

EFECTO DE LA SUSPENSIÓN DEL RIEGO EN PREFLORACIÓN Y LLENADO DE GRANO EN EL CONTENIDO DE LISINA, TRIPTÓFANO Y RENDIMIENTO EN DOS MAÍCES DE ALTA CALIDAD PROTEÍNICAS

Alexander Mendoza López, Juan Francisco Aguirre Medina, Francisco Javier Cruz Chávez, Leobardo Iracheta Donjuán, María Griselda Vázquez Carrillo y Carlos Hugo Avendaño Arrazate

RESUMEN

Para conocer la influencia de la suspensión del riego en prefloración y llenado de grano, y en el contenido de lisina y triptófano de dos híbridos de maíz de alta calidad proteínica (H-559C y CML176×CML177) y un maíz normal (H-516), se estableció este experimento durante el ciclo otoño/invierno de 2005 en el sitio experimental "La Norteña" en la región del Soconusco, Chiapas, México. Se probaron los tratamientos de riego, suspensión de riego en prefloración y suspensión de riego en llenado de grano, en los tres materiales de maíz. En total fueron nueve tratamientos con tres repeticiones, que fueron establecidos bajo un arreglo de parcelas divididas y distribuidos en un diseño de bloques completos al azar en el terreno. Se evaluaron variables morfológicas y fisiológicas del ren-

dimiento por tratamiento y muestreo. Los resultados se analizaron estadísticamente y se compararon entre sí con la prueba de Tukey ($P \leq 0,01$). Los resultados mostraron que la suspensión del riego en las dos etapas fenológicas produjo alteraciones en las relaciones hídricas de manera diferente en cada genotipo. La suspensión del riego en prefloración indujo disminución del contenido de lisina y triptófano en el H-559C y el contenido de lisina disminuyó en el CML176×CML177 cuando la suspensión del riego se aplicó en el llenado de grano. La suspensión en la etapa de prefloración disminuyó el rendimiento en todos los materiales evaluados y afectó más la morfología, fisiología y el rendimiento de los maíces de alta calidad proteínica, en comparación con la etapa de llenado de grano.

Introducción

El maíz, junto con el frijol, representa la base de la dieta

alimenticia diaria de los mexicanos, principalmente en zonas rurales (Espinosa *et al.*, 1997). El consumo de maíz *per cápita*

en México es de 0,320kg diarios (FAO, 2003) y los maíces criollos, o los disponibles en los mercados, contienen de 7 a 9%

de proteína y, en general, lisina y triptófano en una cantidad de 2g/100g, insuficientes para cubrir las necesidades nutriciona-

PALABRAS CLAVE / Lisina / Maíz / Rendimiento / Suspensión del Riego / Triptófano /

Recibido: 11/09/2010. Modificado: 15/03/2012. Aceptado: 19/03/2012.

Alexander Mendoza López. Ingeniero Agrónomo y Maestría, Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH). Investigador, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), México.

Juan Francisco Aguirre Medina. Ingeniero Agrónomo, Universidad de Sonora, México. Maestría y Doctorado en Botánica,

Colegio de Postgraduados (COLPOS), México. Investigador, INIFAP. Dirección: INIFAP. Campo Experimental Rosario Izapa, Apartado Postal 96. Km. 18 Carretera Tapachula-Cacaohatán C.P. 30870. México. e-mail: aguirre.juan@inifap.gob.mx

Francisco Javier Cruz Chávez. Ingeniero Agrónomo, UNACH, México. Maestría, Universidad Antonio Narro, México. Doctorado, COLPOS, México. Investigador, INIFAP, México.

Leobardo Iracheta Donjuán. Ingeniero Agrónomo, Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), México. Maestría y Doctorado, COLPOS, México. Investigador, INIFAP, México.

María Griselda Vázquez Carrillo. Ingeniera Agrónoma, Universidad Autónoma de Chapingo (UACH), México. Maestría y Doctorado, COLPOS, México. Investigadora, INIFAP, México.

Carlos Hugo Avendaño Arrazate. Ingeniero Agrónomo, UACH, México. Maestría y Doctorado, COLPOS, México. Investigador, INIFAP, México.

EFFECT OF IRRIGATION SUSPENSION IN PRE-FLOWERING AND GRAIN FILLING IN THE CONTENTS OF LYSINE, TRYPTOPHAN AND YIELD IN TWO HIGH PROTEIN QUALITY MAIZE

Alexander Mendoza López, Juan Francisco Aguirre Medina, Francisco Javier Cruz Chávez, Leobardo Iracheta Donjuán, María Griselda Vázquez Carrillo and Carlos Hugo Avendaño Arrazate

SUMMARY

In order to understand the influence of the suspension of irrigation in pre-flowering and grain filling, in the content of lysine and tryptophan of two high quality protein maize hybrids (H-559C and CML176×CML177) and a normal maize (H-516), an experiment was established during the autumn/winter 2005 season at the experimental station "La Norteña" in the region of Soconusco, Chiapas, México. Irrigation, suspension of irrigation in pre-flowering and suspension on grain filling in three maize materials were tried. In total, there were nine treatments with three replications each. They were established under an arrangement of plots divided and distributed in a complete random design at in the field. Morphological and physiological variables performance

by sampling and treatment were assessed. Results were statistically analyzed and compared with the Tukey test ($P \leq 0.01$). Results showed that the suspension of the irrigation produced alterations in water relations in the two phenological stages, differently in each genotype. The suspension of irrigation in pre-flowering induced reductions of lysine and tryptophan contents in H-559C, while lysine content declined in CLM176×CLM177 when the suspension of irrigation was applied during grain filling. The suspension of irrigation in the pre-flowering stage impacted the yield of all the evaluated materials and affected more their morphology, physiology and yield of high quality protein, in comparison with the suspension of irrigation in the maize grain filling stage.

EFEITO DA SUSPENSÃO DA IRRIGAÇÃO EM PREFLORAÇÃO E ENCHIMENTO DE GRÃO NO CONTEÚDO DE LISINA, TRIPTOFANO E RENDIMENTO EM DOIS MILHOS DE ALTA QUALIDADE PROTEICA

Alexander Mendoza López, Juan Francisco Aguirre Medina, Francisco Javier Cruz Chávez, Leobardo Iracheta Donjuán, María Griselda Vázquez Carrillo y Carlos Hugo Avendaño Arrazate

RESUMO

Para conhecer a influência da suspensão da irrigação em prefloração e enchimento de grão, e no conteúdo de lisina e triptofano de dois híbridos de milho de alta qualidade proteica (H-559C e CML176×CML177) e um milho normal (H-516), se estabeleceu este experimento durante o ciclo outono/inverno de 2005, na região experimental "La Norteña" na região do Soconusco, Chiapas, México. Experimentaram-se os tratamentos de irrigação, suspensão de irrigação em prefloração e suspensão de irrigação em enchimento de grão, nos três materiais de milho. No total foram nove tratamentos com três repetições, que foram estabelecidos sob um arranjo de lotes divididos e distribuídos em um desenho de bloques completos aleatórios no terreno. Avaliaram-se variáveis morfológicas e fisiológicas do rendimento por tratamento e amostragem. Os resultados foram analisados estatisticamente e se compararam entre si com a prova de Tukey ($P \leq 0,01$). Os resultados mostraram que a suspensão da irrigação nas duas etapas fenológicas produziu alterações nas relações hídricas de maneira diferente em cada genótipo. A suspensão da irrigação em prefloração induziu diminuição do conteúdo de lisina e triptofano no H-559C e o conteúdo de lisina diminuiu no CLM176×CLM177 quando a suspensão da irrigação se aplicou no enchimento de grão. A suspensão na etapa de prefloração diminuiu o rendimento em todos os materiais avaliados e afetou mais a morfologia, fisiologia e o rendimento dos milhos de alta qualidade proteica, em comparação com a etapa de enchimento de grão.

lógicas do rendimento por tratamento e amostragem. Os resultados foram analisados estatisticamente e se compararam entre si com a prova de Tukey ($P \leq 0,01$). Os resultados mostraram que a suspensão da irrigação nas duas etapas fenológicas produziu alterações nas relações hídricas de maneira diferente em cada genótipo. A suspensão da irrigação em prefloração induziu diminuição do conteúdo de lisina e triptofano no H-559C e o conteúdo de lisina diminuiu no CLM176×CLM177 quando a suspensão da irrigação se aplicou no enchimento de grão. A suspensão na etapa de prefloração diminuiu o rendimento em todos os materiais avaliados e afetou mais a morfologia, fisiologia e o rendimento dos milhos de alta qualidade proteica, em comparação com a etapa de enchimento de grão.

les de algunos consumidores (Mertz, 1994), especialmente de los niños, los ancianos y las mujeres embarazadas (Foege, 1994). Esta condición ha sido superada mediante el desarrollo de genotipos de maíz que contienen mayor concentración de los aminoácidos citados, tales como los desarrollados por el Centro Internacional de Maíz y Trigo (Días e Hironaka; 1994 CIMMYT, 1998) y representan una alternativa para aumentar el nivel nutricional, sobretodo del consumo en las áreas rurales (Pixley y Bjarnason, 2002), donde los habitantes dependen en mayor grado de la tortilla para su alimentación, como sucede en los países en desarrollo

de América Latina y de África, que no consumen suficientes proteínas para tener una buena salud (CIMMYT, 2000; Fuentes-López *et al.*, 2005).

El maíz se siembra principalmente en la temporada de lluvias y bajo esta condición, casi todos los años, se expone a la sequía intermitente que afecta su rendimiento y en general, el desarrollo del cultivo, lo que sucede en México (Reta y Faz, 1999) y en África (CIMMYT, 2003). La sequía induce cambios morfológicos y fisiológicos en la planta, como son el incremento en la relación raíz/vástago (Creelman *et al.*, 1990), el cierre de los estomas y disminución de la conductancia esto-

mática (Barker *et al.*, 1993; van Herwaarden *et al.*, 1998), de la tasa de asimilación de CO₂ y la pérdida de turgencia (Barker *et al.*, 1993), con disminución en el crecimiento de la hoja (Nonami y Boyer 1993; Fromm y Fei, 1998) y en general la producción de biomasa de la planta (Eck, 1984, Li *et al.*, 1991; Cornic y Masacci, 1996). Estos efectos van a impactar en el desarrollo de las plantas dependiendo de la intensidad y duración de la escasez de agua, de la rapidez con la que se alcance dicha intensidad, de la etapa fenológica en que se presente y al acondicionamiento previo de la planta (Begg y Turner, 1976; Hsiao *et al.*, 1976). Ante esta

situación se cuestiona si la sequía, inducida en prefloración y llenado de grano, induce alteraciones en los contenidos de lisina y triptófano en dos híbridos de maíz de alta calidad proteínica (H-559C y CML176×CML177) en comparación con un maíz normal (H-516).

Materiales y Métodos

Área de estudio y material biológico

El experimento se desarrolló en campo durante el ciclo Otoño/Invierno del 2005 en el sitio experimental "La Norteña" del Campo Experimental Rosario

Izapa, en el Soconusco, Chiapas, México, localizado en 14°45'34"N y 92°23'12"O, a 40msnm. El clima corresponde al tipo Aw₂(w)ig, con 1200 a 1500mm de lluvia anual, distribuida entre los meses de junio a noviembre y temperatura media anual de 26°C. Durante el periodo de evaluación no se registró precipitación.

El suelo del área experimental es de textura migajón-arcillosa, con una pendiente de 2%, drenaje superficial medio con infiltración lenta; el pH es ligeramente ácido (6,53), con una densidad aparente de 1,53; CE de 0,07 (Dsm -1 a 25°C); NH₄⁺ 14mg·kg⁻¹; NO₃⁻ 12,0; P (Olsen) 13; y K⁺ int. 289 (Colegio de Postgraduados, 2005).

Se utilizaron los híbridos H-516, H-559C y el híbrido experimental (CML176×CML177), procedentes del Programa de Mejoramiento Genético del INIFAP, Iguuala, Guerrero, México. La nomenclatura precedida de la letra 'C' en los materiales, indica su alta calidad proteínica.

Siembra y tamaño de la parcela

La siembra se realizó el 13/12/2005 de forma manual y se depositaron cuatro semillas por cepa con 50cm entre planta y a una profundidad de ~4-5cm. La distancia entre surcos fue de 0,90m. A la emergencia se ajustó la población y se dejaron dos plantas por cepa, que equivalen a una densidad de 44444 plantas/ha. Los tratamientos de humedad (parcelas grandes) se delimitaron con calles de 2m de ancho y un bordo entre cada una de ellas. La unidad experimental estuvo constituida por cinco surcos de 6m de largo, la útil por tres surcos centrales con una longitud de 5m y en total el área experimental fue de 33×60m (1980m²).

Tratamientos y diseño experimental

Se tuvieron nueve tratamientos, que son la combinación de los tres materiales (H-559C, CML176×CML177 y H-516) con los tres regímenes de hu-

medad (riego durante todo el ciclo, suspensión del riego en prefloración y suspensión del riego en llenado de grano) y fueron distribuidos en un diseño de bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas en el terreno, con tres repeticiones. Las parcelas se delimitaron hacia las condiciones de humedad contrastante y las unidades experimentales a los materiales de maíz. En el tratamiento con riego durante todo el ciclo se aplicaron diez riegos, iniciando con el primero al término de la siembra y los posteriores a los 12, 22, 30, 41, 50, 57, 64, 76 y 86 días después de aquella. En los otros tratamientos se aplicaron de manera similar los cinco primeros riegos y las suspensiones se realizaron a partir del sexto y séptimo riego para el tratamiento en floración, y a partir del séptimo en llenado de grano. En ambos casos, en suspensión del riego en prefloración y llenado de grano, se continuaron los riegos octavo y noveno

Se realizaron muestreos destructivos para determinar la asignación de materia seca y la relación raíz/vástago. En la condición de riego se realizó el muestreo a los 54 dds (días después de la siembra), en la condición de suspensión del riego en prefloración se realizó a los 82 dds (28 días después de interrumpido el riego) y en la condición de suspensión del riego en llenado de grano el muestreo fue a los 135 dds (28 días después de interrumpido el riego).

Variables medidas

Las variables de respuesta de la planta se registraron mediante muestreos destructivos para determinar la asignación de materia seca por componentes del rendimiento y la relación raíz/vástago. En el suelo se registró el contenido de humedad a tres profundidades, mientras que el contenido de lisina y triptófano fue medido en el grano.

Asignación de materia seca y relación raíz/vástago. La biomasa se obtuvo al pesar de los

componentes fisiológicos de las plantas en una báscula analítica (Ohaus) después de secarlo en una estufa de aire forzado a 75-80°C hasta peso constante (Roberts *et al.*, 1988). La relación raíz/vástago fue determinada con el peso seco del sistema radical y la parte aérea de acuerdo con Boonstra, citado por Böhm (1979).

Potencial de agua total en planta (Ψ_w). Se determinó con una bomba de presión tipo Scholander (Soil Moisture, Santa Bárbara, CA, EEUU) y se registró en MPa. Se seleccionó la novena hoja de la planta y se cortó desde la lígula a las 12:00 del mediodía todos los días, hasta que se alcanzaron los valores mínimos y la humedad cercana a PMP (DEFINIR).

Contenido de humedad del suelo. Se registró para cada tratamiento todos los días a las 8:00, a tres niveles de profundidad: 0-0,30; 0,30-0,60; y 0,60-0,90m. En campo se determinó el peso húmedo y en laboratorio el peso seco. El suelo se deshidrató a una temperatura de 110 ±1°C durante 24h en estufa de aire forzado.

Contenido de lisina. Se empleó el método colorimétrico descrito por Tsai y modificado por Villegas y Mertz (1971). El análisis se efectuó tanto en grano entero como en endospermo, en ambos casos las muestras se desgrasaron previamente.

Contenido de triptófano. Se obtuvo con el método de Opienska-Blauth modificado por Hernández y Bates (1969).

Rendimiento y peso de 100 semillas. Al grano cosechado le fue medido el contenido de humedad con un determinador de humedad (Stenlite, modelo 55250) y se ajustó a 14% de humedad para estimar el rendimiento por tratamiento. El peso de 100 semillas se determinó en base al peso seco de cuatro muestras de 100 semillas cada una.

Análisis estadístico

Para determinar los efectos entre tratamientos se realizó un

análisis de varianza para cada variable con el procedimiento PROC ANOVA. Posteriormente se aplicó una comparación de medias (Tukey, P≤0,01) utilizando el programa computacional Statistical Analysis System (SAS 1999-2000, versión 8.1).

Resultados

Los tratamientos establecidos entre los materiales y las condiciones de riego permitieron inducir un efecto diferencial en la velocidad de deshidratación del suelo y, de manera concomitante, la respuesta en el potencial hídrico de la hoja, rendimiento, biomasa y contenido de lisina y triptófano (Figuras 2, 6 y 7).

En los muestreos de biomasa, la asignación de materia seca en los componentes del rendimiento del H-516 en la condición bajo riego de los tres materiales fue superior y estadísticamente diferente en todos sus componentes, en comparación con los materiales H-559C y CML 176×CML 177. Este comportamiento se mantuvo en vástago y raíz hasta el final de la evaluación. Los materiales de alta calidad de proteína produjeron cantidades semejantes de biomasa radical y el híbrido experimental CML176×CML177 logró mayor desarrollo del vástago (tallo, lámina foliar y vaina) en comparación con el H-559C. Cuando se suspendió el riego en prefloración y en llenado del grano, no se encontraron diferencias importantes en la biomasa de los materiales evaluados. Seguramente a este tiempo ya habían expresado su potencial de desarrollo. Al suspender el riego en prefloración creció más la raíz del H-559C en comparación con los otros materiales, pero en la condición de suspensión del riego en llenado de grano este hecho se presentó en el H-516 (Tabla I).

Las diferencias en el potencial de agua total en lámina foliar de los tres materiales se presentaron a partir del sexto día de haber suspendido el riego. El maíz con potenciales más bajos fue el H-516. Los dos maíces categorizados

TABLA I
COMPARACIONES DE MEDIAS DE BIOMASA SECA
DE PLANTAS DE MAÍZ CON SUSPENSIÓN DEL RIEGO
EN PREFLOREACIÓN Y LLENADO DE GRANO
EN EL SOCONUSCO, CHIAPAS, MÉXICO

Días después de la siembra	Genotipo	Peso seco (g/planta)	
		Raíz ^y	Vástago
52	H-559C	1,4167 b	8,4779
	CML176×CML177	1,4667 b	11,166
	H-516	4,9833 a	30,1667
		CV: 9,21	CV: 6,9
82*	H-559C	6,4000 b	42,422
	CML176×CML177	7,0333 b	44,532
	H-516	9,4100 a	67,629
		CV: 4,3	CV: 8,7
108**	H-559C	6,7333 b	44,199
	CML176×CML177	6,8000 b	46,462
	H-516	11,6633 a	66,832
		CV: 13,3	CV: 9,2

Valores promedio de 12 plantas por tratamiento.

* 17 días de suspensión de riego y el muestreo de biomasa se realizó siete días después del riego.

** 27 días de suspensión del riego y el muestreo de biomasa se realizó 10 días después del riego.

^y Valores con la misma letra dentro de cada factor y columna son iguales (prueba de Tukey, $P \leq 0,05$).

DMS: Diferencia mínima significativa, CV: Coeficiente de variación

como de alta calidad proteínica mostraron mayor tolerancia a la suspensión del riego por más tiempo; es decir, los síntomas de marchitez se alcanzaron 13-14 días después de suspendido el riego. Sin embargo, en los tres genotipos, a partir del día 16 después de la suspensión del riego, presentaron claros síntomas de marchitez y se alcanzaron valores de -1,3 a -1,4MPa. En general, la

disminución progresiva del contenido de humedad en el estrato de 0-0,30m del suelo provocó disminución en el Ψ_w del vástago (Figura 1).

El rendimiento de grano de los tres materiales disminuyó con la suspensión del riego en las dos etapas fenológicas. Para los híbridos CML176×CML177 y H-516 fue más determinante la suspensión del riego en la etapa de prefloración y para el

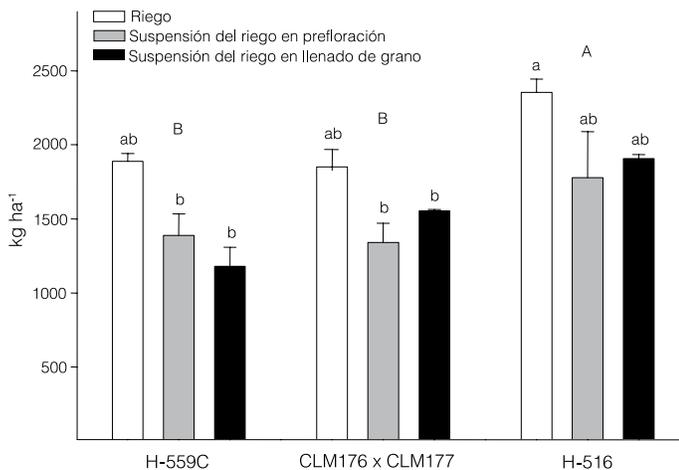


Figura 2. Rendimiento de grano de tres híbridos de maíz bajo tres condiciones de humedad edáfica. Línea vertical: \pm error estándar de tres repeticiones. Las literales en cada uno de los grupos de barras indican diferencias estadísticas entre los híbridos (mayúsculas) y la condición de humedad del suelo (minúsculas).

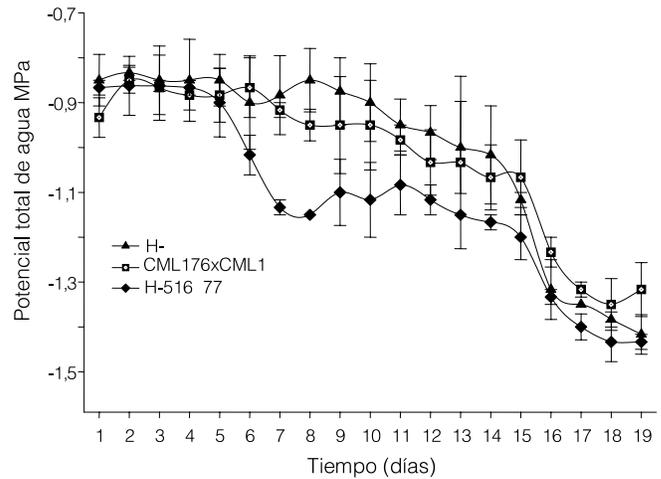


Figura 1. Potencial total de agua en lamina foliar de tres híbridos de maíz. La suspensión del riego fue de 19 días en prefloración. Línea vertical: \pm error estándar de tres repeticiones.

H-559C, lo fue con la suspensión del riego en la etapa del llenado de grano (Figura 2). La suspensión del riego en prefloración disminuyó el rendimiento de H-516, CML176×CML177 y H-559C en 24, 27 y 26% respectivamente.

El peso del grano disminuyó más en el CML176×CML177 y el H-516 con la suspensión del riego durante el llenado del grano (10,7 y 18% respectivamente) en comparación con la suspensión del mismo en prefloración, que fue entre el 6 y 7%. En el maíz H-559C el peso del grano se afectó por igual con los dos tratamientos de suspensión del riego (13 y 14%; Figura 3).

La humedad del suelo en todo el lote experimental y entre los materiales evaluados fue similar. Por esta razón se presentan los valores por tratamiento de riego. A la profundidad de 0,30m disminuyó de 30 a 21% con la suspensión del riego en prefloración y en los estratos más profundos se mantuvo sin cambio (Figura 4). Este hecho sugiere que el comportamiento de los materiales ante la suspensión del riego se debe a la falta de humedad en el estrato más superficial del suelo. La suspensión del riego en prefloración afectó más el desarrollo de la planta, debido a que en esta etapa su sistema radical es poco profundo, y aun cuando

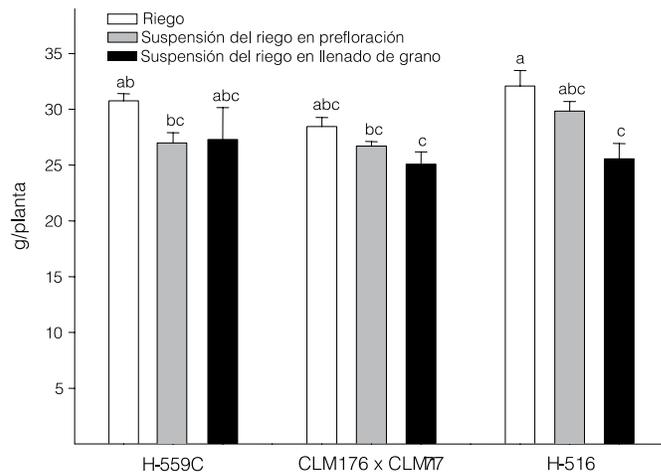


Figura 3. Peso de 100 semillas de tres híbridos de maíz bajo tres condiciones de humedad edáfica. Línea vertical: \pm error estándar de tres repeticiones. Las literales en cada uno de los grupos de barras indican diferencias estadísticas entre tratamientos.

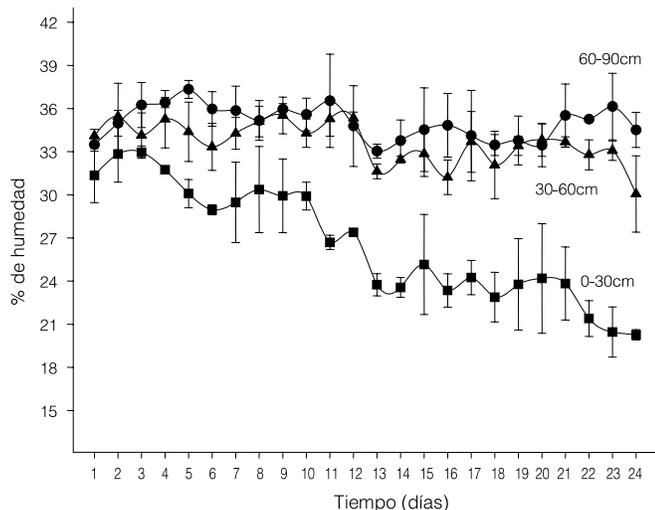


Figura 4. Humedad del suelo en diferentes estratos de profundidad con suspensión del riego en la etapa de prefloración en tres híbridos de maíz. Línea vertical: \pm error estándar de tres repeticiones. El muestreo inició cinco días después del riego a saturación.

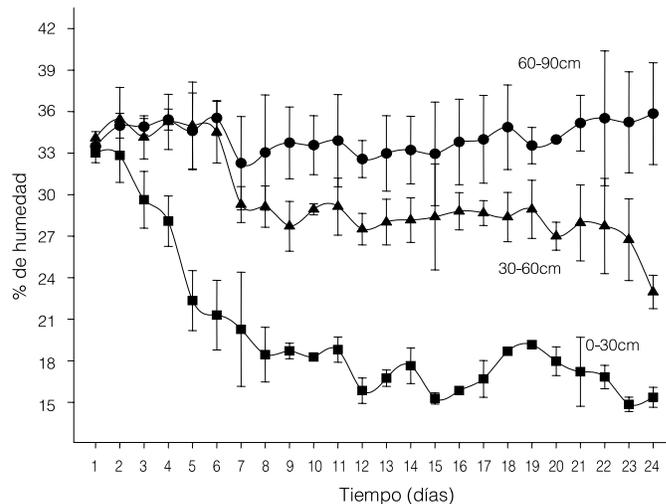


Figura 5. Humedad del suelo en diferentes estratos de profundidad con suspensión del riego en la etapa de llenado de grano en tres híbridos de maíz. Línea vertical: \pm error estándar de tres repeticiones. El muestreo inició cinco días después del riego a saturación.

hubo humedad en los otros perfiles del suelo, la planta no logró llegar a los perfiles más profundos.

Para el caso de la parcela bajo condiciones de suspensión del riego en la etapa de llenado de grano, los niveles de humedad en el estrato superficial disminuyeron hasta en 15%. De la misma manera se presentó una disminución importante en el contenido de humedad del suelo en el estrato de 0,30-0,60m de profundidad, de 33 a 23% (Figura 5).

Los contenidos de lisina y triptófano disminuyeron de

manera diferente ante la suspensión del riego en prefloración, llenado de grano y entre genotipos. En el H-559C disminuyó ligeramente el contenido de lisina en la condición de estrés hídrico en la etapa de prefloración y en CML176 x CML177 la disminución se presentó con la suspensión del riego durante el llenado del grano (Figura 6). Es importante precisar, que aun con la disminución de lisina y triptófano en el H559C cuando se suspendió el riego en prefloración, el valor de ambos aminoácidos es supe-

rior al contenido en el maíz normal H 516.

El contenido de triptófano en el grano de los maíces evaluados fluctuó solamente en el H-559C (Figura 7). La disminución se presentó cuando se suspendió el riego en prefloración. El genotipo H-516 presentó los contenidos más bajos de este aminoácido, mientras los otros dos genotipos, por su misma característica de ser maíces de alta calidad proteínica, registraron contenidos de triptófano mayores bajo todas las condiciones de humedad.

Discusión

Diversos autores señalan el incremento en el sistema radical del maíz al suspenderse el riego (Trejo y Davies, 1991; Sarquis y Jordán, 1993) y en algunos casos disminuye también el crecimiento del tallo (Parson, 1982), pero con estrés hídrico en otras etapas de desarrollo de las plantas. En condiciones de baja disponibilidad de agua, la raíz continua su desarrollo y la parte aérea deja de crecer (Potters *et al.*, 2007; Shao *et al.*, 2008). Sin embargo, en nuestro caso la suspensión del riego en preflo-

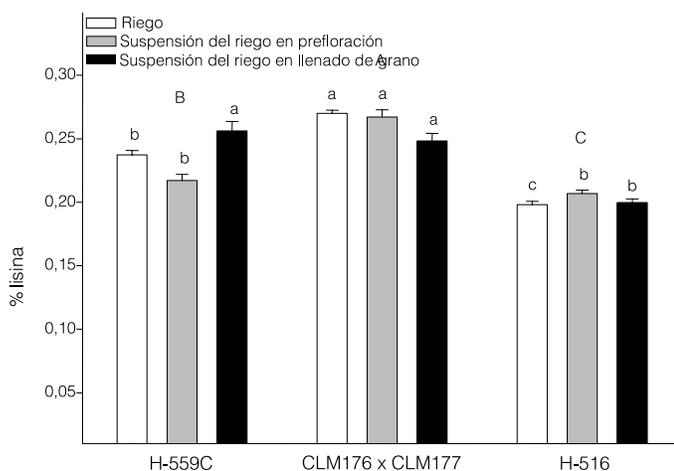


Figura 6. Contenido de lisina en grano de tres genotipos de maíz cuando son sometidos a la suspensión del riego en alguna etapa fenológica. Línea vertical: \pm error estándar de 16 repeticiones (C.V: 7,35%). Las literales en cada uno de los grupos de barras indican diferencias estadísticas entre los híbridos (mayúsculas) y la condición de humedad del suelo (minúsculas).

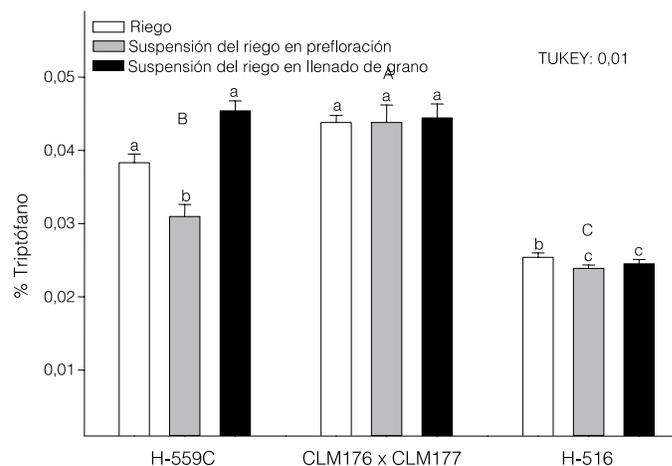


Figura 7. Contenido de triptófano en grano de tres genotipos de maíz cuando son sometidos a la suspensión del riego en alguna etapa fenológica. Línea vertical: \pm error estándar de 16 repeticiones. Las literales en cada uno de los grupos de barras indican diferencias estadísticas entre los híbridos (mayúsculas) y la condición de humedad del suelo (minúsculas).

ración indujo diferencias estadísticas entre tratamientos.

Las diferencias en el potencial de agua en la lámina foliar sugiere que los materiales presentan diversos mecanismos particulares para sobrevivir en condiciones limitantes de humedad y la magnitud del efecto dependerá de la etapa fenológica en que se halle la planta (Begg y Turner, 1976; Hsiao *et al.*, 1976).

Los maíces de alta calidad proteínica presentaron mayor capacidad de retención del agua en el tejido, probablemente como resultado de alguna adaptación morfológica en su lámina foliar (Aguirre-Medina *et al.*, 2002) o al envío de algún mensaje químico generado en la raíz y transportado a la hoja para inducir el cierre del estoma (Sobrado, 1987; Ludlow y Muchow, 1990; Gutiérrez *et al.*, 1997), mecanismo que se ha consignado, además, en otras especies cuando son expuestas a déficit hídrico (Bates y Hall, 1981; Torres, 1996; Van Herwaarden *et al.*, 1998; Aguirre-Medina *et al.*, 2002).

La disminución del rendimiento de grano de los tres materiales H-516, CML176×CML177 y H-559C en 24, 27 y 26%, respectivamente, con la suspensión del riego en prefloración posiblemente sea consecuencia de la asincronía floral que induce el estrés hídrico en prefloración (Bolaños y Edmeades, 1988, 1993; Frederick *et al.*, 1989; Cirilo y Andrade, 1994) y genera disminución del rendimiento provocado por el aborto o la afectación del desarrollo del saco embrionario (Ouattar *et al.*, 1987), y la disminución del rendimiento puede ser entre 15 y 43% (Ouattar *et al.*, 1987; Desai y Singh, 2001). Reta y Faz (1999) citan resultados semejantes a los encontrados en el presente estudio en disminución del rendimiento (23 a 34%) con la suspensión de riego en etapas posteriores a los 50 días de la siembra en el H-422, debido a la disminución del número de granos por mazorca de 15 a 26%. El crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz son afectados en diferente grado, no sólo por la

intensidad y duración de las deficiencias de humedad, sino también a la fase fenológica en que éstas se presentan (Claassen y Shaw, 1970). El déficit hídrico inhibe la fotosíntesis y disminuye el flujo de fotosintatos a los órganos en desarrollo, y genera alteraciones en el metabolismo y suministro de los carbohidratos en los ovarios (Schussler y Westgate, 1991; Zinselmeier *et al.*, 1995).

Cuando se suspendió el riego en llenado de grano, la disminución fue de 19, 16 y 37%, respectivamente, en comparación con el tratamiento sin suspensión del riego. Se ha encontrado que deficiencias de humedad durante el período de llenado del grano pueden reducir el rendimiento entre 29 y 53%, como consecuencia de la disminución del peso medio de grano (Reta *et al.*, 1990) y en el presente caso fue del 13 al 18%.

En relación con la disminución del peso del grano en los materiales CML176×CML177 y H-516 con la suspensión del riego durante el llenado del grano (10,7 y 18%, respectivamente) en comparación con la suspensión del mismo en prefloración, que fue entre el 6 y 7%, así como en el maíz H-559C con los dos tratamientos de suspensión del riego, de 13 y 14%, diversos autores señalan que el componente que contribuye más a la producción de grano en maíz es el número de los mismos (Bolaños y Edmeades, 1993; Sobrado, 1990; Ramírez y Kelly, 1998) y puede ser del orden de 15 a 26%. La reducción en el tamaño de los granos puede afectar el peso de los mismos (Chimenti *et al.*, 1997), y por consiguiente el rendimiento. Otros estudios han demostrado que la pérdida en rendimiento de grano puede ser particularmente severa si la sequía ocurre durante la floración o el llenado del grano (Claassen y Shaw, 1970; O' Toole y Moya, 1981), ya que han observado que, durante la formación de los gametos, la planta es altamente sensible al déficit de agua y el gameto masculino puede inducir esterilidad (Namuco y O'Toole, 1986).

La humedad del suelo a la profundidad de 0,30m disminuyó de 30% a 21% con la suspensión del riego en prefloración, mientras que en los estratos más profundos se mantuvo sin cambio (Figura 4). Este hecho sugiere que el comportamiento de los materiales ante la suspensión del riego se debe a la falta de humedad en el primer estrato del suelo. La suspensión del riego en prefloración afectó más el desarrollo de la planta, debido a que en esta etapa su sistema radical es poco profundo. Aun cuando hubo humedad en los otros perfiles del suelo, las plantas no lograron alcanzar los perfiles más profundos del suelo.

Para el caso de la parcela bajo condiciones de suspensión del riego en la etapa de llenado de grano, los niveles de humedad en el primer estrato disminuyeron hasta en 15%. De la misma manera se presentó una disminución importante en el contenido de humedad del suelo en el estrato de 0,30-0,60m de profundidad, de 33 a 23% (Figura 5).

La disminución diferencial de lisina y triptófano entre los tratamientos de suspensión del riego en prefloración y llenado de grano, y entre los genotipos, establece la influencia del déficit de humedad en la disminución de la lisina en el grano. En frijol, la sequía en la etapa reproductiva puede modificar la concentración de los componentes químicos del grano (Pérez *et al.*, 1999), aunque también el comportamiento del contenido de proteína y triptófano pueden estar relacionado con el tipo de endospermo que presentaron los genotipos evaluados, suposición que se basa en los resultados que obtuvieron Salinas *et al.* (1992) al evaluar híbridos de maíz con endospermo suave y duro. Dichos autores indican que los maíces con endospermo duro presentaron contenidos de proteína de 10,70 y 0,08% de triptófano, en tanto el contenido de lisina fue igual en ambos tipos de maíz.

En relación con la variación en el contenido de triptófano en el grano de los maíces, que solamente fluctuó en el H-559C,

posiblemente se relaciona con menor estabilidad genética de este material. Pixley y Bjarnason (2002) encontraron que la calidad de las proteínas en los maíces de alta calidad de proteína era estable, mientras que el contenido de proteínas y modificación del endospermo de las variedades son menos estables a través de ambientes cambiantes contrastantes.

Conclusiones

Los maíces de alta calidad de proteína presentan características de rendimiento y de respuesta al estrés hídrico con amplio significado agronómico y nutricional.

La suspensión del riego en prefloración indujo disminución del contenido de lisina y triptófano en el H-559C, y el contenido de lisina disminuyó en el CML176×CML177 cuando la suspensión del riego se aplicó en el llenado de grano. En ambos maíces los niveles de lisina y triptófano son superiores que los del maíz normal, aun con la suspensión del riego.

La suspensión del riego en la etapa de prefloración impactó en la disminución del rendimiento en todos los materiales evaluados.

La suspensión del riego en prefloración afectó más la morfología, fisiología y el rendimiento de los maíces de alta calidad proteínica, en comparación con la suspensión del riego en la etapa de llenado de grano.

Los materiales de alta calidad proteínica estudiados, por su comportamiento agronómico, pueden ser sembrados en regiones de con humedad mínima de 1000mm.

REFERENCIAS

- Aguirre-Medina JF, Acosta GJA, Ruiz PL, Kohashi SJ, Trejo LC (2002) Diferencias morfológicas de la epidermis de la hoja del frijol común y su relación con tolerancia a sequía. *Agríc. Técn. Méx.* 28: 53-64.
- Barker DJ, Sullivan CY, Mosser LE (1993) Water deficit effects on osmotic potential, cell wall elasticity, and proline in five forage grass. *Agron. J.* 85: 270-275.
- Bates LM, Hall AE (1981) Diurnal and seasonal responses of

- stomatal conductance for cowpea plants subjected to different levels of environmental drought. *Oecologia* 54: 304-308.
- Begg JE, Turner NC (1976) Crop water deficit. *Adv. Agronomy* 28: 161-217.
- Böhm W (1979) *Methods of Studying Root Systems*. Springer. Berlin, Alemania. pp. 127-139.
- Bolaños J, Edmeades GO (1988) Evaluation of physiological changes in Tuxpeño sequía following eight cycles of selection for drought tolerance. *Agronomy Abstracts*. ASA. Anaheim, CA, EEUU. p. 88.
- Bolaños J, Edmeades GO (1993) Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize: I. Response in grain yield, biomass, and radiation utilization. *Field Crop Res.* 31: 233-252.
- CIMMYT (1998) Ciencia para aliviar la pobreza, el maíz con calidad de proteína; el alimento de los pobres se convierte en una fuente de proteínas accesibles y de bajo costo. <http://cimmyt.mx/whaticimmyt/reviser/htm/ar9899p3sp.htm>. (Cons. 08/05/2010).
- CIMMYT (2000) 35 years in the making, high-protein, high-yielding corn to prevent malnutrition among millions. www.future.org/news/maizephotos.sh.htm. (Cons. 07/09/2000).
- CIMMYT (2003) *The Development and Promotion of Quality Protein Maize in Sub-Saharan Africa: Progress Report 2003*. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. El Batán, México. 65 pp.
- Chimentí CA, Cantagallo J, Guevara E (1997) Osmotic adjustment in maize: Genetic variation in association with uptake. En Edmeades GO, Bänzinger M, Mickelson H, Peña-Valdivia CB (Eds.) *Developing Drought- and Low N-Tolerant Maize*. CIMMYT. El Batán, México. pp. 200-203.
- Cirilo AG, Andrade FH (1994) Sowing date and maize productivity: II Kernel number determination. *Crop Sci.* 34: 1044-1046.
- Claassen MM, Shaw RH (1970) Water deficit effects on corn. II. Grain components. *Agron. J.* 62: 652-655.
- Cornic G, Masacci A (1996) Leaf photosynthesis under drought stress. En Baker NR (Ed.) *Photosynthesis and the Environment*. Kluwer. Dordrecht, Holanda. pp. 347-366.
- Creelman RA, Mason HS, Bensen RJ, Boyer JS, Mullet JE (1990) Water deficit and abscisic acid cause differential inhibition of shoot versus root growth in soybean seedlings. *Plant Physiol.* 92: 205-214.
- Desai SA, Singh RD (2001) Combining ability studies for some morphophysiological and biochemical traits related to drought tolerance in maize (*Zea mays* L.). *Ind. J. Genet. Plant Breed.* 61: 34-36.
- Diaz PM, Hironaka M (1994) Nutritional perspective of quality protein maize. En Larkins BA, Mertz ET (Eds.) *Quality Protein Maize: 1964-1994*. Proc. Int. Symp. Quality Protein Maize. EMBRAPA/CNPMS. Sete Lagoas, MG, Brasil. pp. 65-78.
- Eck HV (1984) Irrigated corn yield response to nitrogen and water. *Agron. J.* 76: 421-428.
- Espinosa PN, Montiel FA, Rodríguez OJL (1997) Patrones electroforéticos de las proteínas de dos cultivares de maíz bajo déficit hídrico. En Edmeades GO, Bänzinger M, Mickelson H, Peña-Valdivia CB (Eds.) *Developing Drought- and Low N-Tolerant Maize*. CIMMYT. El Batán, México. pp. 204-207.
- FAO (2003) *El Maíz en la Nutrición Humana*. www.fao.org/docrep/T0395S02/T0395S02.htm. (Cons. 17/06/2010).
- Foote W (1994) Child survival, nutrition, and QPM. En Larkins BA, Mertz ET (Eds.) *Quality Protein Maize: 1964-1994*. Proc. Int. Symp. Quality Protein Maize. EMBRAPA/CNPMS. Sete Lagoas, MG, Brasil. pp. 21-26.
- Frederick JR, Hesketh JD, Peters DB, Below FE (1989) Yield and reproductive trait responses of maize hybrids to drought stress. *Maydica* 34: 319-328.
- Fromm J, Fei H (1998) Electrical signals and exchange in maize plants of drying soil. *Plant Sci.* 132: 203-213.
- Fuentes-López MR, van Etten J, Ortega Aparicio A, Vivero Pol JL (2005) *Maíz para Guatemala: Propuesta para la Reactivación de la Cadena Agroalimentaria del Maíz Blanco y Amarillo*, Serie PESA Investigación N° 1. FAO. Guatemala. 141 pp.
- Gutierrez RM, San Miguel ChR, Larqué-Saavedra A (1997) Stomatal conductance in successive selection cycles of the drought tolerant maize population "Tuxpeño Sequía". En Edmeades GO, Bänzinger M, Mickelson H, Peña-Valdivia CB (Eds.) *Developing Drought- and Low N-Tolerant Maize*. CIMMYT. El Batán, México. pp. 212-215.
- Hernandez HH, Bates LS (1969) A modified method for rapid tryptophan analysis of maize. *CIMMYT Res. Bull.* N° 13.
- Hsiao TC, Acevedo E, Federer E, Herderson DW (1976) Water stress, growth and osmotic adjustment. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 273: 479-500.
- Li X, Feng Y, Boersma L (1991) Activation energy as measure of plant response to temperature and water stresses. *Ann. Bot.* 68: 151-157.
- Ludlow MM, Muchow RC (1990) A critical evaluation of traits for improving crop yields in water limited environments. *Adv. Agron.* 43: 107-153.
- Mertz E. (1994) Thirty years of opaque-2 maize. En Larkins BA, Mertz ET (Eds.) *Quality Protein Maize: 1964-1994*. Proc. Int. Symp. Quality Protein Maize. EMBRAPA/CNPMS. Sete Lagoas, MG, Brasil. pp. 1-10.
- Namuco OS, O'Toole JC (1986) Reproductive stage water stress and sterility. I. Effect of stress during meiosis. *Crop Sci.* 26: 317-321.
- Nonami H, Boyer JS (1993) Direct demonstration of a growth induced water potential gradient. *Plant Physiol.* 102: 13-19.
- O'Toole JC, Moya TB (1981) Water deficits and yield in upland rice. *Field Crop Res.* 4: 247-259.
- Ouattar SR, Jones J, Crookston RK (1987) Effect of water deficit during grain filling on the pattern of maize kernel growth and development. *Crop Sci.* 27: 726-730.
- Parson LR (1982) Plant responses to water stress. En Christiansen MN, Lewis CF (Eds.) *Breeding Plants for Less Favorable Environments*. Wiley. Nueva York, EEUU. pp. 175-192.
- Pérez HP, Acosta DE, Padilla RS, Acosta GJA (1999) Efecto de la sequía en la calidad de semilla de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) *Agric. Téc. Méx.* 25: 107-114.
- Pixley KV, Bjarnason MS (2002) Stability of grain yield, endosperm modification, and proteins quality of hybrid and open-pollinated quality protein maize (QPM) cultivars. *Crop Sci.* 42: 1882-1890.
- Potters G, Pasternak TP, Guisez Y, Palme KJ, Jansen MAK (2007) Stress induced morphogenic responses: growing out of trouble. *Trends Plant Sci.* 12: 99-105.
- Ramírez VP, Kelly JD (1998) Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica* 99: 127-136.
- Reta SDG, Faz CR (1999) Respuesta del maíz a diferentes niveles de humedad en el suelo I. Rendimiento de grano y sus componentes. *Terra* 17: 309-316.
- Reta SDG, Reta SR, Martínez DMA (1990) Influencia de diferentes niveles de humedad en el suelo sobre el rendimiento de grano y la producción de materia seca del maíz. *ITEA* 86: 37-45.
- Roberts MJ, Long SP, Tieszen LL, Beadle CL (1988) Medición de la biomasa vegetal en la producción primaria neta. En Coombs J, Hall DO, Long SP, Scurlock JM (Eds.) *Técnicas de Fotosíntesis y Productividad*. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. pp. 1-16.
- Salinas MY, Arellano JL, Martínez BF (1992) Propiedades físicas, químicas y correlaciones de maíces híbridos procesos para valles altos. *Arch. Latinoam. Nutr.* 42: 161-167.
- Sarquis IJ, Jordan WR (1993) Comportamiento de plántulas de sorgo glossy y normales bajo condiciones limitantes de agua. *Agrocienc. Ser. Fito-tecn.* 4: 7-12.
- Schussler JR, Westgate ME (1991) Maize kernel set at low water potential: I. Sensitivity to reduced assimilates during early kernel growth. *Crop Sci.* 31: 1189-1195.
- Shao HB, Chu LY, Jaleel CA, Zhao CX (2008) Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *C.R. Biol.* 331: 215-225.
- Sobrado MA (1987) Leaf rolling: A visual indication of water deficit in corn (*Zea mays* L.). *Maydica* 32: 9-18.
- Sobrado MA (1990) Drought response of tropical corn. 3. Water loss and carbon assimilation. *Maydica* 35: 235-240.
- Torres W (1996) Gas exchange in rice (*Oryza sativa* L.), plants under NaCl stress conditions. *Cult. Trop.* 17: 24-26.
- Trejo LC, Davies WJ (1991) Drought-induced closure of *Phaseolus vulgaris* L. stomata proceeds leaf water deficit and any increase in xylem ABA concentration. *J. Exp. Bot.* 42: 1507-1515.
- Van Herwaarden AF, Farquhar GD, Angus JF, Richards RA, Howe GN (1998) "Haying-off", the negative grain yield response of dry land wheat to nitrogen fertilizer. I. Biomass, grain yield, and water use. *Aust. J. Agric. Res.* 49: 1067-1081.
- Villegas E, Mertz ET (1971) Chemical screening methods for maize protein quality at CIMMYT. *CIMMYT Res. Bull.* N° 20.
- Zinselmeier C, Lauer MJ, Boyer JS (1995) Reserving drought induced losses in grain yield. Sucrose maintains embryo growth in maize. *Crop Sci.* 35: 1390-1400.