

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"**

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**Comportamiento Fotosintético, Transpirativo y Conductancia
Estomatal en Cuatro Híbridos de Maíz.**

P O R

YESENIA MARICRUZ ESCALANTE MORALES

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

DICIEMBRE DE 2011.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"**

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**Comportamiento Fotosintético, Transpirativo y Conductancia
Estomatal en Cuatro Híbridos de Maíz.**

TESIS PRESENTADA POR:

YESENIA MARICRUZ ESCALANTE MORALES

**QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ ASESOR, COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

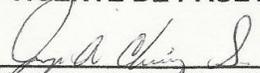
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:

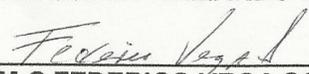
ASESOR PRINCIPAL:


Ph.D. VICENTE DE PAÚL ÁLVAREZ REYNA

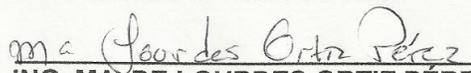
ASESOR:


DR. JORGE ARMANDO CHÁVEZ SIMENTAL

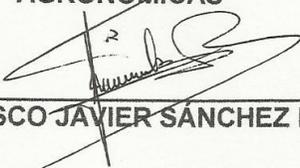
ASESOR:


M.C. FEDERICO VEGA SOTELO

ASESOR:


ING. MA. DE LOURDES ORTIZ PÉREZ

**COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS
AGRONÓMICAS**


DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA. MÉXICO.

DICIEMBRE DE 2011.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"**

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**Comportamiento Fotosintético, Transpirativo y Conductancia
Estomatal en Cuatro Híbridos de Maíz.**

TESIS PRESENTADA POR:

YESENIA MARICRUZ ESCALANTE MORALES

**QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR,
COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

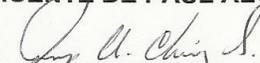
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

PRESIDENTE:



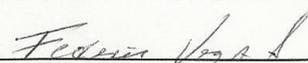
PH.D. VICENTE DE PAÚL ÁLVAREZ REYNA

VOCAL:



DR. JORGE ARMANDO CHÁVEZ SIMENTAL

VOCAL:



M.C. FEDERICO VEGA SOTELO

VOCAL:



M.C. EDGARDO CERVANTES ALVAREZ

**COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS
AGRONÓMICAS**



DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas



TORREÓN, COAHUILA. MÉXICO.

DICIEMBRE DE 2011.

DEDICATORIAS

A DIOS

Por darme una familia tan linda, estar siempre conmigo, darme amor, paz, felicidad, las fuerzas cuando más lo necesito y salud para realizar con alegría cada una de mis actividades.

¡Gracias DIOS por haberme permitido llegar a esta meta!

A la Virgen María

Por escuchar siempre mis ruegos. A ti virgencita que me das la inspiración para seguir adelante emprendiendo mi camino y por enseñarme a valorar la vida y levantarme cuando tropiezo, a ti madre linda te pido bendiciones para todos mis seres queridos.

A ti Mamita Hermosa

Luvia Morales Echeverría

Con tus sabios consejos, esfuerzo, apoyo, amor y dedicación he logrado cumplir uno de mis sueños. Gracias por haberme dado la vida, por cuidar de mí, por educarme, darme un techo y mi sustento.

¡Te amo mamá, eres el regalo más bonito que DIOS me ha dado!

A ti Padre

Noé Escalante Morales

A quién le agradezco el cariño, paciencia, comprensión. Por el apoyo incondicional que siempre me ha brindado para culminar mi carrera profesional.

¡Te amo papito lindo, eres un tesoro! Estoy muy orgullosa de ustedes.

A mis Hermanos

Wilfrido

Sara Luz

Margarita de Jesús

Moisés Arael

Nery Janeth

Wilker Noé

Por brindarme ayuda cuando más lo necesite, confianza y sobre todo a Wilfrido que es para mí como un padre, me ha apoyado en todo momento, tanto económico y moral, eres un ejemplo a seguir, te amo hermanito.

¡Gracias por el apoyo, los quiero mucho y siempre los llevo en el corazón!

A mis abuelos (Q.E.P.D)

Aureliano Morales Jiménez y Margarita Echeverría Gallegos

Román Escalante y Jesús Pérez Salas

Por darme unos padres tan maravillosos y adorables, también una familia llena de amor, alegría, entusiasmo. Gracias a ustedes por inculcarnos valores y respeto hacia los demás.

A mis tíos

Severiano (Q.E.P.D), Soyla Julia, Rafael, Fausto Morales

Echeverría.

Fausto, Armando, Amalia Escalante Pérez.

A ustedes que en todo momento estuvieron ahí, dándome consejos para que terminara mi carrera profesional, para que me cuidará y llenará de orgullo a la familia. A ustedes que sobre todas las cosas me dieron ánimos para culminar mis estudios.

¡Gracias por el cariño que me han brindado siempre!

A mis cuñados

Gustavo Soto Díaz

Marco Antonio Ramos Méndez

A mi cuñada

Yesenia García López

Que en todo momento me dieron consejos para lograr este objetivo y aliento para seguir adelante. A ustedes que me enseñaron que el camino a recorrer es difícil y a valorar a cada una de las personas que me ha apoyado. Gracias por ser parte de la familia.

¡Los quiero mucho!

A mis sobrinos

Liliana Isabel, Gustavo Alexander y Andrey Oswaldo Soto

Escalante.

Jesús Antonio, Maritza Yoselith, Exayani Margarita y Jhovany

Alessandro Ramos Escalante.

A mi bebito hermoso que está por nacer, todavía no te conozco pero ya te amo, espero con ansias tú llegada. Dios te cuide y te bendiga siempre.

A ustedes mis amores que, con una sonrisa de ustedes me llenaban de alegría y fuerzas para seguir adelante. ¡Los quiero mucho mis peques hermosos!

AGRADECIMIENTOS

A mí ALMA TERRA MATER

A mi universidad por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de prepararme en el ámbito profesional y concluir satisfactoriamente una etapa importante de mi vida.

Al Ph. D. Vicente de Paúl Álvarez Reyna y Dr. Jorge Armando Chávez Simental.

Gracias por la amistad, paciencia y el apoyo que me han brindado en la realización de esta investigación.

A M.C. Victoria Jared Borroel García.

Por darme la oportunidad de llevar a cabo este trabajo de investigación y por el asesoramiento de la misma.

A M.C Cesar Márquez Quiroz

Por brindarme su apoyo incondicional, dedicar el tiempo necesario para la culminación de esta investigación, por sus enseñanzas, consejos y su valiosa amistad.

A la Ing. María de Lourdes Ortiz Pérez

Por su participación en la realización de esta investigación, así mismo por el apoyo que me ha brindado durante mi estancia en la universidad.

Al Ing. Braulio Ávila Pérez y Tomás Medrano de Loera

Por los sabios consejos que siempre me dieron, por enseñarme que la vida fuera de la escuela es muy diferente. Por brindarme su apoyo cuando más lo necesite.

A Cristián, Gilberto, José, Geriel, Karen, Blanca, Yulma y Jesús.

Que siempre estuvieron conmigo dándome consejos para crecer en el ámbito profesional, me brindaron su apoyo sin condición alguna. Por los buenos momentos que pasamos juntos y darme una sonrisa cuando más lo necesite.

A mis compañeros de riego

Por haberme dado palabras de aliento cuando más lo necesitaba, por su apoyo incondicional y por todos los buenos y malos momentos que compartimos juntos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIAS -----	iv
AGRADECIMIENTOS -----	vii
ÍNDICE DE CUADROS -----	xii
ÍNDICE DE APÉNDICE -----	xiii
RESUMEN -----	xiv
I INTRODUCCIÓN -----	1
Objetivo general -----	3
Hipótesis -----	3
II REVISIÓN DE LITERATURA -----	4
2.1 Generalidades del maíz Forrajero -----	4
2.1.1 Origen del maíz-----	4
2.2 Características del cultivo -----	5
2.2.1 Aspectos genéticos y morfo-fisiológicos-----	5
2.3 Importancia del agua en las plantas -----	6
2.4 Fotosíntesis -----	6
2.4.1 Sumideros de Carbono-----	7
2.4.2 Factores que afectan la fotosíntesis-----	7
2.4.3 Tasa de asimilación neta-----	8
2.4.4 Edad de las hoja-----	9
2.4.5 Efecto de la sequía sobre la fotosíntesis-----	11
2.5 Evapotranspiración (ET) -----	12
2.5.1 Evaporación-----	12

2.5.2 Transpiración-----	13
2.5.3 Eficiencia en uso de agua-----	15
2.5.4 Potencial hídrico de la hoja-----	16
2.6 Conductancia estomática-----	16
2.6.1 Resistencia difusiva-----	18
2.6.2 Relación estomática y potencial de agua-----	19
2.6.3 Clasificación de las plantas-----	19
2.6.4.1 Plantas C ₃ -----	19
2.6.4.2 Plantas C ₄ -----	20
2.6.4.3 Plantas CAM-----	20
III MATERIALES Y MÉTODOS-----	22
3.1 Localización del sitio experimental-----	22
3.2 Características climáticas de la región-----	22
3.3 Labores culturales en desarrollo del experimento-----	22
3.3.1 Preparación del terreno-----	22
3.3.2 Barbecho-----	22
3.3.3 Rastreo-----	23
3.3.4 Nivelación-----	23
3.3.5 Siembra-----	23
3.3.6 Instalación del sistema de riego-----	24
3.3.7 Riego-----	24
3.3.8 Control de maleza-----	24
3.4 Variables a evaluar-----	25

3.5 Análisis estadístico	25
3.6 Diseño experimental	25
3.7 Toma de datos	25
IV Resultados y Discusión	26
4.1 Fotosíntesis	26
4.2 Transpiración	26
4.3 Conductancia estomatal	27
V. Conclusiones	28
VI. Literatura citada	29

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Calendario de riego-----	25
Cuadro 2. Fotosíntesis neta de cuatro híbridos de maíz UAAAN-UL 2010-----	29
Cuadro 3. Transpiración de cuatro híbridos de maíz UAAAN-UL 2010 -----	30
Cuadro 4. Conductancia estomatal de cuatro híbridos de maíz UAAAN-UL 2010-----	32

ÍNDICE DE APÉNDICE

Cuadro A1. Fotosíntesis neta a los 27 DDS. UAAAN-UL 2010-----	36
Cuadro A2. Fotosíntesis neta a los 34 DDS. UAAAN-UL 2010-----	36
Cuadro A3. Fotosíntesis neta a los 41 DDS. UAAAN-UL 2010-----	36
Cuadro A4. Fotosíntesis neta a los 48 DDS. UAAAN-UL 2010-----	36
Cuadro A5. Transpiración a los 27 DDS. UAAAN-UL 2010-----	37
Cuadro A6. Transpiración a los 34 DDS. UAAAN-UL 2010-----	37
Cuadro A7. Transpiración a los 41 DDS. UAAAN-UL 2010-----	37
Cuadro A8. Transpiración a los 48 DDS. UAAAN-UL 2010-----	37
Cuadro A9. Conductancia estomática a los 27 DDS. UAAAN-UL 2010-----	38
Cuadro A10. Conductancia estomática a los 34 DDS. UAAAN-UL 2010-----	38
Cuadro A11. Conductancia estomática a los 41 DDS. UAAAN-UL 2010-----	38
Cuadro A12. Conductancia estomática a los 48 DDS. UAAAN-UL 2010-----	38

RESUMEN

El maíz es el tercer cereal de importancia económica, por superficie y volumen de producción a nivel mundial, después del trigo y el arroz con una superficie cultivada de 129 millones de hectáreas con una producción de 478 millones de toneladas. En México es una fuente básica de alimentación para la mayoría de la población, el año 2009 sumó cerca de 23,091.6 miles de toneladas de grano, de los que 29% se destinó al consumo humano directo, principalmente se consume en forma de tortilla. Este cultivo también es una fuente de forraje utilizado para la crianza de todo tipo de rumiantes especialmente para el ganado lechero ya que la producción de leche es altamente dependiente de la cantidad de energía y fibra que necesita ingerir Vaca lactante.

La siguiente investigación se realizó en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” Unidad Laguna, Torreón Coahuila, México, durante el ciclo primavera-verano, con el objetivo de evaluar la fotosíntesis, transpiración y conductancia estomatal, se estudiaron cuatro híbridos, RX 715, caimán, Berensten 302 y ocelote en un diseño bloques completamente al azar, aplicando 1 riego de emergencia y tres de auxilio. Las variables evaluadas fueron: fotosíntesis, transpiración y conductancia estomatal. Bajo las condiciones en que se desarrolló el presente trabajo, se puede concluir que la fotosíntesis, transpiración y conductancia estomatal se presentó a los 34 DDS.

Palabras claves: Maíz, fotosíntesis, transpiración, conductancia estomatal y riego.

INTRODUCCIÓN

El maíz es el tercer cereal de importancia a nivel mundial, después del trigo y el arroz, con una superficie cultivada de 129 millones de hectáreas con una producción de 478 millones de toneladas. Los principales países productores son EE.UU y China (Ruiz, 1991).

En México el maíz es parte de la cultura del agricultor y contribuyen una fuente básica de alimentación para la mayoría de la población. Este cultivo continua siendo importante en nuestro territorio nacional tanto por la superficie sembrada como por el volumen de producción (Martínez *et al.*, 2006). En el año 2009 sumó cerca de 23,091.6 miles de toneladas de grano, de los que el 29% se destinó al consumo humano directo, principalmente se consume en forma de tortilla por los sectores con menor poder adquisitivo en el país.

El maíz es un forraje que cada día es más utilizado por su alto contenido de energía, es muy digestible, el animal lo consume sin problemas y se puede cosechar mecánicamente. Este forraje, se utiliza para la crianza de todo tipo de rumiantes, pero tiene especial importancia para el ganado lechero porque la producción de leche es altamente dependiente de la cantidad de energía que consume la vaca lactante; además de energía, necesita ingerir fibra de calidad para que su rumen funcione adecuadamente (Flores y Figueroa, 2010).

La Comarca Lagunera es una de las regiones agrícolas y ganaderas más importantes de la República Mexicana (López *et al.*, 2006), ya que es la segunda fuente de forraje que abastece a la creciente demanda de la principal cuenca lechera de México (Salazar *et al.*, 2003), con 500,000 cabezas de ganado bovino lechero que

producen 6 millones de litros de leche diarios (Espinoza *et al.*, 2010). En el año 2001 se sembró una superficie de 111,000 ha, de las cuales 73,000 ha, fueron de cultivos forrajeros (López y Espinoza, 2002), 18,000 ha, de maíz forrajero, con rendimiento de 785 000 toneladas de forraje verde y un rendimiento promedio de 43.8 t ha⁻¹ y 7,000 ha de maíz grano (Martínez *et al.*, 2006).

Entre los cultivos que se siembran en primavera-verano y verano-otoño, durante los últimos años, se han establecido en promedio más de 15,233 ha año⁻¹ de maíz forrajero en la Comarca Lagunera (Salazar *et al.*, 2003).

Objetivo General

Evaluar el comportamiento fotosintético, transpirativo y conductancia estomatal de cuatro híbridos de maíz.

Hipótesis

El comportamiento fotosintético, transpirativo y conductancia estomatal es similar en los cuatro híbridos de maíz.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades del maíz forrajero

2.1.1 Origen del maíz

El maíz es una planta que casi todos los mexicanos conocen y consumen por tradición, se piensa que es originario de Latinoamérica. En términos botánicos el maíz (*Zea mays* L.) pertenece a la familia de las gramíneas, es una planta monoica con espigas masculinas terminales y flores femeninas (mazorca) a un lado del tallo, es una planta alógama (polinización cruzada) considerada como una de los principales cereales de importancia económica (López, 1986). Los principales productores de maíz en México son Sinaloa, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Chiapas, Guanajuato y Guerrero; los cuales aportan el 70 % de la producción Nacional.

El maíz forrajero se diferencia del maíz de grano por el desarrollo de la parte aérea, el llenado del grano, permanencia de la planta verde en el momento del corte, porcentaje de materia seca, digestibilidad y consumo animal.

La cosecha para forraje debe realizarse cuando el grano de maíz se encuentra en estado lechoso, de preferencia en el último, por ser cuando se obtiene el equilibrio entre la máxima calidad y óptimo rendimiento. Bajo estas condiciones, el forraje verde contiene aproximadamente 70 % de humedad y un óptimo contenido de hidratos de carbono fácilmente fermentable y aprovechable si se somete a ensilado. Se ha demostrado que el forraje verde que se cosecha después de la época oportuna, disminuye la proteína bruta y aumenta la celulosa, lo que determina una reducción gradual de valor nutritivo (Vera, 2009).

2.2 Características del cultivo

En el cultivo de maíz es recomendable suelo de textura franca que permita el buen desarrollo de la raíz, para que esta absorba mejor la humedad y elementos nutritivos del suelo y proporcione un buen anclaje a las plantas en el mismo.

El riego aplicado al cultivo es un riego de siembra y varios riegos de auxilio; el primero para asegurar la germinación de la semilla y emergencia de las plántulas y los últimos, se aplican durante el ciclo vegetativo variando el número y láminas necesarias según la condiciones del suelo y cultivo (Mendoza, 1986).

El crecimiento y desarrollo depende de todos los factores del medio ambiente; en cuanto al efecto de la temperatura indica que en general, el crecimiento del maíz fluctúa entre 8 y 45 °C, mientras que la temperatura óptima se encuentra entre 25 y 35 °C (Martínez, 1999).

2.2.1 Aspectos genéticos y morfo-fisiológicos

Los órganos importantes que deben considerarse para incrementar el rendimiento son sin duda las hojas, ya que en ellas se realiza el proceso fotosintético, el área foliar de una planta se considera como el parámetro que mejor mide su capacidad fotosintética. Sin embargo, la fotosíntesis anual de un cultivo no sólo depende del sistema fotosintético, sino también de su eficiencia y duración del tiempo en que dicho sistema es activo. Una medida de este sistema está dado por la velocidad del incremento del peso seco por unidad de área foliar que se denomina tasa de asimilación neta (TAN) (López, 1986).

La función más importante de las hojas es la de transformar la energía del sol, en energía química mediante la fijación de bióxido de carbono (CO₂). Los estomas en la

epidermis foliar son las válvulas que permiten la entrada de bióxido de carbono (CO_2) para la fotosíntesis. Sin embargo, la apertura estomática que posibilita este proceso, también, representa un paso para la pérdida de agua de la hoja a la atmósfera. La tasa de transpiración es proporcional a la diferencia entre el déficit de presión de vapor (DPV) de la atmósfera y en el interior de la hoja. Tanto la asimilación de carbono como la transpiración, están gobernados por gradientes en las concentraciones y modulado por la resistencia que estos compuestos encuentran en su paso.

2.3 Importancia del agua en las plantas

El agua es esencial para la vida de las plantas, es vital en la producción de cultivos ya que el crecimiento de las células vegetales se produce por acción del agua (Silva *et al.*, 2010). Las plantas solo conservan aproximadamente el 3 % del volumen total del agua que absorben, cantidad que usan en la fotosíntesis y otros procesos metabólicos. El 97 % del agua restante, cuya principal función es el transporte de nutrimentos disueltos a través de la planta, asciende desde la raíz hasta la superficie de las hojas, donde es evaporada en forma de transpiración (Muñoz, 2009). La falta de este elemento provoca una menor área foliar, menor fotosíntesis y como consecuencia una menor producción (Silva *et al.*, 2010).

2.4 Fotosíntesis

Las plantas tienen la capacidad de captar el dióxido de carbono (CO_2) atmosférico y mediante procesos fotosintéticos metabolizarlo para la obtención de azúcares y otros compuestos que requieren para el normal desarrollo de su ciclo vital. Las plantas a través de la fotosíntesis, extraen el carbono de la atmósfera en forma dióxido de carbono (CO_2) y lo convierten en biomasa. La biomasa al descomponerse se convierte

en parte del suelo (en forma de humus) o en dióxido de carbono (CO₂) (a través de la respiración de los microorganismos que procesan la biomasa).

La fotosíntesis es un proceso que ocurre en dos fases. La primera fase es un proceso que depende de la luz (reacciones luminosas o de luz). Esta fase requiere la energía directa de luz para generar energía química y reductora que serán utilizadas en la segunda fase. La fase independiente de la luz (fase de oscuridad), se realiza cuando los productos de las reacciones de luz son utilizados para, a partir del dióxido de carbono (CO₂), formar enlaces covalentes carbono-carbono (C-C) de los carbohidratos mediante el Ciclo de Calvin.

2.4.1 Sumideros de Carbono

Se conoce como sumidero todo sistema o proceso por el que se extrae de la atmósfera un gas y se almacena. Las formaciones vegetales actúan como sumideros de carbono (C) por su función vital principal, la fotosíntesis. Mediante esta función, los vegetales absorben dióxido de carbono (CO₂) que compensa tanto las pérdidas de este gas que se producen por la respiración como las emisiones producidas en otros procesos naturales como la descomposición de materia orgánica (Mota *et al.*, 2010).

2.4.2 Factores que Afectan la Fotosíntesis

La tasa de fotosíntesis se relaciona con la condición fisiológica de la planta, la condición bajo la cual creció, su estado nutricional, factores genéticos, el estado de sus estomas y otros factores de procesos secundarios; la carboxilación, la vía glicolítica y la respiración oscura. Existen además algunos factores específicos que afectan el proceso fotosintético como son: la temperatura, el oxígeno, dióxido de carbono y el efecto de la luz. Se menciona que la tasa de asimilación neta de la fotosíntesis es más

influenciada por factores ambientales, además reportan también una fuerte dependencia con los contenidos de humedad y condiciones de fertilidad del suelo.

Alta temperatura, en forma general, acelera el desarrollo y el crecimiento, asimismo baja temperatura influye en una menor disponibilidad de energía; además, para la absorción de nutrimentos se debe de gastar más energía, ya que en la absorción activa la planta debe tomar los nutrimentos contra un gradiente de concentración y la baja temperatura fija más los iones al suelo, lo que hace más lenta a la fotosíntesis.

La temperatura influye en la regulación de la asimilación de carbón en la fotosíntesis en maíz y otros cultivos; también en la eficiencia y uso de radiación (EUR) en maíz. La EUR reportada presenta variaciones de 2.27 a 3.17 g de materia seca debido a mayor intercepción de actividad fotosintética en siembras efectuadas en el mes de octubre en cinco diferentes años. La temperatura afecta la EUR en el cultivo de maíz.

La intensidad de la luz, referida ésta a la calidad e intensidad de la insolación, son importantes para determinar la velocidad de desarrollo, ya que influyen fuertemente en el crecimiento e indirectamente en el rendimiento. Las especies difieren en la respuesta a los niveles de luz, las C_4 pueden incrementar la fotosíntesis con ciertos niveles de luz y niveles altos de dióxido de carbono (CO_2). La mayoría de los cultivos pueden incrementar sus rendimientos con una atmósfera enriquecida de dióxido de carbono (CO_2) arriba de 1500 ppm (García, 1994).

2.4.3 Tasa de asimilación neta

La superficie foliar es el principal órgano fotosintético de la planta. La tasa de acumulación de materia seca por unidad de área foliar por unidad de tiempo es llamada

tasa de asimilación neta (TAN) y es usualmente expresada en g m^{-2} (área foliar) día^{-1} . La TAN es una medida de la eficiencia fotosintética promedio de las hojas en una comunidad de cultivo. Esta es alta cuando las plantas son pequeñas y la mayoría de las hojas están expuestas a la luz solar directa. A medida que el cultivo crece y el índice de área foliar se incrementa, más y más hojas comienzan a sombreadarse, causando una disminución de la TAN a medida que la estación de crecimiento progresa.

2.4.4 Edad de la hoja

En la mayoría de las especies las hojas nuevas son producidas en la parte superior de la planta y las hojas viejas, de la parte inferior, están sombreadas. Las hojas jóvenes en la parte superior absorben la mayor proporción de radiación, tienen una alta tasa de asimilación de dióxido de carbono (CO_2), y translocan gran cantidad de asimilados hacia otras partes de la planta. En contraste, las hojas viejas en la parte inferior están sombreadas, tienen una baja tasa de asimilación de dióxido de carbono (CO_2) y aportan pocos asimilados hacia otras partes de la planta. Además, a medida que ciertas hojas comienzan a ser sombreadas, su respiración se reduce a la vez que su fotosíntesis disminuye. Los tejidos de las hojas nuevas utilizan fotoasimilados de otras hojas como consecuencia de estar sombreadas e imposibilitadas de fotosintetizar.

Durante el envejecimiento la hoja pierde agua, lo que promueve inhibición de la fotosíntesis e intercambio de gases, y se genera incapacidad de recuperar su estado hídrico inicial. (Martínez *et al.*, 2008).

Diversos estudios han establecido la alta sensibilidad de la fotosíntesis al estrés hídrico y a las condiciones atmosféricas. La fotosíntesis en hoja en un cultivo de maíz adecuadamente regado causa una disminución de la conductancia estomática y de la

fotosíntesis durante la tarde. Esta reducción de la tasa fotosintética durante la tarde de días soleados de verano ha sido observada en otros estudios, la disminución de la fotosíntesis ocurre porque las plantas no pueden transpirar a las tasas impuestas por las condiciones atmosféricas (Paliwal *et al.*, 2001).

Las especies C_4 usualmente no alcanzan la saturación de radiación en luz solar directa, lo cual significa que ellas usan altos niveles de radiación más eficientemente que las especies C_3 . Estas últimas usan más eficientemente la radiación a bajos niveles de radiación solar directa (Chiesa, 2000).

Existe una amplia y altamente heredable variación genética para el ángulo de inserción de la hoja del maíz. En el caso del maíz, la etapa que cubre la mazorca contribuye a asimilar más materiales para la mazorca que otras hojas de la planta (Paliwal *et al.*, 2001).

El patrón de hojas verticales en la parte superior y más horizontales en la parte inferior permite que las hojas superiores intercepten menos radiación y dejen pasar más luz hacia las hojas inferiores, logrando que la radiación sea distribuida más equitativamente sobre el total del área foliar. La predominancia de hojas erectas en maíz justo antes de la inflorescencia origina una mayor penetración de luz, dando las tasas de producción más altas.

En líneas altas de trigo, se demostró un incremento de 20 % en la intercepción de luz y fotosíntesis durante el desarrollo vegetativo; las hojas erectas tuvieron una mayor capacidad de fotosíntesis comparadas con las caídas. Estos antecedentes sugieren que la producción del cultivo de maíz puede mejorarse incrementando la densidad de población y la inclinación de las hojas (Montemayor *et al.*, 2006).

2.4.5 Efecto de la sequía sobre la fotosíntesis

El efecto de la sequía sobre la fotosíntesis de plantas superiores se ha estudiado a nivel de intercambio de gases. El déficit hídrico puede disminuir la fotosíntesis por reducción en el área de la hoja, cierre de estomas y disminución en la eficiencia del proceso de fijación del carbono. La reducción en el área de la hoja por estrés hídrico es una causa importante en la disminución del rendimiento del cultivo porque reduce la superficie fotosintética. La conductancia estomatal, transpiración y fotosíntesis decrecen en forma similar.

El estrés hídrico severo causa cierre estomatal y simultáneamente causa inhibición de la fijación de anhídrido carbónico (CO_2) debido a que el aparato fotosintético resulta dañado, cambia el transporte de electrones en la fotofosforilación. Investigaciones realizadas en hojas de trigo (*Triticum aestivum* L. cv. *Courtot*) y en hojas de papa (*Solanum tuberosum* L. cv. *Haig*) durante estrés hídrico mostraron que la fotorespiración es estimulada en tanto que la fotosíntesis es inhibida, lo cual se atribuyó a una disminución de la concentración de CO_2 cloroplástico (Martínez, 2003).

La radiación diaria de onda corta en los trópicos varía de $10 \text{ MJ}^{-1}\text{m}^{-2}\text{día}^{-1}$ en zonas nubosas a $25 \text{ MJ}^{-1}\text{m}^{-2}\text{día}^{-1}$ en zonas semi-áridas durante la estación seca. Como se mencionó anteriormente, un maíz sin estrés sembrado a altas densidades puede interceptar alrededor de 55 % del total de la radiación recibida en el período de cultivo. Se ha informado de eficiencias de conversión para cultivos de maíz sin estrés que van de 1.2 a 1.6 g de biomasa por encima de la superficie de la tierra por cada MJ de radiación solar interceptada (Paliwal *et al.*, 2001).

2.5 Evapotranspiración (ET)

Se conoce como evapotranspiración (ET) la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo

La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente. Aparte de la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo.

Esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que las hojas del cultivo proyectan más y más sombra sobre el suelo. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal.

En el momento de la siembra, casi el 100% de la ET ocurre en forma de evaporación, mientras que cuando la cobertura vegetal es completa, más del 90% de la ET ocurre como transpiración (Allen *et al.*, 2006).

2.5.1 Evaporación

La evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada.

Para cambiar el estado de las moléculas del agua de líquido a vapor se requiere energía. La radiación solar directa y, en menor grado, la temperatura ambiente del aire,

proporcionan esta energía. La fuerza impulsora para retirar el vapor de agua de una superficie evaporante es la diferencia entre la presión del vapor de agua en la superficie evaporante y la presión de vapor de agua de la atmósfera circundante. A medida que ocurre la evaporación, el aire circundante se satura gradualmente y el proceso se vuelve cada vez más lento hasta detenerse completamente si el aire mojado circundante no se transfiere a la atmósfera o en otras palabras no se retira de alrededor de la hoja (Allen *et al.*, 2006).

2.5.2 Transpiración

La transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Los cultivos pierden agua predominantemente a través de los estomas. Estos son pequeñas aberturas en la hoja de la planta a través de las cuales atraviesan los gases y el vapor de agua de la planta hacia la atmósfera. El agua, junto con algunos nutrimentos, es absorbida por las raíces y transportada a través de la planta. La vaporización ocurre dentro de la hoja, en los espacios intercelulares, y el intercambio del vapor con la atmósfera es controlado por la abertura estomática. Casi toda el agua absorbida del suelo se pierde por transpiración y solamente una pequeña fracción se convierte en parte de los tejidos vegetales.

La transpiración, igual que la evaporación directa, depende del aporte de energía, del gradiente de presión del vapor y de la velocidad del viento. Por lo tanto, la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y el viento también deben ser considerados en su determinación. El contenido de agua del suelo y la capacidad del suelo de conducir el agua a las raíces también determinan la tasa de transpiración, así

como la salinidad del suelo y del agua de riego. La tasa de transpiración también es influenciada por las características del cultivo, el medio donde se produce y las prácticas de cultivo. Diversas clases de plantas pueden tener diversas tasas de transpiración. Por otra parte, no solamente el tipo de cultivo, sino también su estado de desarrollo, el medio donde se produce y su manejo, deben ser considerados al evaluar la transpiración (Allen *et al.*, 2006).

El movimiento del agua a través del suelo – planta – atmósfera es un gradiente de potencial de agua decreciente. Estos gradientes constituyen la fuerza propulsora para mantener el flujo de agua dentro del sistema. El movimiento vertical de agua hacia la atmósfera puede darse a través del suelo y desde ahí directamente hacia la atmósfera (evaporación E), o también a través del xilema de las raíces, los tallos, y las hojas hacia los poros estomáticos y desde allí hacia la atmósfera (transpiración T). Las tasas de absorción de agua por los sistemas radicales son usualmente lentas, por ello, las altas tasas de movimiento de agua debido a gradientes de contenido hídrico sólo tienen lugar sobre distancias cortas en torno a las raíces (Micucci *et al.*, 2006).

La transpiración se reduce por el estrés salino en muchas especies de plantas. Esos decrementos en la transpiración se atribuyen a una reducida capacidad de la raíz para transportar agua, a incrementos en la resistencia estomática y a cambios anatómicos y morfológicos que ocurren en las hojas de las plantas que crecen en condiciones de salinidad (Villa *et al.*, 2006).

En maíz, la tasa transpiratoria máxima oscila entre 7 y 9 mmol m⁻². Estos valores puntuales de transpiración medidas para cuatro gramíneas representan una oscilación entre 4 y 13 mm/día (Sarmiento y Acevedo, 2001).

2.5.3 Eficiencia en uso de agua

La eficiencia en uso de agua (EUA) se define como la relación entre la acumulación de biomasa, expresada como la asimilación de CO_2 , biomasa total, o rendimiento del cultivo en grano, y el consumo hídrico expresado como transpiración, evapotranspiración, o entrada total de agua al sistema.

La EUA puede ser modificada por un cambio en la composición química de los productos del cultivo, por un cambio en la fisiología estomática que prevenga alta pérdida de agua, por un incremento en la proporción de agua transpirada, un incremento en el índice de cosecha, y una alteración en el ambiente (Maturano, 2002).

La eficiencia en uso de agua (EUA) varía entre especies, debido a su tipo de metabolismo C_3 o C_4 , composición de la biomasa, y a las características del uso del agua, variando también entre climas que condicionan la demanda atmosférica. Debido principalmente a su metabolismo C_4 y al bajo contenido energético de la biomasa reproductiva, el maíz es más eficiente que el girasol y la soja. Es decir que capta mucho más CO_2 por unidad de agua transpirada. En cambio, el girasol tiene un producto con alta concentración de aceite en el grano, por lo que tiene menor tasa de crecimiento por unidad de agua. Por último, la soja presenta una baja eficiencia fotosintética y además un alto contenido energético del grano. La eficiencia en uso de agua (EUA) calculada como el cociente entre el rendimiento en grano y la evapotranspiración máxima o potencial de un cultivo (ETM) fue casi el doble para maíz que para soja y girasol, debido a la dependencia de la eficiencia en uso de agua (EUA) de la condición climática y del manejo del cultivo.

La tasa de transpiración en plantas de maíz sujetas a diferentes condiciones de riego y demanda atmosférica de agua, se obtuvo el valor de succión de agua al cual se apartan las tasas de transpiración potencial y real fue dependiente de la demanda atmosférica. Cuando la tasa de evaporación potencial estuvo por debajo de 2 mm día^{-1} , la tasa real cayó por debajo de la tasa potencial a una succión de agua promedio de alrededor de 0,2 MPa. A medida que la tasa potencial aumentó, la succión a la cual el suelo era capaz de sostener esta tasa disminuyó (Micucci *et al.*, 2006).

2.5.4 Potencial hídrico de la hoja

El potencial hídrico de la hoja se define como la energía potencial por unidad de masa de agua, con respecto al agua pura cuyo potencial es cero.

En las plantas el agua circula desde la raíz hacia las hojas por el xilema. El agua se mueve en el interior de la planta siguiendo las diferencias de potencial hídrico, desde las zonas con mayor potencial hídrico hacia las zonas con menores potenciales.

Las altas tasas de transpiración que se producen en las horas centrales del día debido a la alta demanda evaporativa de la atmósfera ocasionan una disminución del potencial hídrico en hoja, lo que conlleva como consecuencia la reducción de la conductancia de los estomas y de la tasa fotosintética (un mayor potencial hídrico de la hoja está relacionado con mayores tasas de fotosíntesis).

2.6 Conductancia estomática

En los espacios aéreos de prácticamente toda la flora terrestre se encuentran en los estomas, cuyo papel más notable es la regulación de la pérdida de agua (transpiración) y la absorción de dióxido de carbono (CO_2), como asimilación fotosintéticamente del carbono. El proceso de resistencia o conductancia estomática y

de transpiración es muy importante, ya que una excesiva transpiración puede ocasionar un déficit hídrico que generalmente lleva pérdidas económicas y fracaso del cultivo (Hernández *et al.*, 2010).

De todos los órganos de la planta, la hoja es el más sensible en responder a las condiciones del ambiente razón por la cual refleja alteraciones morfológicas como consecuencia de los efectos del estrés, al producir cambios en la síntesis de proteínas, pared celular, espesor de la cutícula y conductancia estomática.

Un estrés severo de sequía induce numerosas irregularidades metabólicas en las plantas, tales como, disminución de la tasa de crecimiento, reducción en la capacidad de intercambio gaseoso, pérdida de turgencia y síntesis de algunos metabolitos secundarios. Estas alteraciones y su impacto en la morfología y fisiología de las plantas, van a depender del grado de tolerancia de los tejidos a la deshidratación, principalmente en las hojas (Aguirre *et al.*, 1999). El estrés hídrico en vegetación provoca un cierre estomático y por lo tanto una reducción en la tasa de transpiración que se traduce en un incremento de la temperatura de la cubierta vegetal (Zarco *et al.*, 2009).

Los estudios relacionados con la conductancia estomática (y por ende la transpiración) revisten gran importancia ya que la productividad está íntimamente relacionada con el consumo y disponibilidad del agua más que con cualquier otro factor ambiental. Por lo tanto la capacidad de algunas plantas de mantenerse túrgidas bajo condiciones de escasez de agua en el suelo es una característica beneficiosa para evitar la disminución en la producción, puesto que tales circunstancias el descenso del

rendimiento puede estar relacionado con la reducción de la conductancia estomática (Pares *et al.*, 2004).

El arroz es un alto consumidor de agua presentando una baja eficiencia en el uso de la misma, comparado con el sorgo y otros cereales, lo que implica una relación de transpiración dos veces mayor y la producción de materia seca es proporcional a la cantidad de agua transpirada por la planta, lo que explica que el desarrollo y rendimiento del arroz en condiciones de secano guarda una alta relación con la cantidad y duración de la lluvia (Caraballo, 2006).

El proceso de apertura estomática determina la mayor o menor transpiración de la planta, y es controlado por las células estomáticas, cuyo movimiento está regulado por factores bioquímicos y por el potencial de presión. El indicador de cierre o apertura estomática se denomina resistencia difusiva.

2.6.1 Resistencia difusiva

Se define como la resistencia que opone la hoja a la pérdida de vapor de agua a través de los estomas y la cutícula. Es considerada como una medida de la condición fisiológica de las plantas y de su reacción frente a factores ambientales, siendo de gran importancia en el control de la pérdida de agua y la absorción de CO₂ para la fotosíntesis. El inverso de la resistencia difusiva es la conductancia estomática. El cierre de los estomas es la respuesta de la planta frente a desequilibrios hídricos en el continuo suelo-planta-atmosfera, por lo tanto la respuesta estomática es un indicador de la sensibilidad de la planta al estrés hídrico. El desarrollo de déficit hídrico a nivel del suelo se traduce en la disminución del potencial hídrico foliar, de la conductancia estomática, y de la tasa de asimilación de dióxido de carbono (CO₂).

2.6.2 Relación estomática y potencial de agua

Al respecto, la relación entre conductancia estomática y potencial de agua de la hoja presenta una alta dispersión y baja correlación debido a que la respuesta estomática es muy afectada por un complejo de factores ambientales como déficit de presión de vapor, temperatura, luz, concentración de dióxido de carbono (CO_2), velocidad del viento, humedad relativa y estado hídrico del tejido.

Los factores nutricionales tiene incidencia en el proceso de cierre y apertura estomática, especialmente los macronutrientes nitrógeno (N) y potasio (K). Plantas con mayores dosis de nitrógeno disminuyen su resistencia a la salida del vapor de agua. Plantas con buen abastecimiento de potasio, presentan una acumulación de este elemento en las células oclusivas o de guarda, aumentando su potencial de presión y contribuyen a la apertura estomática (Quezada *et al.*, 2005).

2.6.3 Clasificación de las plantas

Dependiendo del tipo de fijación de dióxido de carbono (CO_2), la planta tendrá un metabolismo distinto y por lo tanto, se clasifican en plantas C_3 , C_4 o CAM. En ellas, tanto la eficiencia del uso del agua y como la tasa de fijación de dióxido de carbono (CO_2) es diferente.

2.6.3.1 Plantas C_3

Se caracterizan por mantener los estomas abiertos durante el día para permitir la fijación de dióxido de carbono (CO_2), lo que provoca una pérdida de agua por transpiración, de forma continua. Ante el riesgo de deshidratación ocasionado por un estrés ambiental, estas plantas producen un cierre estomático que provoca una gran disminución de la fotosíntesis.

2.6.3.2 Plantas C₄

Se caracterizan por tener los estomas abiertos de día. Como poseen intermediarios de bombeo de dióxido de carbono (CO₂) en la célula, pueden permitirse un cierre de estomas imprevisto, siendo factible la continuidad del proceso fotosintético, gracias al reservorio de dióxido de carbono (CO₂).

2.6.3.3 Plantas CAM

Estomas abiertos por la noche. Las pérdidas de agua por transpiración se reducen enormemente. También poseen reservorio de dióxido de carbono (CO₂), con lo cual también pueden cerrar estomas sin que ello conlleve una disminución fotosintética.

Se estima que la fijación de (CO₂) se verá incrementada en los próximos 60 años debido al aumento en la temperatura. Se espera que la fijación de (CO₂) se incremente el 1 % por cada °C en regiones donde la temperatura media anual es de 30 °C y el 10 % en regiones donde la temperatura media anual es de 10 °C. Las tasas fotosintéticas subirían un 25-75 %, en las plantas de fotosíntesis C₃ (las más comunes en latitudes medias y altas), al duplicarse la concentración de dióxido de carbono (CO₂). Los datos son menos concluyentes en el caso de las plantas cuya modalidad fotosintética es la C₄, típica de lugares cálidos, siendo los intervalos de respuesta de 0 % hasta 10-25 % de incremento (Mota *et al.*, 2010).

Más del 90 % de las plantas terrestres son C₃ y de ellas se derivan las C₄ y CAM, (metabolismo ácido de las crasuláceas). La vía fotosintética C₄ existe tanto en las plantas no cotiledóneas como en dicotiledóneas y tiene un origen polifilético. Cuando la concentración de dióxido de carbono (CO₂) cae por debajo de 190 ppm no hay fijación

neta de este gas en las plantas C_3 . La vía C_4 apareció como consecuencia de la baja concentración de dióxido de carbono (CO_2), a menos de 500 ppm.

Las C_4 superan la baja en la concentración atmosférica de dióxido de carbono (CO_2) concentrándolo en el sitio donde actúa la Rubisco que en trigo (C_3) y maíz (C_4) tiene una especificidad relativa semejante para funcionar como oxigenasa o carboxilasa. Las C_4 tienen mayor eficiencia en el uso del agua y de los nutrimentos como el nitrógeno y la fotorrespiración es mucho más baja que en las C_3 (Raya y Aguirre, 2008).

III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del sitio experimental

El experimento se realizó durante el ciclo agrícola primavera-verano del 2010, en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna en el municipio de Torreón del Estado de Coahuila, México, región conocida como Comarca Lagunera, localizada entre los meridianos 102° 22' y 104° 47' longitud oeste, y paralelos 24° 22' y 26° 23' latitud norte con una altura media sobre el nivel del mar de 1, 139 m.

3.2 Características climáticas de la región

El clima de la Comarca Lagunera, es de tipo desértico con escasa humedad atmosférica, precipitación pluvial promedio entre 200 a 400 mm anuales en la mayor parte de la región y de 400 a 500 mm en la zona en la zona montañosa oeste, con una evaporación anual de 2600 mm y una temperatura media de 20 °C. En este último aspecto, el área de la llanura y gran parte de la zona montañosa, presenta dos periodos bien definidos, en el periodo comprende 7 meses desde abril hasta octubre, en los que la temperatura media mensual varía de 13.6 °C. Los meses más fríos son diciembre y enero registrándose en este último, el promedio de temperatura más bajos es de 5.8 °C aproximadamente (Hernández, 2010).

3.3 Labores culturales en desarrollo del experimento

3.3.1 Preparación del terreno

3.3.2 Barbecho

Se realizó a 30 cm de profundidad con un arado de discos con la finalidad de destruir e incorporar la maleza, remover el suelo, y darle uniformidad al terreno,

aireación y por consiguiente contribuir en la prevención de plagas y enfermedades en el suelo.

3.3.3 Rastreo

Se realizó un rastreo doble con la finalidad de desmenuzar los terrones que quedaron después de haber realizado el barbecho, esto para permitir el paso del aire y buena absorción de agua, además ayuda a facilitar la preparación de los surcos.

3.3.4 Nivelación

Se realizó la nivelación del suelo, forma de acondicionamiento físico que consiste en la remoción de suelo de las partes altas, su acarreo y depósito en las bajas, a fin de dejar una superficie plana, que se ajuste hasta donde sea posible a las pendientes naturales del terreno, y que facilite las labores agrícolas, especialmente para la aplicación del agua de riego.

3.3.5 Siembra

La siembra se llevó a cabo en el ciclo agrícola primavera-verano del año 2010 el día 8 de Mayo; el cultivo se estableció en un sistema de producción tradicional con una distancia entre surcos de 75 cm y 10 cm entre plantas con una densidad de población de 133 333 plantas por hectárea, la parcela experimental total fue de 540 m² que corresponden a parcelas de 15 m * 6 m en cada unidad experimental.

Cabe hacer mención que la siembra se realizó en seco y se sembraron cuatro híbridos de maíz que son: RX 715, Caimán, Berensten 302 y Ocelote.

3.3.6 Instalación del sistema de riego

El experimento se manejó bajo riego por goteo, ya que permite una aplicación más eficiente del agua de riego proporcionando el agua directamente a la zona de la raíz de la planta.

Se perforo la tubería de conducción a la cual se conectaron las líneas regantes de cintilla calibre 5 mil, espaciadas a 0.75 m entre líneas con espaciamiento entre emisores de 0.20 m con un gasto por emisor de 1 lph, con una longitud de 42 m de largo.

3.3.7 Riego

Se aplicaron cuatro riegos, una de emergencia y tres de auxilio, a lo largo del ciclo del cultivo, se utilizando el sistema de riego por goteo.

Cuadro 1. Calendario de riego. UAAAN-UL 2010.

RIEGOS	DÍAS DESPUÉS DE LA SEMBRA	FECHA
1 ^{er} siembra	71	17-may-10
2 ^{do} auxilio	88	3-jun-10
3 ^{er} auxilio	108	22-jun-10
4 ^{to} auxilio	127	11-jul-10

3.3.8 Control de maleza

Se realizaron inspecciones a los 17 dds, 18 dds, 19 dds para mantener el área de investigación libre de maleza, controlando de manera manual la posible emergencia. Esta labor cultural fue realizada con la finalidad de disminuir las condiciones óptimas para el evitar la competencia entre plantas con el cultivo.

3.4 Variables a evaluar

En la parcela experimental se sembraron cuatro híbridos de maíz bajo el método tradicional, con la finalidad de evaluar la actividad fotosintética medida con el aparato Photosynthesis System CI-340.

Con el cual se tomaron las siguientes variables:

- ❖ Fotosíntesis Neta (Pn) en $\mu \text{ Mol m}^2 \text{ S}^{-1}$
- ❖ Transpiración (E) en $\text{Mol m}^{-2} \text{ S}^{-1}$
- ❖ Conductancia estomatal (C) en $\text{Mol m}^{-2} \text{ S}^{-1}$

3.5 Diseño Experimental

Los híbridos se distribuyeron de acuerdo a un diseño de bloques completamente al azar con tres repeticiones.

Los híbridos evaluados: RX 715, Caimán, Berensten 302 y Ocelote.

3.6 Análisis estadístico

Las variables se analizaron por medio del paquete computacional SAS versión 9.1.

3.7 Toma de datos

Los datos de fotosíntesis, transpiración y conductancia estomática fueron tomados en la segunda hoja partiendo de la inflorescencia masculina hacia la base de la planta, con exposición directa de la luz solar; de los ocho surcos se muestreo tres plantas centrales de los cuatro híbridos en cada unidad experimental. Se tomaron cuatro mediciones a lo largo del ciclo agrícola del cultivo entre las 12:00 y las 16:00 hrs, debido a que la actividad fotosintética es mayor en este horario y recomendación dada. Las lecturas se tomaron a los 27, 34, 41 y 48 días después de la siembra.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Fotosíntesis

En el cuadro 2 se presenta la fotosíntesis neta determinada en los cuatro híbridos de maíz a los 27, 34, 41 y 48 DDS, el análisis estadístico para este parámetro no encontró diferencia significativa en la actividad fotosintética de los mismos por lo tanto, la fotosíntesis en dichos híbridos fue similar en las fechas determinadas.

Cuadro 2. Fotosíntesis neta de cuatro híbridos de maíz UAAAN-UL. 2010

Variedad	27 DDS	34 DDS	41 DDS	48 DDS
	$\mu \text{ Mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$			
RX 715	35.36 a	45.92 a	41.49 a	35.94 a
Caimán	28.47 a	49.43 a	41.29 a	38.55 a
Berensten 302	36.02 a	46.92 a	43.16 a	35.59 a
Ocelote	31.15 a	49.25 a	39.75 a	33.39 a
CV %	16.76	9.47	14.38	20.28

Valores con la misma letra, son estadísticamente iguales. (DMS, $P \leq 0.05$).

4.2 Transpiración

La actividad transpirativa de los cuatro híbridos de maíz se presentan en el cuadro 3 donde no se presenta tendencia, a 27 DDS el híbrido RX 715 presento la menor actividad transpirativa con $5.14 \text{ Mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ siendo superado por los híbridos Caimán, Berensten 302 y Ocelote que presentaron 6.06, 6.44 y $6.24 \text{ Mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ respectivamente. A 34, 41 y 48 DDS el análisis estadístico no presento diferencia en los cuatro híbridos de maíz, siendo estadísticamente igual.

Cuadro 3. Transpiración de cuatro híbridos de maíz UAAAN-UL. 2010

Variedad	27 DDS	34 DDS	41 DDS	48 DDS
	$\text{Mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$			
RX 715	5.14 b	6.22 a	5.38 a	4.34 a
Caimán	6.06 a	6.56 a	5.22 a	5.51 a
Berensten 302	6.44 a	6.16 a	5.53 a	5.4 a
Ocelote	6.24 a	6.38 a	5.22 a	5.19 a
CV %	7.5	4.09	12.06	20.7

Valores con la misma letra, son estadísticamente iguales. (DMS, $P \leq 0.05$).

4.3 Conductancia estomatal

En el cuadro 4 se presenta la conductancia estomatal determinada en los cuatro híbridos de maíz a los 27, 34, 41 y 48 DDS, el análisis estadístico para este parámetro no encontró diferencia significativa en la conductancia estomática de los mismos por lo tanto, la fotosíntesis en dichos híbridos fue similar en las fechas determinadas.

Cuadro 4. Conductancia estomatal de cuatro híbridos de maíz UAAAN-UL. 2010

Variedad	27 DDS Mol m ⁻² s ⁻¹	34 DDS Mol m ⁻² s ⁻¹	41 DDS Mol m ⁻² s ⁻¹	48 DDS Mol m ⁻² s ⁻¹
RX 715	135.54 a	250.54 a	234.97 a	166.64 a
Caimán	125.3 a	244.9 a	218.88 a	197.18 a
Berensten 302	135.35 a	233.28 a	235.33 a	176.35 a
Ocelote	151.42 a	247.34 a	203.44 a	165.73 a
CV %	13.8	17.29	26.27	27.97

Valores con la misma letra, son estadísticamente iguales. (DMS, P ≤ 0.05).

V. CONCLUSIÓN

Bajo las condiciones en que se desarrolló el presente trabajo, se puede concluir que la fotosíntesis, transpiración y conductancia estomatal se presentó a los 34 DDS.

La actividad fotosintética y conductancia estomatal en los cuatro híbridos de maíz fue similar.

En la transpiración solamente se detectó diferencia significativa en la menor actividad transpirativa del híbrido RX 715 a los 27 DDS.

VI. Literatura Citada

- Aguirre J. F., Kohashi Shibata J. y Acosta Gallegos Jorge. 1999. Respuesta Fisiológica del Frijol (*Phaseolus Vulgaris* L.) a la Sequía, en un Sistema de Raíz Dividida. Agronomía Mesoamericana. XLIV Reunión Anual del PCCMCA. Nicaragua. pp. 1-25.
- Allen Richard, Pereira Luis, Raes Dirk y Smith Martin. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Servicio de Recursos, Formento y Aprovechamiento de Aguas FAO. Roma. pp. 1-5.
- Alberto Julca Otiniano, Meneses Florián Liliana, Blas Servillano Raúl y Bello Amez Segundo. 2006. La materia Orgánica, Importancia y sus Experiencias en la Agricultura. Volumen 24, N° 1. Idesia, Chile. pp. 49-61.
- Caraballo Rubén Alfonso. 2006. Mejoramiento para Resistencia la Sequía en el Cultivo del Arroz. Instituto de Investigaciones del Arroz. La Habana, Cuba. pp. 10 (1): 31-36.
- Chiesa J., Luque S. F. y Cantarero M. G. 2000. Carbon Fixation by Crop Canopies In: Physiology of Crop Plants. Cereales y Oleaginosas. pp. 31-57.
- Espinoza Banda A. 2010. Formación de híbridos varietales en maíz forrajero. Tesis de Doctorado de la Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez de Estado de Durango. Venecia Durango.
- Flores Ortiz Miguel Ángel y Figueroa Viramontes Uriel. 2010. Producción y Ensilaje de Maíz Forrajero de Riego. Folleto Técnico No. 30. INIFAP (Instituto Nacional de

Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). Calera Zacatecas, México. pp 1-2.

García Olivares Jesús Gerardo. 1994. Efecto de profit-G, Gallinaza y Estiércol Bovino sobre la Actividad Fotosintética y el rendimiento de Maíz (*Zea mays* L.) en el Distrito de Riego No. 26 del Bajo Rio San Juan. Maestro en ciencias. Especialista en Producción Agrícola. Marín. N. L. pp. 38-44.

Hernández García Gilberto. 2009. Fotosíntesis, Transpiración y Rendimiento de seis variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la Comarca Lagunera. pp. 66-71. UAAAN-UL. Tesis de licenciatura. Torreón, Coahuila.

Hernández-Londoño Claudia Estella y Sánchez-Tovar Vladimir. 2010. Resistencia Estomática y Transpiración para Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y haba (*Vicia faba* L.) en condiciones de invernadero. Momentos de Ciencia 7(1). Universidad de la Amazonia. Florencia, Caquetá, Colombia. pp. 66-71.

López García Ma. Ángeles. 1986. Aptitud Combinatoria Heterosis y Acción del Gene Braquítico -2 para características Cuantitativas en Maíz, Bajo Temporal y Riego. Maestro en Ciencias en la Especialidad de Fitomejoramiento. Buena Vista, Saltillo, Coahuila. pp. 1-4.

López Lozano Misael y Espinoza Banda Armando. 2002. Recombinación de Selección de Familias de Medios Hermanos de Maíz. Memoria de la XVIII Semana Internacional de Agronomía FAZ-UJED. Durango, México. pp. 326.

López Martínez José Dimas, Vázquez V. Cirilo, Salazar Sosa Enrique. 2006. Producción de Maíz Forrajero Evaluadas con Labranza y Fertilización Orgánica-Inorgánica.

Memoria de la XVIII Semana Internacional de Agronomía FAZ-UJED. Durango, México. pp 61.

Martínez Gutiérrez Ricardo, Zavaleta Mancera Hilda, Ruiz Posadas Del Mar Lucero, Delgado Alvarado Adriana y Vaca Paulin Rocio. 2008. Intercambio de Gases y Relaciones Hidricas Durante el Retraso de la Senescencia Foliar de Trigo (*Triticum aestivum* L.) por la Citocinina BAP. Vol. 33 N° 2.

Martínez Hernández Pablo. 1999. Determinación del Coeficiente de Desarrollo (Kc) para el Maíz (*Zea mays* L.) Híbrido AN-447. Buena Vista, Saltillo, Coahuila. pp. 13-15.

Martínez Martínez Laura Raquel. 2003. Respuesta Bioquímica y Molecular de la Simbiosis *Phaseolus vulgaris*-*Glomus intraradices* al Estrés del Agua. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Doctorado en Ciencias. Universidad de Colima. Tecoman, Col. pp. 3-19.

Martínez Ríos Alejandro, Valenzuela Rey Santiago, Arturo Ávila G., Sánchez Fernando Miguel y Ramírez R. Manlio E. 2006. Avances en Labranza y la Materia Orgánica en la Variedad de Maíz "San Lorenzo". Memoria de la XVIII Semana Internacional de Agronomía FAZ-UJED. Durango, México. pp 573.

Maturano Marisa. 2002. Estudio del Uso del Agua y del Nitrógeno Dentro del Marco de una Agricultura Sostenible en las Regiones Maiceras Castellano-Manchega y Argentina. Albacete, Argentina. pp. 16.

Mendoza Villarreal Rosalinda. 1986. Respuesta del Maíz (*Zea mays* L.) Variedad Lucio Blanco (AN-361) a la Inoculación de *Azospirillum Lipoferum*, *A. Brasitense* y *Azospirillum* sp en Derramadero, Coahuila. Maestro en Ciencias en la Especialidad de Suelos. Buena Vista, Saltillo, Coahuila. pp. 7-11.

- Micucci Guillermo Fererico, Taboada Miguel Ángel, Rodolfo Gil. 2006. El Agua en los Sistemas Extensivos, Consumo y Eficiencia de uso de agua de los cultivos. INPOFOSCono sur, FAUBA, INTA Castelar. pp. 1-6.
- Montemayor Trejo José Alfredo, Zermeño González Alejandro, Olague Ramírez Jesús, Aldaco Nuncio Rogelio, Fortis Hernández Manuel, Sosa Enrique Salazar, Rodríguez Ríos José Cruz, Vázquez Vázquez Cirilo. 2006. Efecto de la densidad y estructura del dosel de maíz en la penetración de la radiación solar. Revista Internacional de botánica experimental. 75: 47-53.
- Mota César, Alcaraz López Carlos, Iglesias María, Ballesta Martínez y Carvajal Micaela. 2010. Investigación Sobre la Absorción de CO₂ por los Cultivos más Representativos. Departamento de Nutrición Vegetal. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Murcia, España. pp. 1-43.
- Muñoz Arboleda Fernando. 2000. Importancia del Agua en la Nutrición de los Cultivos. Carta Trimestral. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CEÑICAÑA). Cali, Valle del Cauca, Colombia. pp. 16-18.
- Paliwal Ripusudan L., Granados Gonzalo, Lafitte Renée Honor. 2001. El Maíz en los Trópicos: Mejoramiento y Producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. pp. 1-11.
- Parés Martínez Jorge, Arizaleta Miguel, Sanabria María Elena. 2004. Características de los Estomas, Densidad e Índice Estomático y su Variación en Función a la Injertación en *Annona muricata* L. y *A. montana* Madfac. Universidad Experimental Pedagógica Libertador (UPEL). Barquisimeto, Venezuela. Vol. 16(3) pp. 213-218.

- Quezada Celerino, Riquelme Fredy y García Hernán. 2005. La Resistencia Difusiva como Indicador del Estado Hídrico de la Planta. Universidad de Concepción, Depto. de Suelos. Chillán, Chile. pp. 90-95.
- Raya Pérez J. C. y Aguirre Mancilla C. L. 2008. Aparición y Evolución de la Fotosíntesis C4. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. Universidad Autónoma Chapingo. Vol. 14(1). pp. 45-50.
- Ruiz De Galarreta Gómez José Ignacio. 1991. Agrupación de Poblaciones Locales de Maíz (*Zea Maiz* L.) Mediante Caracteres Morfológicos y Parámetros Ambientales. Universitat de Lleida. pp 7.
- Salazar Sosa Enrique, Beltrán Morales Alfredo, Forti Hernández Manuel, Leos Rodríguez Juan Antonio, Cueto Wong José Antonio, Vázquez Vázquez Cirilo, Peña Cabriales Juan José. 2003. Mineralización De Nitrógeno en el Suelo y Producción de Maíz Forrajero con Tres Sistemas de Labranza, Terra Volumen 21. Universidad Autónoma Chapingo, México. pp 570.
- Sarmiento Guillermo y Acevedo Dimas. Dymanys of Soil Water, Evaporation, and Transpiration in a Pasture and a Corn Field on an Alfisol in the Venezuelan Western Llanos. 2001. Centro de Investigaciones Ecologicas de Los Andes Tropicales (CIELAT), Facultad de Ciencias, Universidad de los Andes Tropicales. Vol 4 (1). Mérida, Venezuela. pp. 27-30.
- Silva C. Paola, Acevedo H. Edmundo, Silva R. Herman. 2010. Manual de Estudio Y ejercicios. Lab. Relación Suelo-Agua-Planta. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. pp. 1-2.

- Tanaka, A. y J. Yamaguchi. 1977. Producción de materia seca, componentes del rendimiento y rendimiento de grano en maíz. Traducido por J. Kohashi. Rama de Botánica. Colegio de Posgraduados. Chapingo México, pp. 45-59.
- Vera Toledo Rubén Antonio. 2009. Respuesta Agronómica y de Calidad Nutricional de Once Híbridos de Maíz Forrajero (*Zea mays* L.) de Ciclo Precoz Evaluados en la Región Lagunera. UAAAN U-L. Torreón, Coahuila. México. pp. 1-7.
- Villa Castorena M., Catalán Valencia E. A., Inzunza Ibarra M. A. y Sánchez Cohen I. 2006. La fertilización Nitrogenada y la Salinidad del Suelo Afectan la Transpiración y Absorción de Nutrimientos en Plantas de Chile. INIFAP, CENID RASPA. Gomez Palacio, Durango, México. Vol. 24 pp. 391-399.
- Zarco-Tejada P. J., J. A. J. Berni, Sepulcre-Cantó G., Fereres E. y Villalobos F. J. 2009. Estimación de Conductancia Estomática y Detección de Estrés Hídrico en Vegetación Mediante Imágenes Térmicas de Alta Resolución Espacial Obtenidas con un Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV). Agua y Desarrollo Sostenible. Catalayud, España. pp. 25-28.

VII. ÍNDICE DE APENDICE

Cuadro A1. Fotosíntesis neta a los 27 DDS UAAAN-UL 2010.

	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTO	3	115.11	38.37	1.27	0.36
BLOQUE	2	66.85	33.42	1.11	0.38
ERROR	6	180.81	30.13		
TOTAL	11	362.79			
CV %	16.76				

Cuadro A2. . Fotosíntesis neta a los 34 DDS UAAAN-UL 2010.

	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTO	3	27.07	9.02	0.44	0.73
BLOQUE	2	1.35	0.67	0.03	0.96
ERROR	6	123.47	20.57		
TOTAL	11	151.9			
CV %	9.47				

Cuadro A3. . Fotosíntesis neta a los 41 DDS UAAAN-UL 2010.

	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTO	3	17.48	5.82	0.16	0.91
BLOQUE	2	30.15	15.07	0.42	0.67
ERROR	6	213.18	35.53		
TOTAL	11	260.81			
CV %	14.38				

Cuadro A4. . Fotosíntesis neta a los 48 DDS UAAAN-UL 2010.

	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTO	3	40.35	13.45	0.25	0.85
BLOQUE	2	65.17	32.58	0.62	0.57
ERROR	6	317.69	52.94		
TOTAL	11	423.22			
CV %	20.28				

Cuadro A5. Transpiración a los 27 DDS UAAAN-UL 2010.

	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTO	3	2.97	0.99	4.94	0.04
BLOQUE	2	0.10	0.05	0.26	0.78
ERROR	6	1.20	0.2		
TOTAL	11	4.28			
CV %	7.5				

Cuadro A6. Transpiración a los 34 DDS UAAAN-UL 2010.

	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTO	3	0.29	0.09	1.44	0.32
BLOQUE	2	0.49	0.24	3.72	0.08
ERROR	6	0.4	0.06		
TOTAL	11	1.19			
CV %	4.09				

Cuadro A7. Transpiración a los 41 DDS UAAAN-UL 2010.

	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTO	3	0.19	0.06	0.16	0.91
BLOQUE	2	0.12	0.06	0.15	0.86
ERROR	6	2.49	0.41		
TOTAL	11	2.81			
CV %	12.06				

Cuadro A8. Transpiración a los 48 DDS UAAAN-UL 2010.

	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTO	3	2.51	0.83	0.75	0.56
BLOQUE	2	0.67	0.33	0.3	0.74
ERROR	6	6.72	1.12		
TOTAL	11	9.91			
CV %	20.7				

Cuadro A9. Conductancia estomatal a los 27 DDS UAAAN-UL 2010.

	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTO	3	1048.87	349.62	0.98	0.46
BLOQUE	2	793.4	396.7	1.11	0.38
ERROR	6	2142.14	357.02		
TOTAL	11	3984.43			
CV %	13.8				

Cuadro A10. Conductancia estomatal a los 34 DDS UAAAN-UL 2010.

	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTO	3	508.86	169.62	0.10	0.95
BLOQUE	2	4762.27	2381.13	1.34	0.33
ERROR	6	10689.53	1781.58		
TOTAL	11	15960.67			
CV %	17.29				

Cuadro A11. Conductancia estomatal a los 41 DDS UAAAN-UL 2010.

	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTO	3	2084.02	694.67	0.20	0.89
BLOQUE	2	327.99	163.99	0.05	0.95
ERROR	6	20625.41	3437.56		
TOTAL	11	23037.43			
CV%	26.27				

Cuadro A12. Conductancia estomatal a los 48 DDS UAAAN-UL 2010.

	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTO	3	1923.51	641.17	0.26	0.84
BLOQUE	2	5766.9	2883.45	1.18	0.36
ERROR	6	14619.35	2436.55		
TOTAL	11	22309.76			
CV %	27.97				