en diámetro, de hecho, es activado por un estímulo hormonal (Moore, 1989).

La sensibilidad como la concentración hormonal reciben atención en muchos estudios de acción hormonal. Para que las fitohormonas presentes en concentraciones micromolares o submicromolares sean activas y específicas, deben de estar presentes tres grandes partes de un sistema de respuesta. En primer lugar, la hormona debe concentrarse en cantidad suficiente en las células adecuadas, segundo, la hormona debe de ser reconocida y capturada con fuerza por cada uno de los grupos de células que responden a ella (las células blanco) y en donde están implicadas las proteínas receptoras, y tercero, la proteína receptora debe de causar algún otro cambio metabólico que conduzca a la amplificación de la señal o el mensajero hormonal (Salisbury y Ross, 1992).

En los meristemas, la transición de la división a la elongación es un paso total o nulo para el caso de células individuales, por lo que una célula individual puede responder de una manera dependiente de la concentración, únicamente en un rango de concentraciones hormonales relativamente limitado. Aunque la sensibilidad puede ser definida como la respuesta inducida por una concentración, la curva dosis-respuesta representa la distribución de diferentes sensibilidades de células a una hormona dentro de la población. Sólo ciertas células o tejidos en la planta responden a un factor de regulación en particular (Bradford y Trewavas, 1994). La respuesta hormonal en tejidos con hormonas de tipo auxínico revelan patrones temporales espaciales de expresión que se correlacionan ampliamente con células, tejidos, y procesos de desarrollo los cuales son afectados por las auxinas por lo que la expresión de genes auxínicos primarios esta confinada a unas cuantas células y tipos de tejidos en estados de desarrollo específicos. Esos

patrones de expresión no son restringidos a células en elongación pero incluye células en división o células con el potencial para dividirse así como tipos de células altamente especializadas (Abel y Teologis, 1996). Las funciones y acciones de las fitohormonas endógenas en la elongación de tallos puede resultar difícil de determinar debido a las interacciones potenciales entre compuestos y a la interrelación de los mecanismos del desarrollo de las raíces y tallos (Cappiello y Kling, 1994, Udomprasert *et al.*, 1995a). En especial el abastecimiento hormonal se puede ver ampliamente influenciado por los factores ambientales (Harris *et al.*, 1995) dado que los patrones de crecimiento tanto de raíces como de tallos por lo general son el resultado de respuestas genéticas involucradas al estímulo ambiental (Liu *et al.*, 1993). La longitud total de la zona de crecimiento y la tasa máxima de expansión son sensibles a los factores ambientales y hormonales (Bradford y Trewavas, 1994). Las temperaturas presentes de día y noche ejercen un marcado efecto sobre el crecimiento de tallos de muchas especies de plantas (Tutty *et al.*, 1994). El contenido de giberelina en tejidos en algunas plantas mantiene una relación directa con el crecimiento de tallos por lo que la síntesis y transporte de esta fitohormona es sensible a la temperatura de la planta (Tagliavini y Looney, 1991), lo que sugiere que un cambio a temperaturas altas puede gradualmente incrementar el contenido de giberelina y la elongación de tallos (Tutty *et al.*, 1994).

El desarrollo y crecimiento vegetal requiere agua, carbón y nutrientes. La producción de biomasa depende sobre la disponibilidad de recursos en el ambiente, la habilidad de la planta para adquirirlos y la cantidad de recursos requeridos para producir una cantidad dada de biomasa. La cantidad de recursos requerida para la producción de biomasa no es necesariamente constante por lo que las plantas generalmente responden a las limitaciones de agua, luz o nutrientes a través del incremento en la eficiencia con la cual un recurso limitante es utilizado en la producción de biomasa nueva (Evans y Black, 1993).

2.3 FISIOLÓGIA DE LA CAÑA DE AZÚCAR

2.3.1 Mecanismos de asimilación de CO₂

La mayoría de las plantas terrestres, incluyendo cultivos como el arroz, soya, y papa, son clasificadas como plantas C₃ que asimilan el CO₂ atmosférico directamente a través del mecanismo fotosintético conocido como C₃. Por otra parte, las plantas C₄ tales como el maíz y la caña de azúcar evolucionaron a partir de plantas obteniendo el mecanismo fotosintético C₄ logrando una alta eficiencia fotosintética y en el uso de agua y nitrógeno (Matsuoka, *et al.*, 2001; Edwards *et al.*, 2001). Las plantas con mecanismos fotosintético C₄ fundamentalmente muestran diferentes respuestas a la temperatura y a las presiones parciales de CO₂ atmosférico en comparación a los tipos evolutivos más primitivos como las C₃. Las plantas C₄ a diferencia de las C₃ tienden a ser favorecidas en climas cálidos y húmedos y por el contrario, las plantas C₃ tienden a ser favorecidas en climas fríos. Observaciones empíricas soportadas por un modelo de la fotosíntesis predice la existencia de un rango climatológico de temperatura (22°C) arriba del cual las especies C₄ tienen ventajas en las ganancias de carbono y por debajo del mismo las especies C₃ son favorecidas. Además de las temperaturas favorables, las plantas C₄ requieren suficiente precipitación durante la estación de crecimiento (Collatz *et al.*, 1998). La habilidad de las plantas para utilizar el CO₂ para la fotosíntesis depende en parte de las propiedades de Rubisco (Ribulosa bifosfato carboxilas/oxigenasa). Sorprendentemente Rubisco tiene poca afinidad por el CO₂, probablemente debido a que esta se desarrolló en una atmósfera que tenía un nivel muy alto de CO₂ comparado con el actual de la atmósfera. Aparentemente Rubisco opera a no más del 30% de su capacidad bajo condiciones atmosféricas normales. Esta es una de las razones por las cuales las plantas C₃ contienen grandes cantidades de Rubisco (Moroney y Somanchi, 1999). En la atmósfera donde el nivel de O₂ es de 21% y el nivel de CO₂ de 0.035%, la competencia por O₂ es cuando mucho 30% de las reacciones catalizadas por Rubisco. Un número de plantas ha desarrollado formas de incrementar el nivel de CO₂ en el sitio de Rubisco dentro de las plantas. Lo

anterior resulta en un incremento en la fijación de CO₂ y una reducción en la reacción negativa de oxigenación. Un excelente ejemplo de un mecanismo concentrador de plantas superiores es el metabolismo fotosintético C₄ (Moroney y Somanchi, 1999).

Las plantas C₄ son de las más estudiadas que concentran el CO₂ para aumentar la reacción de carboxilación de Rubisco. Estas plantas tienen altos niveles de FEP (Fosfoenol Piruvato Carboxilasa) en las células del mesófilo de las hojas, mientras Rubisco está localizada principalmente en las células del haz de vaina (Eduards *et al.*, 2001). Las ventajas que FEP tiene sobre Rubisco son su alta afinidad por el HCO₃ y su insensibilidad al O₂. El ácido C₄ generado en las células del mesófilo posteriormente es transportado a las células del haz de vaina y descarboxilado, creando un nivel elevado de CO₂ específicamente dentro de estas células (Moroney y Somanchi, 1999).

La mayoría de las plantas terrestres utilizan el mecanismo C₃ para la fijación del carbono, en las cuales cada célula fotosintética utiliza Rubisco para fijar el CO₂ directamente dentro de compuestos C₃. En plantas C₄ cooperan células del haz de vaina y del mesófilo completamente diferenciadas en la fijación del CO₂ por medio de mecanismos conocidos como Hatch-Slack (Salisbury y Ross, 1992). En estas plantas el CO₂ atmosférico primero es incorporado dentro de los ácidos C₄ en las células del mesófilo, las cuales posteriormente lo transportan a las células del haz de vaina donde son descarboxilados. De esta manera la liberación de CO₂ es fuertemente fijado por el ciclo C₃. El sistema C₄ es más eficiente bajo ciertas condiciones ambientales debido a la concentración incrementada de CO₂ en las células del haz de vaina que suprimen la actividad oxigenasa de Rubisco y así, la fotorespiración (Casati, *et al.*, 2000).

2.3.2 Respuestas de plantas a la luz

La luz regula muchas facetas del crecimiento y desarrollo vegetal a través de los efectos de la cantidad de energía total y de fotones, calidad espectral, duración y

fotoperiodo. Investigaciones recientes han dado nuevos conocimientos sobre las respuestas de plantas a la calidad espectral de la luz, importancia de la luz transciente, y la adaptación de las plantas a los cambios en los ambientes de luz. Muchas plantas poseen la habilidad para adaptarse rápidamente, en días o aún en horas, a los cambios en los niveles de luz durante el ciclo de vida. Las adaptaciones fisiológicas y morfológicas que ocurren en respuesta a los cambios en los niveles de luz durante el crecimiento, incluye alteraciones en la tasa fotosintética, grosor de hojas, contenidos de clorofila y proteínas, actividades enzimáticas, distribución del peso seco, biomasa, y altura (Holt, 1995). En la mayoría de los días las plantas disponen de altas intensidades de luz que excede su capacidad fotosintética. Lo que constituye exactamente un exceso de luz para una hoja depende de su condición ambiental momentánea lo cual puede variar sobre un amplio rango de niveles de radiación. Por ejemplo, algunas especies presentan una máxima capacidad fotosintética durante el mediodía y posteriormente el grado de fotosíntesis se reduce a lo largo de la tarde conforme la conductancia estomatal se reduce en respuesta a un decremento en el potencial de agua de la hoja (Ort, 2001).

El desarrollo de la caña de azúcar depende en gran medida de la luz del sol, razón por la cual su cultivo de preferencia se realiza en las zonas tropicales que poseen una alta y prolongada radiación solar.

Como lo demuestra la Figura 1, la clorofila existente en las células de las hojas de la caña absorbe la energía de la luz solar [1], la cual sirve como combustible en la reacción entre el dióxido de carbono que las hojas toman del aire [2] y el agua que junto con varios minerales las raíces sacan de la tierra [3], para formar sacarosa [4] que se almacena en el tallo y constituye la reserva alimenticia de la planta, a partir de la cual fabrican otros azúcares, almidones y fibra [5].

Dióxido de carbono + agua = sacarosa + oxígeno.

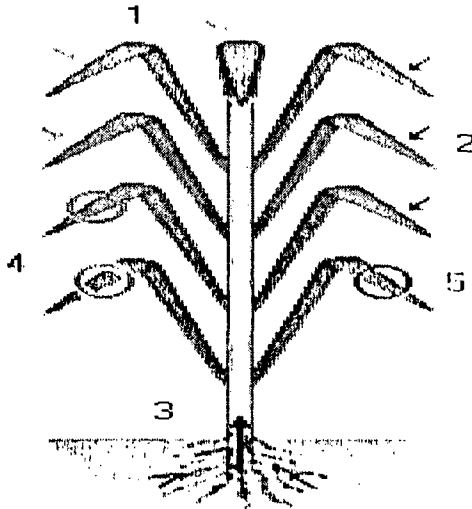
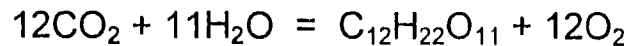


Figura 1. Procesos fisiológicos en la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.)

La caña de azúcar se encuentra dentro del grupo más eficiente de convertidores de la energía solar que existen y que se conocen como plantas C_4 (Salisbury y Ross, 1994).

El crecimiento y la productividad en plantas dependen de las condiciones y recursos ambientales. La productividad vegetal depende sobre la asimilación neta de CO_2 por las partes aéreas, lo cual es influenciado por el estatus de humedad del suelo, la temperatura del aire y la densidad de flujo de fotones fotosintéticos (DFFF: longitudes de onda de 400-700 nm) (Nobel, 1991). La temperatura es uno de los parámetros ambientales más difíciles de incorporarse a los modelos dado que ésta afecta esencialmente cada aspecto de la fisiología de plantas desde la difusión hasta las reacciones enzimáticas y por lo tanto la productividad (Nobel y Hartsock, 1984). Las temperaturas no solamente afectan la fijación neta de CO_2 y la

productividad vegetal sino también su supervivencia. En particular, las temperaturas extremas ocasionales limitan la distribución de poblaciones naturales y ocasionan un daño importante a las cosechas agrícolas.

La fijación de CO₂ sobre períodos de asimilación es crucial para comprender la productividad de cualquier planta y es la base de un índice ambiental de productividad (IAP). El IAP indica la fijación neta de CO₂ diaria relativa con base a la fracción de la máxima fijación neta de CO₂ ocasionada por limitaciones de factores ambientales específicos: IAP = índice de Agua x índice de Temperatura x índice de Luz (Nobel, 1995). Cada índice es la unidad (1.00) cuando el factor es óptimo para la fijación neta de CO₂, y es cero (0.00) cuando este mismo factor la elimina. Por lo tanto, si la sequía prolongada excluye la fijación neta de CO₂, reduciendo el índice de agua a cero, la temperatura y la luz son irrelevantes con respecto a la fijación neta de CO₂, por lo que el estatus de agua sobresale como el factor más importante ya que en ocasiones para algunas especies esta variación del estatus de agua representa el 90% de la variación mensual en el índice de productividad ambiental (Nobel, 1984). De esta forma el IAP puede ser una herramienta útil para la planificación de las prácticas de manejo agrícola (Nobel, 1995).

2.4 Metabolismo de carbohidratos solubles (azúcares) en plantas

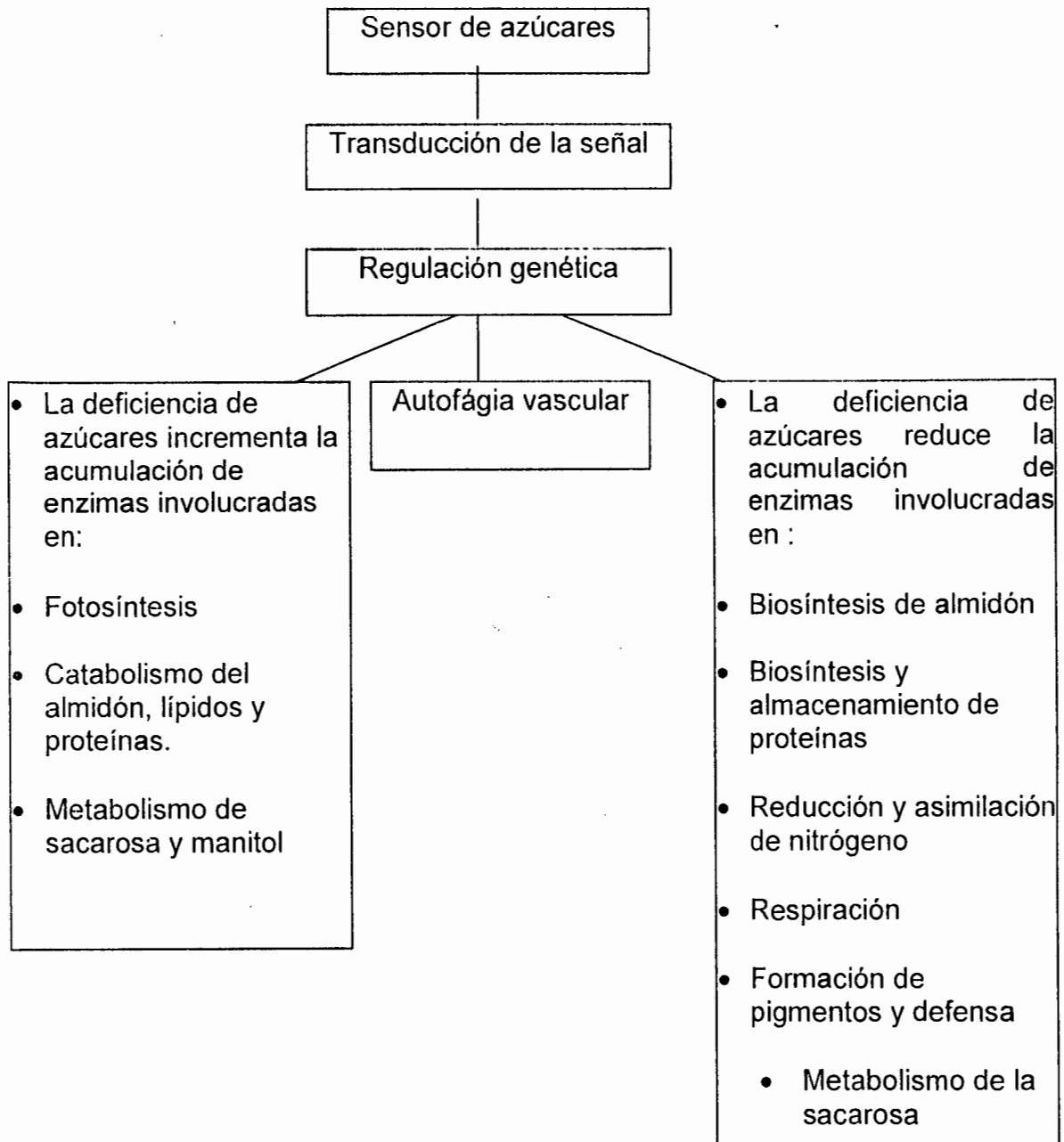
La fotosíntesis convierte la energía solar a energía química, la cual en turno induce la síntesis de azúcares a partir de dióxido de carbono y agua (Yu, 1999). En plantas los cloroplastos proporcionan todo el carbono reducido a partir de la fotosíntesis durante el día y el cual es exportado como triosa fosfato el cual sirve para la formación de sacarosa y azúcares móviles similares (Walker y Herold, 1977) y a partir de la degradación del almidón durante la noche (Schleucher *et al.*, 1998). Durante el día la producción de triosa fosfato dentro de los cloroplastos y la producción de fosfato fuera de estos, resultan en gradientes de concentración que conducen la exportación de triosa fosfato y la importación de fosfato (Schleucher *et al.*, 1998).

La fotosíntesis en hojas maduras produce grandes cantidades de asimilados. Los carbohidratos derivados a partir de hojas maduras se distribuyen en la planta a través del sistema vascular, principalmente en la forma de sacarosa, para sostener el crecimiento de tejidos heterotróficos tales como hojas en desarrollo, ápices, raíces, y órganos reproductivos (Burkle *et al.*, 1998). La mayoría de las plantas almacenan almidón como reserva de carbohidratos, pero alrededor del 15% de todas las especies de plantas florales almacenan fructanos, los cuales son polímeros lineales y de cadena de fructosa. (Vijn y Smeekens, 1999). Entre estas plantas que almacenan fructanos, muchas son de importancia económica, tales como cereales, vegetales, ornamentales y leguminosas forrajeras (Vijn y Smeekens, 1999).

Los azúcares juegan múltiples funciones en todos los aspectos de la vida de las plantas. Primero, proporcionan los mayores sustratos respiratorios para la generación de energía e intermediarios metabólicos que posteriormente son utilizados para la síntesis de macromoléculas y otros constituyentes celulares (Yu, 1999). Segundo, los azúcares (Rib y desoi-Rib) forman parte de la estructura del DNA y RNA. Tercero, los polisacaridos son los mayores elementos estructurales de las paredes celulares vegetales. Cuarto, las uniones a los azúcares son requeridas para la función propia de muchas proteínas y lípidos. Por consecuencia la abundancia y falta de azúcares o sus derivados inician respuestas varias en plantas y tienen profundos efectos sobre el metabolismo, crecimiento y desarrollo sobre las mismas (Yu, 1999).

El abatimiento de carbohidratos puede ocurrir y es una faceta en la mayoría de las plantas. Por lo tanto, las variaciones en los factores ambientales tales como la luz, agua, o temperatura y ataque por patógenos o herbívoros puede inducir a una reducción significativa en la eficiencia de la fotosíntesis en tejidos fuente (Tales como hojas que sintetizan y exportan carbohidratos) y de esta forma se reduce el abastecimiento de carbohidratos a los tejidos de demanda (como tejidos no verdes que importan carbohidratos para la respiración, crecimiento, y

desarrollo). Bajo ciertas condiciones de crecimiento, como por ejemplo, durante un periodo de descanso estacional o después del desprendimiento de las hojas, la fotosíntesis se para u opera a un grado bajo y las reservas de carbohidratos deberán de ser utilizadas y pueden llegar a ser limitadas en tejidos no fotosintéticos. El conocer sobre la respuesta a la deficiencia de azúcares y los mecanismos de adaptación en las plantas es de importancia tanto básica como agronómica (Gibson, 2000; Yu, 1999). Además de desempeñar una función central en el metabolismo, los azúcares tales como glucosa y sacarosa ayudan a regular muchos procesos fisiológicos y de desarrollo en plantas (Koch, 1996; Gibson, 2000), como la inducción floral y un mayor transporte de carbohidratos de hojas a los meristemas apicales (Corbesier *et al.*, 1998), en la germinación de semillas (Finkelstein y Lynch, 2000). Otros procesos de desarrollo afectados por los niveles de azúcares incluye la formación de tubérculos en papa (Mueller-Rober *et al.*, 1992), el control de radio raíz : tallo en una variedad de especies de plantas (Wilson, 1988), ayudan a mantener un control de procesos metabólicos claves tales como la fotosíntesis (Krapp *et al.*, 1993), la síntesis y utilización de almidón y ayuda en la regulación de la expresión de un número significativo de genes vegetales (Koch, 1996). La deficiencia de azúcares inicia cambios en los procesos fisiológicos y bioquímicos sustanciales con el objetivo de sostener la respiración y otros procesos metabólicos esenciales de las plantas. La deficiencia de azúcares también inicia cambios en los procesos celulares para reciclar constituyentes celulares y cambiar dramáticamente los patrones de expresión celular (Yu, 1999).



Tomado de Yu, 1999

En plantas, los fructanos pueden tener otras funciones diferentes al almacenamiento de carbono; han sido implicados en proteger a las plantas contra el déficit de agua causada por la sequía o bajas temperaturas (Pilon-Smiths *et al.*, 1995). El sustrato para la síntesis de fructanos es la sacarosa, y al igual que la sacarosa, los fructanos son almacenados en la vacuola. Aunque la sacarosa es

sintetizada, los fructanos son producidos en la vacuola por la acción de enzimas específicas (fructosiltransferasa) que transfieren la fructosa a partir de la sacarosa a la cadena en crecimiento de fructanos. La síntesis de fructanos es modulada por la luz, la cual cambia la disponibilidad de sacarosa en la célula (Vijn y Smeekens, 1999). Otra razón para que las plantas utilicen sacarosa o fructanos como el principal carbohidrato de reserva está relacionado al clima. La distribución global de plantas que acumulan fructanos demuestra que son especialmente abundantes en zonas con climas templados con sequías o heladas estacionales, pero están casi ausentes en las regiones tropicales. Aunque la biosíntesis de almidón se reduce dramáticamente cuando la temperatura desciende por abajo de los 10°C, la fotosíntesis y la producción de fructanos es mucho menos sensitiva a las bajas temperaturas (Pollock, 1986). El almacenamiento de fructanos puede ser ventajoso para plantas que son fotosintéticamente activas durante el invierno o al inicio de la primavera, lo que puede ser una ventaja para la caña de azúcar en el área de abastecimiento del Ingenio José María Martínez de Tala, Jalisco. La protección del aparato fotosintético y la movilización de las reservas de los fructanos almacenados para inducir un crecimiento rápido cuando las temperaturas se incrementan, son factores que influyen en la evolución de la acumulación de fructanos (Vijn y Smeekens, 1999).

En plantas de caña de azúcar los componentes principales del rendimiento de sacarosa son las concentraciones de azúcares totales en los tejidos. La madurez de la caña de azúcar está asociada con un incremento en la concentración de sacarosa (Lingle y Irvine, 1994; Coale y Ulloa, 1991). La concentración de sacarosa varía en forma natural durante el ciclo del cultivo, tendiendo a ser menor durante los periodos húmedos y calientes que inducen el crecimiento, y es mayor cuando las condiciones ambientales tales como las temperaturas frías o la falta de agua inhiben el crecimiento (Legendre, 1975).

Por lo anterior es de esperarse que la diferencia en las condiciones climáticas y de manejo bajo las cuales se somete a las diferentes variedades

cultivadas en las localidades de Ahualulco del Mercado y el ejido La Joya, Jalisco ejerzan un efecto sobre la actividad fotosintética de las plantas y en especial sobre la variación estacional de azúcares en tejidos de tallos de caña de azúcar y sobre el crecimiento primario.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción de los sitios de estudio. El estudio se llevó a cabo en plantaciones comerciales de caña de azúcar en dos localidades del área de abastecimiento del Ingenio José María Martínez de Tala, Jalisco; Predio el Mirador, municipio de Ahualulco del Mercado (AH); 20° 42' Latitud Norte y 103° 59' Longitud Oeste y a 1310 m.s.n.m. además para efecto de comparación ambiental también se llevo a cabo un estudio similar en el predio la "Joyita" del ejido la Joya (JY), municipio de Magdalena Jalisco; 20° 57' Latitud Norte y 103° 59' Longitud Oeste y a 1380 m.s.n.m. Ambas regiones se caracterizan por tener un clima semicálido semiseco, con una temperatura promedio de 21.4°C y una precipitación promedio anual entre 900 y 1100 mm (INEGI, 1981). Las variedades en estudio fueron la Méx. 57-473 y CP 72-2086 en AH y la misma variedad Méx. 57-473 en la JY.

3.2 Variables físicas del ambiente. Se obtuvieron datos de temperaturas máximas y mínimas a nivel diario y de precipitación pluvial de enero del 2000 a enero del 2001 de los archivos de datos climáticos del Ingenio José María Martínez y de la Comisión Nacional del Agua, Delegación Jalisco ubicadas cerca de los sitios de estudio. Para determinar el contenido de agua en el suelo, cada 15 días se tomaron 2 muestras de suelo a los 15, 30 y 60 cm de profundidad y una distancia de 30 centímetros de las plantas. Las muestras se secaron en una estufa de incubación a 80°C por 72 horas o hasta que no se registrara cambios posteriores en su peso; los datos se expresaron como porcentaje de contenido de agua (masa fresca - masa seca)/masa seca (Torres, 1984). También se determinó el flujo de fotones fotosintéticos. El flujo de fotones fotosintéticos(FFF, longitudes de 400 a 700 nm) se midió cada hora a partir de la puesta del sol hasta antes del ocaso para cada fecha de medición de intercambio de gases con un sensor cuántico (Li-Cor, LI 190S (LI-COR, Lincoln, Nebraska).

3.3 Tasas de asimilación netas diurnas de CO₂. Se realizaron seis mediciones estacionales de tasas de asimilación neta de CO₂ en la caña de azúcar; abril 26 (AH) y 28 (JY) (primavera), junio 16 (AH) y 10 (JY), julio 27 (AH) y 25 (JY) (verano), octubre 17 (AH) y 10 (JY) noviembre 12 (AH) y 25 (JY) (otoño) y enero 9 (AH) y 6 (JY) (invierno). Para la medición de las tasas de asimilación, se seleccionó en cada sitio de estudio 5 cepas al azar para cada variedad. En cada una de las fechas, las determinaciones se realizaron cada dos horas durante periodos de 10 (octubre, noviembre y enero) y 12 horas (abril, junio y julio). Las tasas de asimilación neta de CO₂ se obtuvieron con un Analizador de Gases al Infrarrojo (IRGA) portátil y sensores cuánticos LiCor-6200, NE., equipado con una cámara de 250 cm³.

3.4 Crecimiento primario y grosor de tallos. A partir del mes de junio del 2000 a enero del 2001 se registró el crecimiento y grosor de tallos en las variedades y localidades estudiadas en cuatro tallos orientados cada uno a los cuatro puntos cardinales en cinco cepas previamente seleccionadas al azar. El crecimiento primario se midió de la base del suelo a la última marca de formación de nudo, utilizándose un flexómetro calibrado. Para estimar el diámetro (grosor) se marco el tallo entre el primer y segundo nudo y para su medición se utilizó un vernier. La medición del diámetro se realizó de norte a sur y de oeste a este en cada tallo, para obtener un promedio de ambos.

3.5 Variación estacional de carbohidratos solubles. Para estudiar la variación estacional de azúcares solubles presentes en tejido de tallos, cada mes a partir de junio 2000 a enero 2001, se utilizaron de 3 cepas previamente seleccionadas al azar, segmentos de tallos ubicados entre el segundo y tercer nudo con orientación a los cuatro puntos cardinales de cada variedad y localidad. Las muestras de tejido de tallos fueron almacenadas a -10 °C, hasta el momento de la determinación de los azúcares solubles. La extracción de azúcares en tejido se llevó a cabo con el método descrito por Carnal y Black (1989), con algunas modificaciones. A un gramo de tejido homogeneizado, con la ayuda de un politrón

Glas-Col, se le añadieron 5 mL de etanol (80 %) y se colocó en un baño María a 75°C por cinco minutos. Posteriormente se centrifugó a 12,000 g durante cinco minutos. Se colectó el sobrenadante. El paso anterior se repitió y se colectó un segundo sobrenadante que se combinó con el primero, y se centrifugó a 27,000 g por 20 minutos. Se colectó el sobrenadante y se llevó a un volumen de 25 mL con etanol (80 %). De éste se tomaron alícuotas para evaluar el contenido de azúcares totales y reductores. El contenido de azúcares totales se determinó mediante el método de Dubois *et al.* (1956). Se tomó una alícuota de 0.1ml, del sobrenadante aforado, se añadieron 2ml de antrona (disuelta en H₂SO₄ concentrado). Se agitó en vortex (Maxi- Mix II, Thermolyne) hasta mezclar la muestra con la antrona. Los tubos fueron colocados en un termo – baño (Felisa , modelo 370) a 80° C, durante 10 minutos y dejándolos enfriar durante 2 minutos. Se preparó un blanco de calibración, utilizando agua bidestilada , en sustitución de nuestra muestra problema, añadiéndole la misma cantidad de antrona y la subsiguiente metodología empleada para la muestra en proceso. Inmediatamente después se registró la absorbancia (espectrofotómetro Sequoia-Tuner, modelo 340) a 620 nm.

Por otra parte, el contenido de azúcares reductores fue determinado empleando el método de Somogyi (1952), realizando las adaptaciones pertinentes para manejar en forma adecuada nuestra muestra. A 0.1 ml del extracto de azúcares solubles, le fue adicionado 1 ml de reactivo de cobre, el cual fue, preparado con Cu I (tartrato de sodio y potasio, carbonato de sodio, bicarbonato de sodio y sulfato de sodio) combinado con Cu II (sulfato de cobre y sulfato de de sodio) en proporción de 4:1 los tubos de ensayo fueron colocados en un termo baño (Felisa modelo 370) a 80° C, durante 10 min. Se dejaron enfriar en tubos durante 2 minutos, agregándoles posteriormente 1ml de reactivo de Nelson (molibdato de amonio disuelto en agua bidestilada, ácido sulfúrico mezclado con arsenato de sodio) y agitándolas en vortex (Maxi- Mix II, Thermolyne). Las muestras permanecieron en reposo de 30 minutos en oscuridad. Transcurrido el tiempo de reposo, se registró la absorbancia (espectrofotómetro Sequoia-

Tunener, modelo 340) obtenida a 565 nm. En base a la curva de calibración elaborada con glucosa, fue determinada la concentración de azúcares reductores presentes en nuestra muestra. El cálculo de la concentración de azúcares totales y reductores en tejido se obtuvo mediante las siguientes ecuaciones:

Totales:

$$\frac{\text{Absorbancia} + 0.00547}{107.628} \quad \times \quad 25/\text{Alícuota} = \text{mg/g de glucosa}$$

Reductores:

$$\frac{\text{Absorbancia} + 0.01914}{259.987} \quad \times \quad 25/\text{Alícuota} = \text{mg/g de glucosa}$$

3.6 Densidad de estomas en hojas. Para determinar la densidad de estomas se colectaron cinco hojas fotosintéticamente activas de cada variedad y localidad estudiada. De cada hoja se extrajeron cortes de 1 x 1 cm y posteriormente se montaron en portaobjetos utilizando goma. Se utilizaron 10 repeticiones las cuales se examinaron en un microscopio de luz marca Leitz bajo el objetivo 40X. Para obtener la densidad de estomas/mm² se utilizó la fórmula:

$$A = \text{Pi} (r)^2$$

donde :

$$\text{Pi} = 3.1416$$

$$(r)^2 = 178.139 \text{ (radio del microscopio bajo objetivo 40X)}$$

3.7 Análisis de la información. Los datos fueron analizados bajo un diseño experimental completamente aleatorio de acuerdo a Stell and Torrie (1985).

3.8 Ajuste de curvas. Los datos de crecimiento y grosor de tallos así como los de azúcares fueron ajustados a una curva Polinomial de tercer orden mediante el Programa Sigma Stat 1.01.

IV. RESULTADOS

Características ambientales de las zonas de estudio. Los promedios mensuales diarios de temperaturas extremas del aire oscilaron en AH entre 2.8°C (enero) hasta 16.9°C (junio) durante la noche y desde 30.6°C (enero) hasta 38.3°C (mayo) durante el día (Figura 2a) y en la JY desde 3.0°C (enero) hasta 16.4°C (junio) durante la noche y desde 28.2°C (diciembre) hasta 35°C (abril) durante el día (Figura 2b). Los meses más calientes fueron abril y mayo, justamente antes del inicio del periodo de lluvias, mientras el mes más frío fue enero en las dos localidades en estudio (Figura 2). La localidad de la JY se consideró más fría. La mayor cantidad de lluvia durante el 2000 se registró en la localidad de la JY con 891.5 mm y AH con 841.5 mm anual (Figura 2a y 2b). La mayor cantidad de lluvia (85%) ocurre de junio a septiembre, sin embargo, la mayor concentración se registró entre junio y julio.

En las dos localidades estudiadas en las fechas en que se llevaron a cabo las mediciones de intercambio de gases, el mayor flujo de fotones fotosintéticos (FFF) por día se presentó durante la época seca (abril a junio) con una cantidad promedio de las seis fechas de medición de $1347 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Posteriormente, a partir de la estación de lluvias (julio a enero) la cantidad de luz se redujo gradualmente con cantidades inferiores a los $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ como resultado de la presencia de nubosidad (Cuadro 1 y 2). El promedio de FFF durante el periodo de estudio fue de $979 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

El promedio mensual de temperaturas del aire de día/noche y el promedio de temperaturas diurnas para las fechas en que se llevaron a cabo las mediciones de intercambio de gases se observan en los Cuadros 1 y 2. Las temperaturas diurnas más bajas para AH y La JY se registraron en noviembre, 2000 y enero, 2001 y las más altas en abril junio, julio y octubre del 2000.

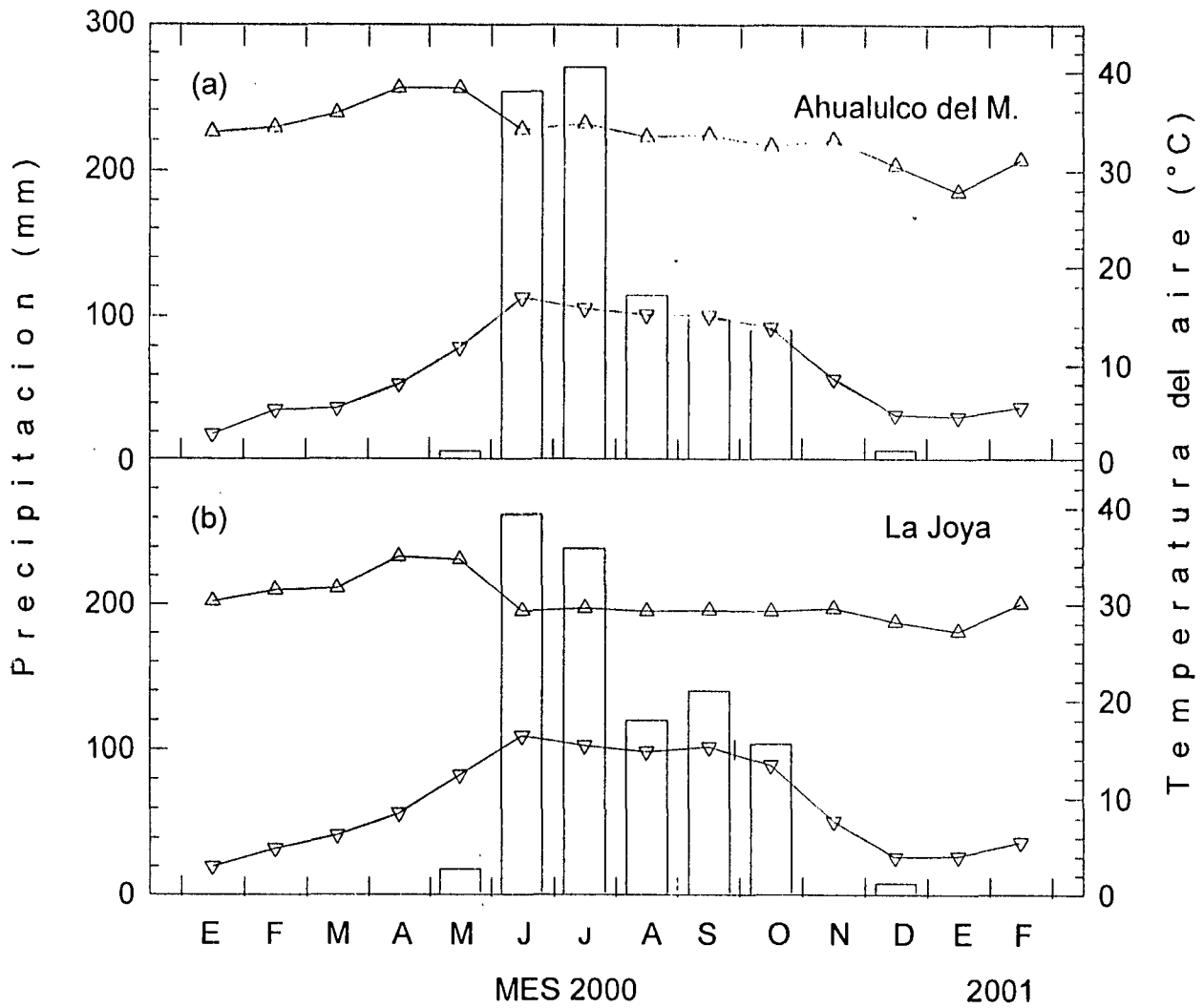


Figura 2. Precipitación pluvial mensual (barras) y temperatura del aire máxima (Δ) y mínima (∇) promedio mensual en las localidades de Ahualulco del Mercado y el ejido La Joya, Jalisco.

Cuadro 1. Variables ambientales y tasas instantáneas máximas de asimilación de CO₂ en variedades de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en la localidad de Ahualulco del Mercado, Jalisco.

Fecha	FFF ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Temperatura (°C)		Tasa máxima asimilación CO ₂ ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	
		diurna ¹ promedio	Máx/Mín Prom mens	Méx.	CP
				57-473	72-2086
Abril, 2000	1150	29.5	40/9	28.7	36.4
Junio, 2000	1297	26.7	29/16	15.3	15.6
Julio, 2000	1042	26.6	35/15	17.8	16.5
Octubre, 2000	597	25.3	32/13	20.4	23.0
Noviembre, 2000	457	24.7	33/12	12.5	10.5
Enero, 2001	306	18.8	29/5	32.5	20.7

¹ = Temperatura diurna promedio del día de la medición de intercambio de gases

Cuadro 2. Variables ambientales y tasas instantáneas máximas de asimilación de CO₂ en la variedades de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) Méx. 57-473 en la localidad de La Joya, Jalisco.

Fecha	FFF ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Temperatura (°C)		Tasa máxima asimilación CO ₂ ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
		diurna ¹ promedio	Máx/mín Prom mens	Méx.
				57473
Abril, 2000	1500	29.5	37/9	22.7
Junio, 2000	1443	25.8	32/15	13.4
Julio, 2000	948	26.3	31/16	18.2
Octubre, 2000	912	24.7	30/15	13.3
Noviembre, 2000	951	22.4	29/7	12.2
Enero, 2001	1152	22.1	29/5	20.1

¹ = Temperatura diurna promedio del día de la medición de intercambio de gases

Durante el periodo de estudio, el mayor contenido de agua en el suelo se registró en la localidad de la JY. En esta localidad a los 15 cm se registró un contenido de agua promedio de 33%, contra un 16% en AH. A los 30 y 60 cm el contenido de agua fue prácticamente el doble en la JY (40% y 56%) con respecto a AH (17 y 20%). La mayor cantidad de agua se registró a los 60 cm de profundidad del suelo en las dos localidades en estudio (Figura 3a y b).

Por lo general los suelos mantuvieron una mayor cantidad de agua durante el periodo de julio a noviembre, mientras el menor contenido de agua se registró durante los meses de abril y mayo (Figura 3a y b).

Características físico-químicas de los suelos. El análisis de suelos reveló que los suelos de AH y JY presentan valores de pH neutros (7.0 – 7.5) y textura franco arcilloso y franco respectivamente. El mayor contenido de M.O se presentó en el suelo de JY con 4.9% y en AH fue de 2.3% (Cuadro 3).

Cuadro 3. Características físico-químicas de los suelos de Ahualulco del Mercado y el ejido La Joya, Jalisco.

Localidad	Textura	pH	NO ₃	NH ₄	P	K	Mg	Ca	M.O.
Ahualulco	Franco arcilloso	7.0	Bajo	Bajo	Medio	Alto	Medio alto	Alto	2.3
Joya	Franco	7.5	Medio alto	Medio	Medio alto	Alto	Medio alto	Alto	4.9

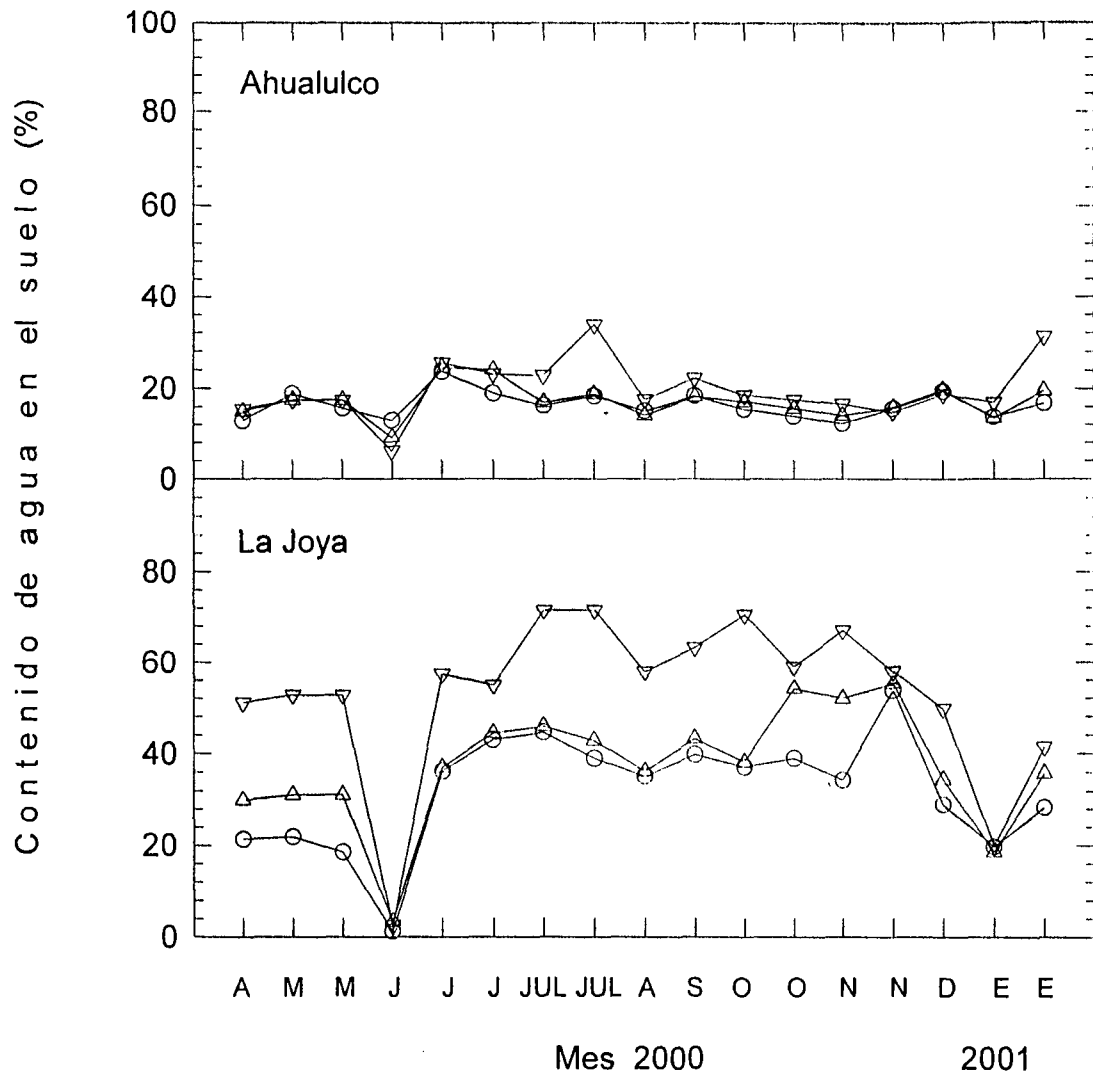


Figura 3. Variación en el contenido de agua del suelo a 15 (○), 30 (△) y 60 (▽) cm en Ahualulco del Mercado y La Joya, Jalisco.

Densidad de estomas en hojas fotosintéticamente activas. El número de estomas fue superior en el envés de las hojas en las dos variedades estudiadas (Cuadro 4). La menor densidad total de estomas se registró en la variedad Méx. 57-473 cultivada en la JY y AH con 264 y 273/mm², respectivamente. La mayor densidad (352/mm²) se registró en plantas de la variedad CP 72-2086 cultivada en AH (Cuadro 4).

Cuadro 4. Densidad de estomas en hojas fotosintéticamente activas de variedades de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) cultivadas en Ahualulco del Mercado y el ejido La Joya, Jalisco.

	Ahualulco		La Joya
	Méx. 57-473	CP 72-2086	Méx. 57-473
	Densidad de estomas / mm ²		
Haz	83	121	83
Envés	190	231	181
Total	273	352	264

Tasas de asimilación neta diaria de CO₂. Los patrones de asimilación neta de CO₂ para la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) fueron típicos de plantas C₄ (Figuras 4 y 5) (Salisbury y Ross, 1992). Las mayores tasas instantáneas de asimilación de CO₂ se registraron entre las 11 y las 14 horas (Figura 4 y 5). Durante la primavera (abril) y el verano (junio y julio) el periodo de asimilación diaria de CO₂ fue de 12 horas y de 10 horas en el otoño (octubre y noviembre) e invierno (enero), registrándose incluso, valores negativos al inicio y final del periodo diario de asimilación (Figuras 4 y 5).

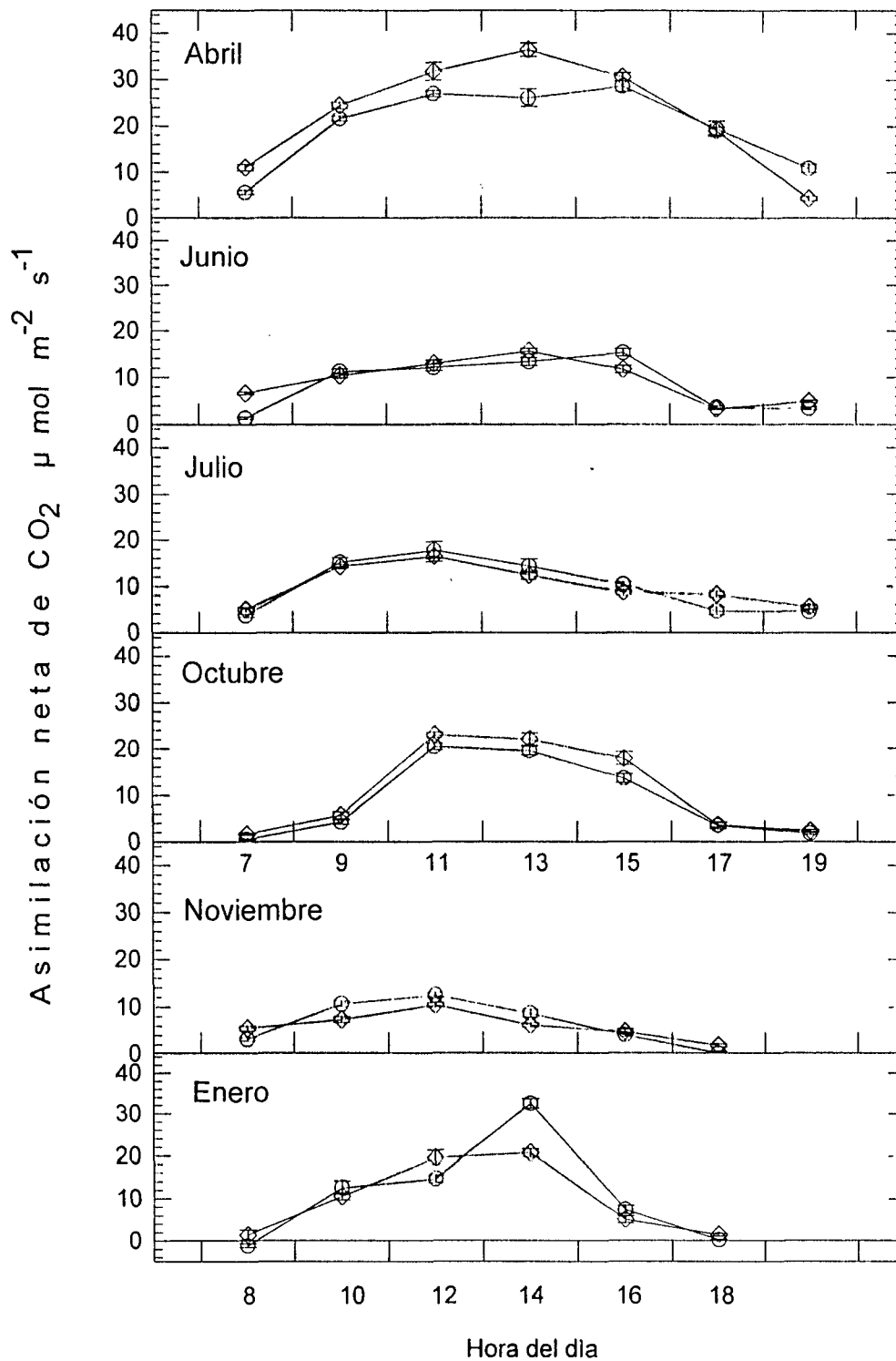


Figura 4. Variación estacional en las tasas de asimilación neta de CO₂ en caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en la región de Aqualulco del Mercado, Jalisco para las variedades Méx 57-473 (○) y CP 72-2086 (◇). Los datos son medias (n = 5) ± e.e.

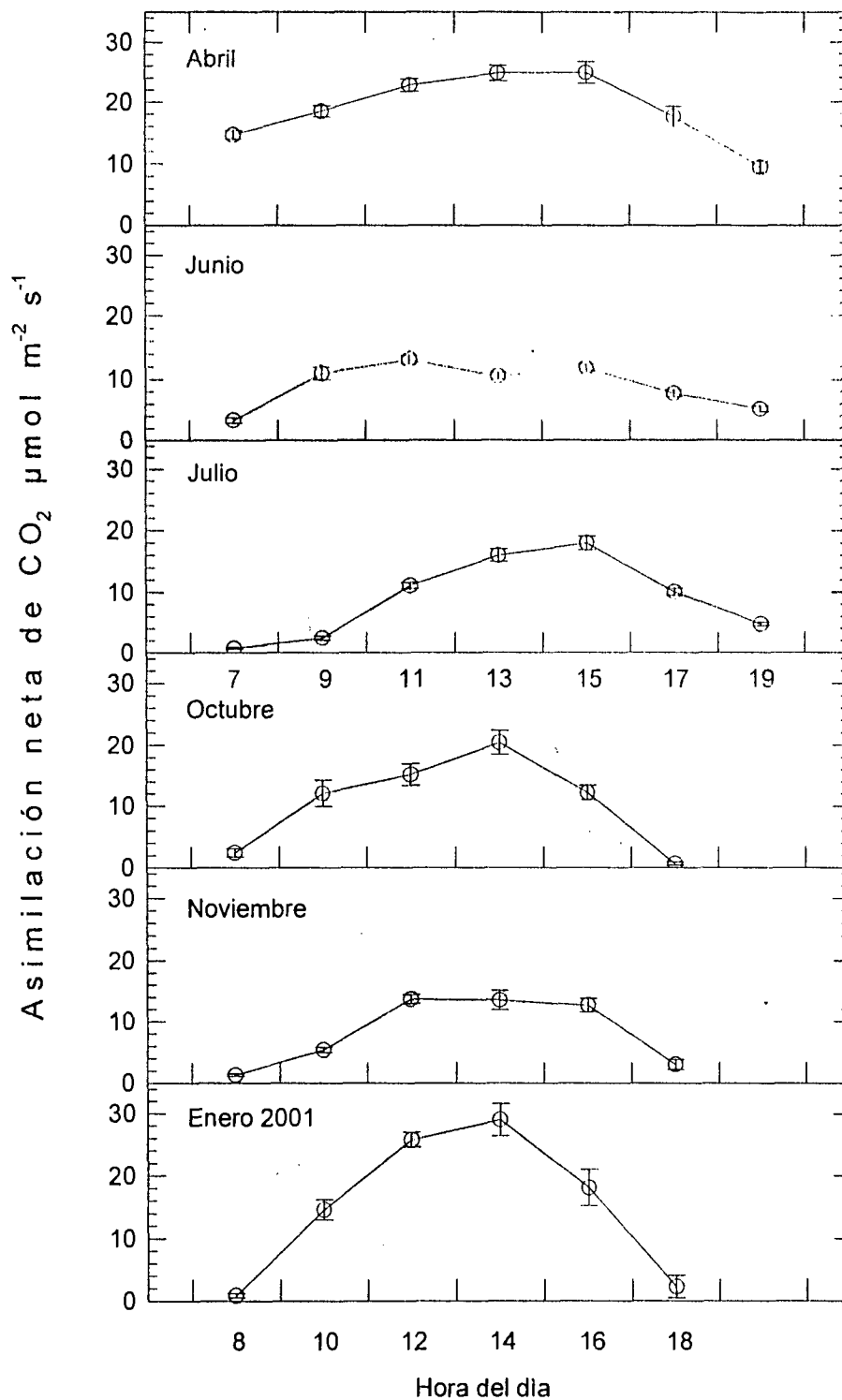


Figura 5. Variación estacional en las tasas de asimilación neta de CO₂ en caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en la región de La Joya, Jalisco para la variedad Méx 57-473 (○). Los datos son medias (n = 5) ± e.e.

La asimilación estacional neta total diurna de CO₂ (mmol m⁻² s⁻¹) obtenida de la integración de las tasas instantáneas presentó diferencias en variedades y durante las diferentes estaciones del año. Los valores más altos se registraron en la primavera (abril del 2000) en ambas variedades (Cuadro 5) con tasas superiores a los 820 mmol m⁻² d⁻¹. Sin embargo, la tasa más alta se registró en la variedad CP 72-2086 cultivada en AH la cual resultó superior en un 12% y 8% a la registrada en la variedad Méx. 57-473 cultivada en la JY y AH respectivamente (Cuadro 5).

Cuadro 5. Variación estacional en la asimilación neta diurna de CO₂ en variedades cultivadas de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en Ahualulco del Mercado y el ejido la Joya, Jalisco.

Fecha	Ahualulco		La Joya
	Méx. 57-473	CP 72-2086	Méx. 57-473
Asimilación neta total diurna de CO ₂ (mmol m ⁻² d ⁻¹)			
Abril ¹	861.5 a	933.9 a	820.3 a
Junio ¹	373.3 b	405.0 b	389.2 b
Julio ¹	436.0 b	435.9 b	389.9 b
Octubre ²	393.5 b	470.6 b	378.3 b
Noviembre ²	237.6 b	218.8 b	299.0 b
Enero ²	486.2 ab	354.1 b	619.3 ab

¹ = PROMEDIO DE 12 HRS / DÍA; ² = PROMEDIO DE 10 HRS / DÍA

Medias dentro de cada columna con diferente letra son significativamente diferentes según la prueba múltiple de DMS a la $P < 0.05$.

Posterior a la primavera (abril), las tasas de asimilación neta de CO₂ se redujeron en el verano (junio y julio) y otoño (octubre y noviembre), resultando

inferiores en más de un 50% (menores a $436 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) a las registradas en la primavera (abril). Sin embargo, los valores más bajos en las tasas se registraron en el mes de noviembre al reducirse en un 70% en las dos variedades. En invierno (enero) las tasas de asimilación se incrementaron nuevamente, sin embargo el incremento fue más notorio en la variedad Méx. 57-473 ($619 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) cultivada en la JY la cual fue superior en un 43% a la CP 72-2086 ($354 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) y 22% a la misma Méx. 57-473 ($486 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) cultivada en AH (Cuadro 5).

El promedio de las tasas de asimilación diurna de las seis mediciones resultó prácticamente similar en ambas variedades y localidades estudiadas.

La apertura de estomas en plantas de las variedades cultivadas en AH, que se mide como conductancia estomatal, fue menor durante la primavera (abril) y al final del otoño (noviembre). Por el contrario, la mayor apertura de estomas se registró durante el verano (junio y julio), inicio del otoño (octubre) e invierno (enero). En la variedad Méx. 57-473 cultivada en la JY, la menor apertura de estomas se registró durante la primavera (abril) verano (junio y julio) y la mayor apertura de estomas se registró durante el otoño (octubre y noviembre) y en el invierno (enero) (Cuadro 6).

La fracción molar del CO_2 interno fue menor durante la primavera (abril) y posteriormente se incrementó gradualmente hasta el invierno (enero) cuando se registraron los valores más altos (Cuadro 7).

La mayor resistencia estomatal en las variedades cultivadas en AH se registró durante la primavera (abril) y al final del otoño (noviembre) y la menor durante el verano (junio y julio). En la variedad Méx -57-473 cultivada en La JY la

Cuadro 6. Promedio de la conductancia estomatal diurna en variedades de caña (*Saccharum officinarum* L.) en las localidades de Ahualulco del Mercado y La Joya, Jalisco.

Fecha	Méx. 57-473	CP 72-2086	Méx. 57-473
	mol m ⁻² s ⁻¹		
Abril, 2000	0.4710 c	0.5362 cd	0.4944 b
Junio, 2000	1.0360 b	1.4408 a	0.3102 b
Julio, 2000	1.4363 a	1.3643 a	0.5826 b
Octubre, 2000	1.0729 b	1.1449 ab	1.0957 a
Noviembre, 2000	0.3753 c	0.3657 d	1.0927 a
Enero, 2001	1.0560 b	0.8743 bc	1.1515 a

Medias dentro de cada columna con diferente letra son significativamente diferentes según la prueba múltiple de DMS a la $P < 0.05$.

Cuadro 7. Promedio de la fracción molar intercelular diurna de CO₂ en variedades de caña (*Saccharum officinarum* L.) en las localidades de Ahualulco del Mercado y La Joya, Jalisco.

Fecha	Méx 57-473	CP 72-2086	Méx. 57-473
	(μmol mol ⁻¹)		
Abril, 2000	245.09 d	281.75 c	248.48 b
Junio, 2000	341.34 c	338.71 b	282.68 b
Julio, 2000	356.25 bc	324.25 b	398.88 a
Octubre, 2000	360.90 bc	346.86 b	410.71 a
Noviembre, 2000	405.81 b	333.10 b	419.54 a
Enero, 2001	479.95 a	438.53 a	398.23 a

Medias dentro de cada columna con diferente letra son significativamente diferentes según la prueba múltiple de DMS a la $P < 0.05$.

mayor resistencia estomatal se presentó en la primavera (abril) e inicio del verano (junio) y la menor durante el otoño (octubre y noviembre) e invierno (enero) (Cuadro 8).

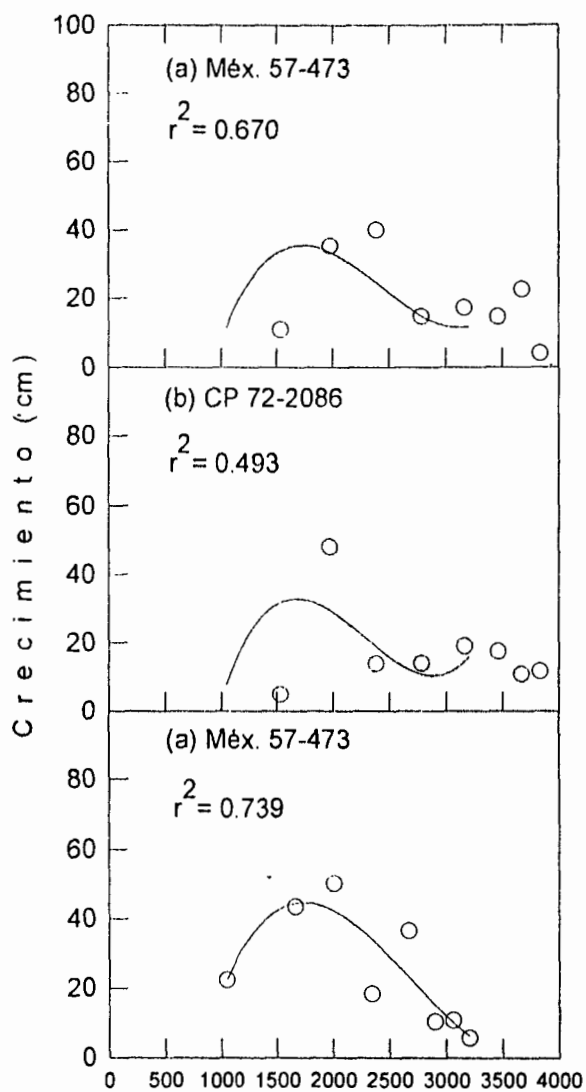
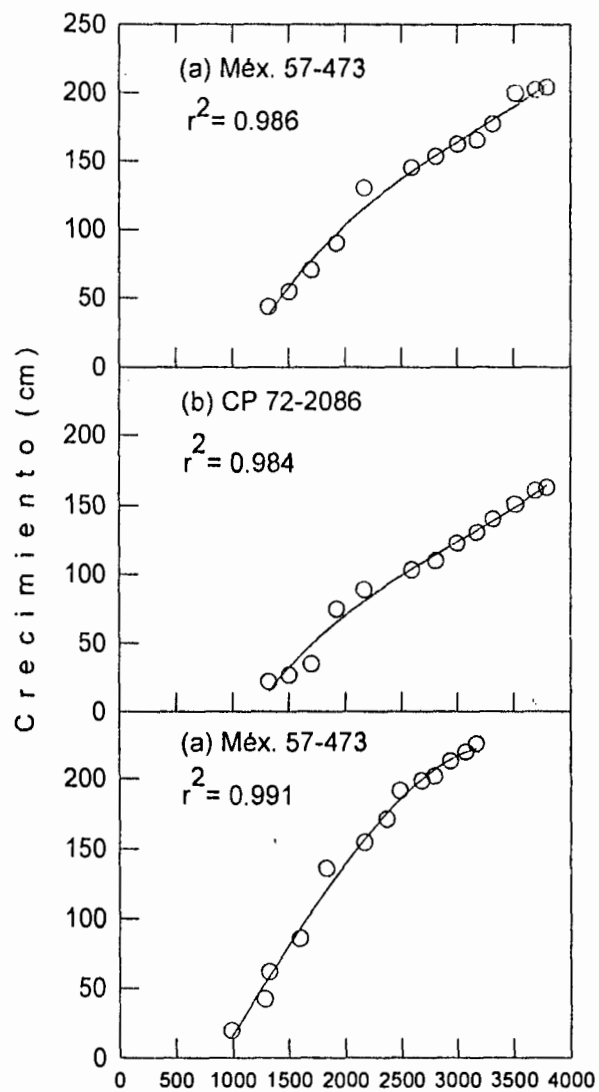
Cuadro 8. Promedio de la resistencia estomatal en variedades de caña (*Saccharum officinarum* L.) en las localidades de Ahualulco del Mercado y La Joya, Jalisco.

Fecha	Méx 57-473	CP 72-2086	Méx. 57-473
Fecha	Méx 57-473	CP 72-2086	Méx. 57-473
Abril, 2000	1.0565 a	0.8418 a	1.5258 a
Junio, 2000	0.4039 bc	0.2590 c	1.5494 a
Julio, 2000	0.3367 c	0.2792 c	0.7479 b
Octubre, 2000	0.5458 b	0.4216 c	0.4681 bc
Noviembre, 2000	1.0803 a	1.1228 a	0.6778 bc
Enero, 2001	0.4618 b	0.7137 b	0.4282 c

Medias dentro de cada columna con diferente letra son significativamente diferentes según la prueba múltiple de DMS a la $P < 0.05$.

Crecimiento primario en tallos. El crecimiento primario en tallos de plantas de caña de azúcar de las variedades Méx. 57-473 y CP 72-2086 cultivadas en AH y La JY presentó una curva de tipo sigmoideal (Salisbury y Ross, 1992), donde se distinguen tres fases; logarítmica, lineal y de senectud (Figura 6a, b y c).

En la variedades Méx. 57-473 y CP-722086 cultivadas en AH la fase logarítmica fue lenta y ocurrió mayormente durante la época seca (primavera) desde el inicio del rebrote en el mes de marzo (posterior al corte), hasta finales del mes de junio (0 a 1500 u.c.a) (Figura 6a y b), tiempo durante el cual las



u.c.a. acumuladas (Temperatura base 11°C)

Figura 6. Crecimiento acumulado en tallos de variedades caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en Ahualulco del Mercado y La Joya, Jalisco.

Figura 7. Crecimiento relativo mensual en tallos de variedades de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en Ahualulco del Mercado y La Joya, Jalisco.

plantas alcanzaron un 27% (Méz. 57-473) y 16% (CP 72-2086), respectivamente del crecimiento final acumulado. Por otra parte, la misma variedad Méx. 57-473 cultivada La JY la fase logarítmica fue muy corta y únicamente se presentó desde el rebrote hasta inicios del mes de junio (0 a 1000 u.a.c.), alcanzando un 9% del crecimiento final acumulado (Figura 6c).

La fase lineal fue de mayor duración con un crecimiento más rápido y constante, lo cual es un indicador de una mayor actividad del meristema apical de los tallos. Esta fase del crecimiento en tallos en ambas variedades cultivadas tanto en AH como en La JY dio inicio paralelamente con el establecimiento del periodo de lluvias (julio) (1500 u.c.a.). En las variedades Méx. 57-473 y CP 72-2086 cultivadas en ambas localidades esta fase se alargó hasta finales del mes de noviembre (otoño) (3500 u.c.a. en AH y 2700 u.c.a. en JY) (Figuras 6a, b y c). En esta fase los tallos lograron valores entre el 85 y 89% del crecimiento final acumulado. Posteriormente a partir del mes de diciembre (invierno) inició la fase de senectud durante la cual el crecimiento se mantuvo a tasas muy bajas hasta prácticamente no registrarse valores a finales del mes de enero. Esta fase dio inicio a las 2950 u.c.a. en la localidad de la JY y a las 3550 u.c.a. en AH (Figura 6a, b y c).

El mayor crecimiento final acumulado hasta el invierno del 2001(enero) se registró en tallos de la variedad Méx. 57-473 cultivada en la JY (225.3 cm), la cual resultó superior en un 10% a la misma variedad cultivada en AH y 28% a la variedad CP-722086 cultivada también en AH (Figura 6a,b y c).

La mayor tasa de crecimiento relativo mensual en tallos de plantas de caña de azúcar de la variedad Méx. 57-473 se registró en el mes de agosto (2387 u.c.a. en AH y 2009 u.c.a. en la JY). Por el contrario, la mayor tasa de crecimiento relativo mensual en la variedad CP 72-2086 cultivada en AH se registró en el mes de julio (1976 u.c.a.) (Figura 7a, b y c).

Engrosamiento de tallos. El crecimiento en diámetro (engrosamiento) de tallos presentó igualmente una curva de tipo sigmoideal con tres fases de crecimiento; logarítmica, lineal y de senectud. En las variedades Méx. 57-473 y CP 72-2086 cultivadas en AH la fase logarítmica del engrosamiento de tallos se presentó desde el inicio del rebrote hasta el inicio del verano (junio) (0 a 1500 en u.c.a.) (Figura 8a, b y c). Por otra parte, la fase logarítmica en la variedad Méx. 57-473 cultivada en la JY se registró al inicio del mes de junio (0 a 1000 u.c.a.). En esta fase logarítmica los tallos alcanzaron entre el 45 y 50% del engrosamiento final acumulado.

Posteriormente, a partir del mes de julio (1700 u.c.a en AH y 1285 u.c.a. en la JY.) la fase lineal dio inicio en la cual se registraron las mayores tasas de engrosamiento de tallos, alcanzando estos entre un 81 y 92% del crecimiento final acumulado. Esta fase activa del engrosamiento fue corta y únicamente se registró durante el mes de julio (1500 a 1950 u.c.a en AH y de 1000 a 1600 u.c.a. en la JY) (Figura 8a, b y c). Posteriormente a partir del mes de agosto (finales del verano) la tasa de engrosamiento declinó y dio inicio la fase de senectud (1950 u.c.a. en AH y 1850 u.c.a en JY), misma que se mantuvo hasta mediados del invierno (enero) (3500 u.c.a.). Sin embargo al final de esta fase en el mes de enero, se registró un ligero incremento en diámetro en todas las variedades posiblemente como producto de la precipitación registrada en el mes de diciembre del 2000. (Figura 8a, b y c).

El mayor incremento en diámetro final acumulado se registró en la variedad Méx. 57-473 cultivada en AH y la JY y el menor incremento en la variedad CP. 72-2086 cultivada en AH la cual resultó 12% inferior en crecimiento en diámetro.

En la variedad mex-57-473 cultivada en AH y la JY la mayor tasa de crecimiento relativo mensual en diámetro se registró entre los meses de junio y

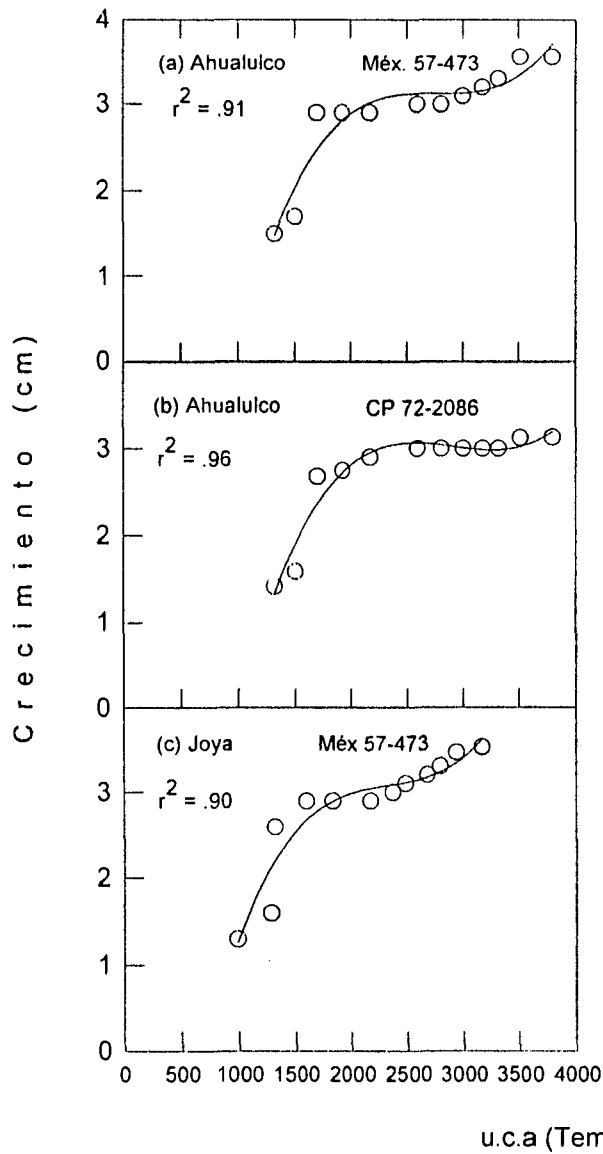


Figura 8. Crecimiento en diámetro acumulado en tallos de variedades de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en Ahualulco del Mercado y La Joya, Jalisco.

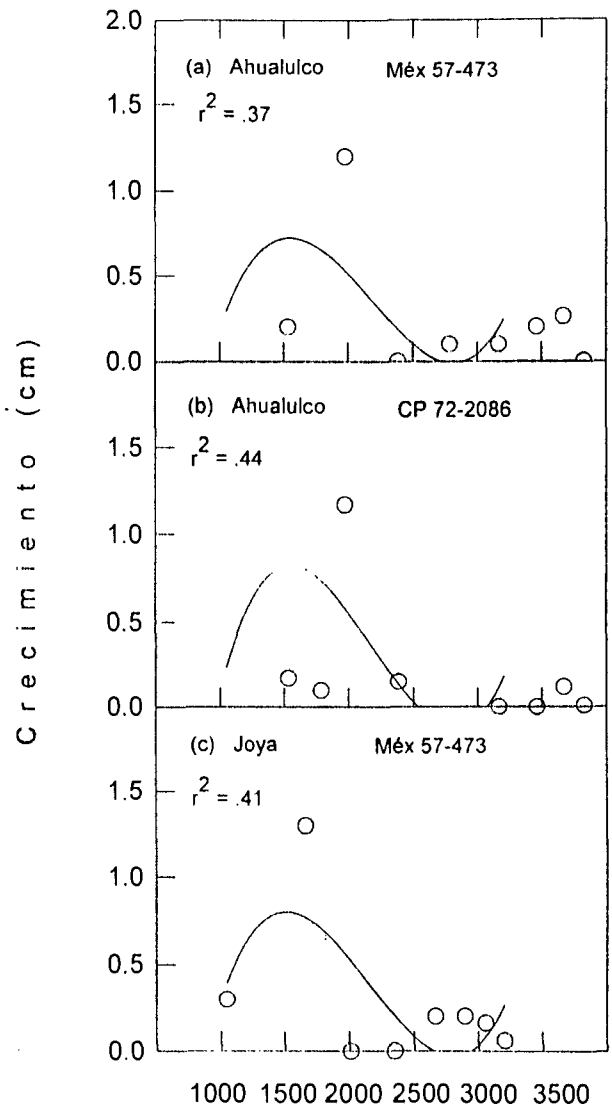
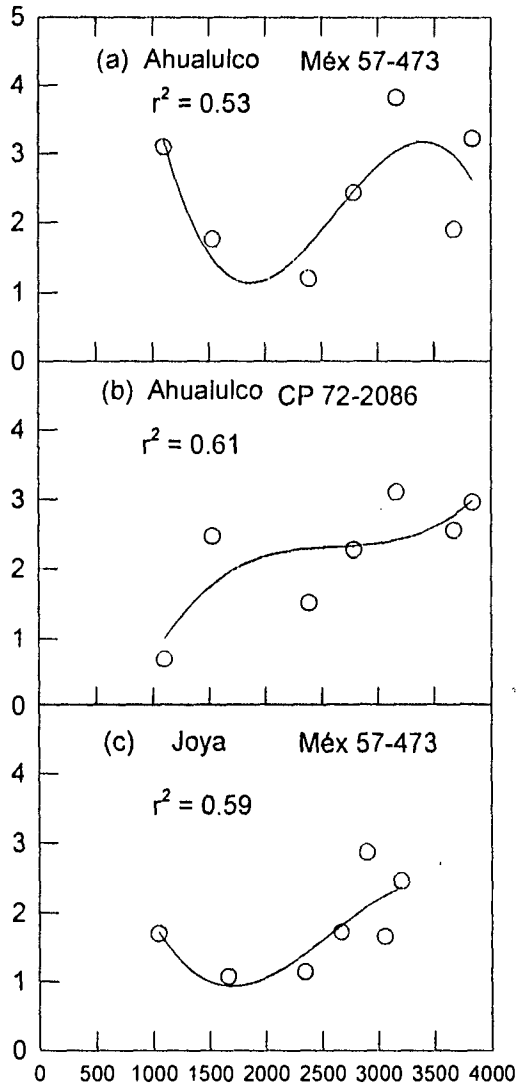


Figura 9. Crecimiento en diámetro relativo mensual en tallos de variedades de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en Ahualulco del Mercado y La joya, Jalisco.

julio (1500 a 2000 u.c.a. en AH y de 2000 a 2400 u.c.a. en JY) alcanzando las plantas más del 35% del diámetro final acumulado (Figura 9a, b y c). Por el contrario la variedad CP 72-2086 registró la mayor tasa de crecimiento relativo entre los meses de julio y agosto (2000 a 2400 u.c.a.)

A partir de agosto las tasas de crecimiento en diámetro por mes se redujeron en más del 80% y en diciembre (3000 u.c.a.) el crecimiento en diámetro prácticamente cesó en todas las variedades (Figura 9a, b y c).

Variación estacional en la acumulación de azúcares. Los azúcares solubles totales por unidad de peso fresco de tallo se mantuvieron bajos durante los meses de junio y julio y posteriormente se incrementaron a partir de septiembre hasta diciembre en ambas variedades y posteriormente a partir de enero estos se redujeron (Figuras 10a b y c). Los azúcares reductores presentaron un patrón de acumulación opuesto al de los azúcares totales al reducirse a partir de septiembre y se mantuvieron bajos hasta el mes de enero. Los azúcares reductores representaron entre el 30 y 40% en el verano (junio) y entre el 3 y 10% en invierno (enero). La menor acumulación de azúcares totales en tejido de tallos se presentó en la variedad Méx. 57-473 cultivada en La Joya y la mayor concentración en la variedad CP 72-2086 cultivada en AH (Figura 10a, b y c).



u.c.a. (Temperatura. base 11°C)

Figura 10. Variación estacional en la acumulación de azúcares totales en variedades de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en Ahualulco del Mercado y La Joya, Jalisco

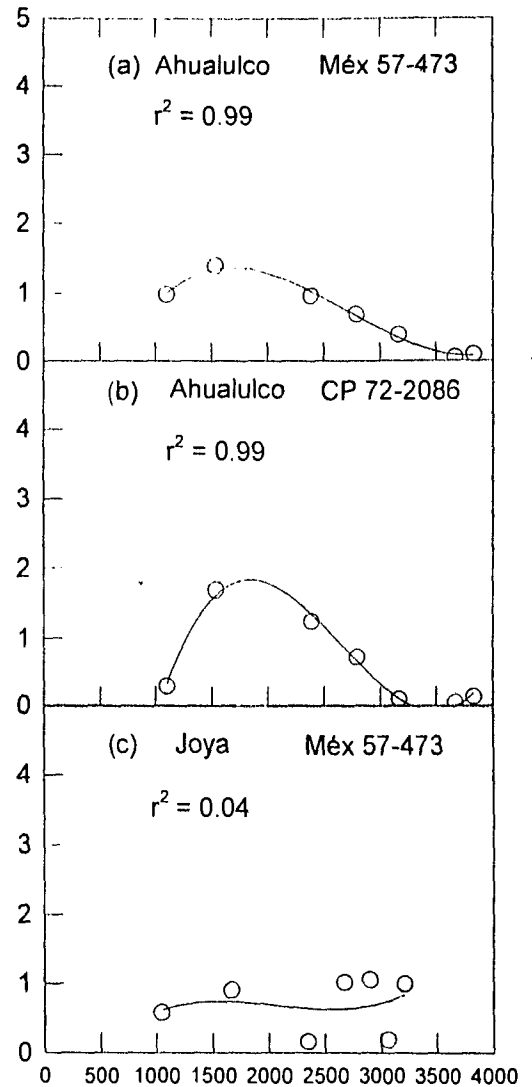


Figura 11. Variación estacional en la acumulación de azúcares reductores en variedades de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en Ahualulco del Mercado La Joya, Jalisco.

V. DISCUSIÓN

Debido a la expansión de la superficie del cultivo de la caña, este ha experimentado nuevos ambientes por lo que en este trabajo se planteó como hipótesis que la variación en las condiciones climáticas y de manejo agronómico podría afectar diferencialmente la actividad fotosintética y de crecimiento de las variedades de caña en las localidades de AH y La JY. Sin embargo, el promedio de las seis mediciones de asimilación neta diaria de CO₂ fue prácticamente similar en ambas variedades y localidades estudiadas, por lo que se asume que las condiciones climáticas y de manejo no fueron suficientemente contranstante para afectar diferencialmente las ganancias de carbono. Por el contrario, las plantas si experimentaron variación en las tasas de asimilación entre las estaciones. Los valores más altos de asimilación neta de CO₂ registrados en abril (primavera) del 2000 fueron debido a que ocurrieron mayores periodos de asimilación (12 h) y a las altas tasas máximas de asimilación instantáneas (de 23 a 37 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) como resultado de la presencia de una alta disponibilidad en el flujo de fotones fotosintéticos y de la presencia de temperaturas diurnas del aire altas (29.5°C) lo que favoreció una mayor actividad fotosintética de las plantas y en especial una mayor concentración de enzimas involucradas en la reducción de CO₂ asimilado ya que las mediciones de intercambio de gases en abril revelaron una menor concentración en la fracción mollar intercelular de CO₂ en las plantas. Por lo general las plantas que se desarrollan con altas cantidades de fotones fotosintéticos se caracterizan por tener mayores concentraciones de enzimas del ciclo de Calvin y una alta conductancia estomatal (Sims y Pearcy, 1994). Sin embargo, la sequía presente en abril si afectó en cierto grado la actividad fisiológica de las plantas al presentar estas una mayor resistencia estomatal y una menor apertura de estomas o conductancia estomatal como lo revelaron las mediciones de gases lo que confirma que durante este periodo las plantas experimentaron una fuerte transpiración o pérdida de agua. Si bien en abril la cantidad de agua presente en el suelo fue baja, aparentemente esta fue suficiente para que las plantas de caña mantuvieran la turgencia y una apertura de estomas

que les permitiera altas tasas de asimilación de CO₂, ya que en AH el productor aplicó un riego de auxilio cada 22 días durante el periodo de sequía y en el caso de la JY aunque el cultivo se maneja bajo condiciones de temporal los suelos mantienen por lo general una mayor humedad debido la presencia de un manto de agua superficial. La sequía también fue determinante en la actividad del crecimiento primario en tallos ya que durante la época seca (marzo – junio) las plantas experimentaron las tasas más bajas de crecimiento por lo que la demanda de energía para sostener el crecimiento fue baja y se reflejó en una mayor acumulación de azúcares totales en los tejidos lo cual es corroborado por los resultados de otros estudios que han reportado que el estrés por una deficiencia de agua generalmente se traduce en una reducción en el grado de crecimiento de plantas y una mayor acumulación de azúcares (Yordanov *et al.*, 2000; Talwar, *et al.*, 1999; Lingle, 1999; Lingle e Irvine, 1994).

En julio cuando la humedad del suelo se incrementó debido al establecimiento del periodo de lluvias, las plantas experimentaron las mayores tasas de crecimiento. Sin embargo, este incremento en la actividad meristemática demandó una mayor energía, por lo que la acumulación de azúcares en tejidos de tallos inició su descenso y en noviembre cuando el crecimiento inició la fase de senectud y las tasas disminuyeron, los azúcares totales se incrementaron nuevamente.

En noviembre cuando las tasas de asimilación netas diurnas de CO₂ disminuyeron a su mínimo valor fue debido a que las plantas experimentaron una mayor resistencia estomatal y una menor apertura de estomas (conductancia estomatal). Posteriormente en enero (invierno) cuando el crecimiento en plantas prácticamente cesó; nuevamente se incrementó la asimilación diurna de CO₂ posiblemente debido a que las plantas experimentaron una menor transpiración por la presencia de temperatura y humedad del suelo adecuada ya que las mediciones de gases mostraron a una menor resistencia estomatal y una mayor apertura de estomas. Debido a que en el invierno el crecimiento es el único evento

fenológico presente en la planta con tasas de crecimiento muy bajas y a punto de cesar, las plantas experimentaron una menor respiración por lo que los azúcares totales en tallos se incrementaron nuevamente y los reductores disminuyeran iniciándose así la fase de madurez de la caña con una mayor acumulación gradual de azúcares.

Por otra parte, la presencia de temperaturas más frías en la localidad de La Joya afectó la síntesis y acumulación de azúcares en tejidos de plantas ya que las variedades Méx. 57-473 y CP 72-2086 cultivadas en AH resultaron superiores en la acumulación de azúcares totales en un 28% y 11%, respectivamente a la Méx. 57-473 cultivada en La JY.

VI. CONCLUSIONES

- Las ganancias de carbono (fotosíntesis neta) en ambas variedades en estudio fueron similares entre la localidad considerada como cálida (Ahuatlulco del Mercado) y la localidad considerada como fría (La Joya), ya que la estimación del promedio de las seis mediciones de asimilación neta diurna de CO₂ (mmol m⁻² d⁻¹) en plantas de caña de azúcar fue similar en ambas localidades.
- En la época en que las plantas experimentan altas tasas de asimilación de CO₂ se requiere de la actividad de dos enzimas Rubisco y FEP, sin embargo para su formación se requiere nitrógeno, por lo que es necesario que el cultivo cuente con una adecuada fertilización nitrogenada especialmente durante la primavera y el verano con la finalidad de optimizar el carbono capturado, en especial los suelos de AH ya que estos registran un bajo contenido de nitrógeno.
- Si bien el riego es necesario durante la época seca, en el caso de las variedades cultivadas en AH el número de riegos (11) no reflejó un mayor efecto estimulador en la actividad fotosintética y de crecimiento en plantas en comparación a la localidad de la JY, por lo que se considera necesario realizar un estudio más específico sobre el efecto de la cantidad y fecha de aplicación de riegos de auxilio, acompañado de un estudio de factibilidad económica, para de esta forma optimizar las ganancias de carbono durante la época seca más crítica y compensar las pérdidas de agua por transpiración.
- El crecimiento meristemático y engrosamiento de tallos como únicos eventos fenológicos que se presentan tienen una alta dependencia de la cantidad de agua en el suelo y de la disponibilidad de energía ganada por la planta, por lo que es necesario un manejo agronómico del cultivo adecuado como riegos de auxilio y una fertilización adecuada para que la planta obtenga suficiente

ganancias de carbono y así disponga de mayor energía para sostener tasas altas de crecimiento.

- La síntesis y acumulación de azúcares es fuertemente limitada por la presencia de temperaturas frías ya que su concentración en tejidos fue menor en la variedad Méx. 57-473 cultivada en la localidad de la Joya donde se presentaron temperaturas nocturnas del aire mas bajas.
- La expansión del cultivo de la caña de azúcar a zonas semiáridas en el estado de Jalisco se puede limitar principalmente por dos aspectos :

La presencia de temperaturas frías o presencia de heladas las cuales limitarían la acumulación de azúcares.

La disponibilidad de agua necesaria en las etapas críticas de sequía que pueden limitar las ganancias de carbono.

Por lo anterior a futuro es necesario desarrollar programas de mejoramiento genético enfocados a obtener materiales con menores requerimientos de agua y mayor tolerancia a temperaturas frías y de esta forma contar con una mayor disponibilidad de material genético para zonas semiáridas donde la disponibilidad de agua se presenta como uno de los principales factores limitantes de la agricultura extensiva.

VII. LITERATURA CITADA

- Abel, S. y A. Teologis. 1996.** Early genes and auxin action. *Plant Physiology*. 111:9-17.
- Bradford, K.J. y A.J. Trewavas. 1994.** Sensitivity thresholds and variable time scales in plant hormone action. *Plant Physiology* 105: 1029-1036.
- Burkle, L., J.M. Hibberd, W.P. Quick, C. Kuhn, B. Hirner y W. B. Frommer. 1998.** The H⁺-sucrose cotransporter NtSUT1 is essential for sugar export from tobacco leaves. *Plant Physiology*. 118: 59-68.
- Cappiello, E.P. y G.J. Kling. 1994.** Changes in growth regulator and carbohydrate levels in roots and shoot tips of *Cornus sericea* during cold storage and emergence from dormancy. *Journal of The American Society for Horticultural Science*. 119(4):785-788.
- Carnal, W.C. and C.C. Black. 1989.** Soluble sugars as their carbohydrate reserve for CAM in pineapple leaves. *Plant Physiology*. 90:91-100.
- Casati, P., M.V. Lara y C.S. Andreo. 2000.** Induction of a C₄-like mechanism of CO₂ fixation in *Egeria densa*, a submersed aquatic species. *Plant Physiology*. 123: 1611-1622.
- Coale, F.J. y Ulloa, M.F. 1991.** Post-freeze deterioration of sugar cane cultivars in Florida. *Journal of the American Society of Sugarcane Cultivars in Florida*. 11: 82-87.
- Cobersier L., P. Leugene y G. Bernier. 1998.** The role of carbohydrates in the induction of flowering in *Arabidopsis thaliana*: comparison between the wild type and starchless mutant. *Planta*. 206: 131-137.
- Collatz, G., J.A. Berry y J.S. Clark. 1998.** Effects of climate and atmospheric CO₂ partial pressure on the global distribution of C₄ grasses: present, past, and future. *Oecologia*. 114: 441-454.
- Chaumont, M., J-F. Morot-Gaudry y C. Foyer. 1995.** Effects of photoinhibitory treatment on CO₂ assimilation, the quantum yield of CO₂ assimilation, D1 protein, ascorbate, glutathione and xanthophyll contents and the electron transport in vine leaves. *Plant Cell Environment*. 18:1358-1366.

- Dubois, M., K.A. Gillies, J.K. Hamilton, P.A. Rebers y F. Smith. 1956.** Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*. 28:350-356.
- Edwards, G.E., R.T. Furbank, M. D. Hatch y C.B. Osmond. 2001.** What does it take to be C₄ photosynthesis. *Plant Physiology* 125:46-49.
- Evans, R.D. y R.A. Black. 1993.** Growth, photosynthesis and resource investment for vegetative and reproductive modules of *Artemisia tridentata*. *Ecology*. 74(5): 1516-1528.
- Finkelstein, R.R. y T.J. Lynch. 2000.** Abscisic acid inhibition of radicle emergence but no seedling growth is suppressed by sugars. *Plant Physiology*. 122: 1179-1186.
- Flexas, J., B. Murray, Chow, W. S., Medrano, H. Y Osmond, Ch. B. 1999.** Analysis of the relative increase in photosynthetic O₂ uptake when photosynthesis in grapevine leaves is inhibited following low night temperatures and/or water stress. *Plant Physiology*. 121: 675-684.
- Gibson, S.I. 2000.** Plant sugar-response pathways. Part of a complex regulatory Web. *Plant Physiology* 124 1532-1539.
- Grodzinski, B., Jiao, J., Leonardos, E. D. 1988.** Estimating photosynthesis and current export rates in C₃ and C₄ species at ambient and elevated CO₂. *Plant Physiology* 117 207-215.
- Haase, P., F.I. Pugnaire, S.C. Clark y L.D. Incoll. 2000.** Photosynthetic rate and canopy development in the drought-deciduous shrub *Anthyllis cytisoides* L. *Journal of Arid Environments*. 46: 79-91.
- Harris, J.R., N.L. Bassuk, R.W. Zobel y T.H. Whitlow. 1995.** Root and shoot growth periodicity of green ash, scarlet oak, Turkish hazelnut, and tree lilac. *Journal of The American Society for Horticultural Science*. 120(2):211-216.
- Holt, S.J. 1995.** Plant Responses to Light: A Potential Tool for Weed Management. *Weed Science*. 43:474-482.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1981.** Nomenclatura de Jalisco.
- Koch, K. E. 1996.** Carbohydrate-modulated gene expression in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 47:509-540.

- Krapp, A, B. Hofmann, C. Schafer y M. Stitt. 1993.** Regulation of the expression of *rbcS* and other photosynthetic genes by carbohydrates: a mechanism of the "Sink regulation" of photosynthesis?. *Plant Journal*. 3: 817-828.
- Legendre, B.L. 1975.** Ripening of sugarcane: effects of sunlight, temperature, and rainfall. *Crop Science*. 15:349-352.
- Lingle, S.E. y J.E. Irvine. 1994.** Sucrose synthase and natural ripening in sugarcane. *Crop Science*. 34: 1279-1283.
- Liu, M., R. Li y M. Liu. 1993.** Adaptative responses of roots and root systems to seasonal changes. *Environmental Experimental Botany* 33:175-188.
- Maroco, J.P., J.S. Pereira y M.M. Chaves. 2000.** Growth, photosynthesis and water-use efficiency of two C₄ sahelian grasses subjected to water deficits. *Journal of Arid Environments*. 45: 119-137.
- Martin, C. A., J.C. Stutz, B.A. Kimball, S.B. Idso, y D.H. Akey. 1995.** Growth and topological changes of Citrus limon (L.) Burn. f. 'Eureka' in response to high temperatures and elevated atmospheric carbon dioxide. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 120(6):1025-10.31.
- Matsuoka, M., R.T. Furbank, H. Fukayama y M. Miyao. 2001.** Molecular engineering of C₄ photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology*. 52: 297-314.
- Moore, T.C. 1989.** *Biochemistry ad Physiology of Plant Hormones*. Springer-Verlag, New York Inc. Second Edition 330 p.
- Moroney, J.V. y A. Somanchi. 1999.** How do algae concentrate CO₂ to increase the efficiency of photosynthetic carbon fixation. *Plant Physiology*. 119: 9-16.
- Mueller-Rober, B., U. Sonnewald y L. Willmitzer. 1992.** Induction of the ADP-glucose pyrophosphorylase and transgenic potatoe leads to sugar storing tubers and influences tuber formation and expression of tuber storage protein genes. *EMBO Journal*. 11: 1229-1238.
- Nobel, S.P y T.L. Hartsock. 1984.** Physiological responses of *Opuntia ficus-indica* to growth temperature. *Physiology Plantarum*. 60:98-105.
- Nobel, S.P. 1995.** Avances recientes en la ecofisiología de *Opuntia ficus-indica* y otras Cactáceas. En: Pimienta-Barrios, E. C. Neri-Luna, A. Muñoz-Urias y F. M. Huerta-Martínez(Comp.). *Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Memorias del 6to. Congreso Nacional y 4to. Congreso Internacional. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México.*

- Talwar, H.S. H. Takeda, S. Yashima, y T. Senboku. 1999.** Growth and photosynthetic response of groundnut genotypes to high temperature. *Crop Science* 39: 460-466.
- Torres, E.R. 1984.** Manual de conservación de suelos. Editorial Diana, México, D.F. 180 p.
- Tutty, R.J., P.R. Hicklenyon and D.N. Kriste. 1994.** The influence of photoperiod and temperature on kinetics of stem elongation in *Dendranthema grandiflorum*. *Journal of The American Society for Horticultural Science*. 119(12) :138-143.
- Udomprasert, N., P.H.Li, D.W. Davis y A.H. Markhart III. 1995a.** Root cytokinine level in relation to heat tolerance of *Phaseolus acutifolius* and *Phaseolus vulgaris*.
- Vijin, I. y S. Smeekens. 1999.** Fructan: More than a reserve carbohydrate ?. *Plant Physiology*. 120: 351-360.
- Wilson, J. 1988.** A review of evidence of the control of shoot:ratio, in relation to models. *Annals of Botany*. 61: 433-449.
- Yordanov, I. V. Velikova y A. Tesonev. 2000.** Plant responses to drought, acclimation, and stress tolerance. *Photosynthetica* 38: 171-186.
- Yu, S-M. 1999.** Cellular and genetics responses of plants to sugar starvation. *Plant Physiology*. 121 687-693.
- Walker, D.A. y A. Herold. 1977.** Can the chloroplast support photosynthesis unaided?. *Plant Cell Physiology*. 51: 295-310