

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**Fotosíntesis, Transpiración y Rendimiento de seis variedades de frijol
(*Phaseolus vulgaris* L.) en la Comarca Lagunera.**

POR:

GILBERTO HERNÁNDEZ GARCÍA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO

DE:

INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACIÓN

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE 2009.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Fotosíntesis, Transpiración y Rendimiento de seis variedades de frijol
(*Phaseolus vulgaris* L.) en la Comarca Lagunera.

POR:

GILBERTO HERNÁNDEZ GARCÍA

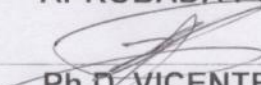
TESIS

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

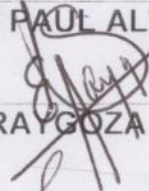
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:

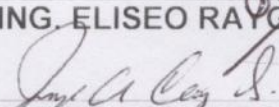
ASESOR PRINCIPAL


Ph.D. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA

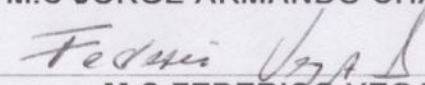
ASESOR


ING. ELISEO RAYGOZA SÁNCHEZ

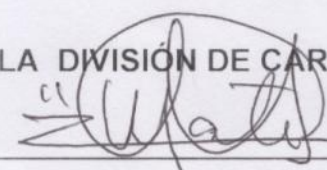
ASESOR


M.C. JORGE ARMANDO CHÁVEZ SIMENTAL

ASESOR


M.C. FEDERICO VEGA SOTELO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS


M.E. VICTOR MARTINEZ CUETO



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MEXICO.

DICIEMBRE 2009.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Fotosíntesis, Transpiración y Rendimiento de seis variedades de frijol
(*Phaseolus vulgaris* L.) en la Comarca Lagunera.

POR:

GILBERTO HERNÁNDEZ GARCÍA

TESIS

QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR,
COMO

REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:

PRESIDENTE

Ph.D. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA

VOCAL

ING. ELISEO RAYGOZA SÁNCHEZ

VOCAL

M.C. JORGE ARMANDO CHÁVEZ SIMENTAL

VOCAL

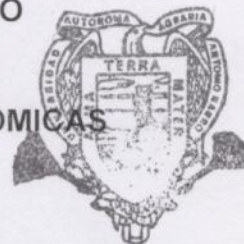
M.C. FEDERICO VEGA SOTELO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

M.E. VICTOR MARTINEZ CUETO

TORREÓN, COAHUILA, MEXICO.

Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas
DICIEMBRE 2009



DEDICATORIAS

A Dios

Por haberme permitido llegar hasta este punto y dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A ti Madre

Angelina García Mariano por haberme educado y soportar mis errores. Gracias a tus consejos, el amor que siempre me has brindado, cultivar e inculcar ese sabio el don de responsabilidad.

¡Gracias por darme la vida, te quiero mucho!

A ti Padre

Rosalio Hernández Castillo a quien le agradezco el cariño, comprensión, paciencia y apoyo que me brindó para culminar mi carrera profesional.

A mis Hermanos

Inés, Isabel, Eusebia, Gloria, Rosibel, a mi hermano Leodegario y Karina.

Porque siempre he contado con ellos para todo, gracias a la confianza que siempre nos hemos tenido, apoyo y amistad.

¡Gracias!

A mis Abuelos

Calixto García Antonio

Teodora Mariano Acevedo

Por estar siempre en los momentos importantes de mi vida, apoyarme para salir adelante y por los consejos que me han sido de gran ayuda para mi vida, sobre todo el amor y cariño que me han brindado.

AGRADECIMIENTOS

A mí querida familia que siempre me han apoyado.

Quiero extender un sincero agradecimiento a mi asesor Ph.D. Vicente de Paúl Alvarez Reyna y M.C. Jorge Armando Chávez Simental, principal colaborador, por su paciencia, disponibilidad y generosidad para la realización de esta tesis. Además mi agradecimiento a mis otros asesores, M.C. Federico Vega Sotelo, Ingeniero Eliseo Raygoza Sánchez y al Ingeniero Lourdes Ortiz Pérez por su amabilidad disponibilidad para el desarrollo de este trabajo.

A mis primos que siempre me han apoyado de alguna de otra manera.

A mis amigos quiero darles las gracias por haberme dado palabras de aliento para salir adelante en los momentos difíciles en mi estancia dentro de la universidad.

De la misma manera agradezco a todos mis tíos quienes me animaron a continuar con esta labor, los quiero mucho.

A mi universidad “**Alma Terra Mater**” que me dio la oportunidad de formar parte de ella como profesionista.

¡Gracias!

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIAS	iv
AGRADECIMIENTOS	v
INDICE DE CUADROS	viii
INDICE DE APENDICE	ix
RESUMEN	x
I INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo	4
1.2 Hipótesis	4
1.3 Metas	4
1.4 Justificación	5
II REVISIÓN DE LITERATURA	7
2.1 Importancia del agua para las plantas	7
2.1.1 Eficiencia en el uso del agua	7
2.2 Requerimiento de agua para el cultivo de frijol	9
2.2.1 Transpiración	10
2.2.2 Transpiración, biomasa y rendimiento	10
2.2.3 Evaporación, transpiración	12
2.2.4 Influencia de factores físicos y biológicos	13
2.3 Fotosíntesis a nivel de hoja	14
2.3.1 La luz	14
2.3.2 Dióxido de carbónico (CO ₂)	17
2.3.3 Temperatura	17
2.3.4 Humedad del aire	18
2.4 Disponibilidad de agua en el suelo	19
2.5 El estrés hídrico en el frijol	21

2.6 Influencia de factores biológicos	21
2.6.1 La apertura estomática	21
2.6.2 Edad de las hojas	22
2.6.3 Genético	24
2.6.4 Interceptación de la radiación por la cubierta vegetal	24
2.6.5 Utilización de carbohidratos	25
III MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.1 Localización del sitio experimental	26
3.1.2 Características climáticas de la región	26
3.2 Preparación del terreno	26
3.2.1 Barbecho	26
3.2.2 Rastreo	27
3.2.3 Nivelación	27
3.2.4 Trazado de surcos	27
3.2.5 Siembra	27
3.2.6 Riegos	28
3.2.7 Cosecha	28
3.3 Variables de estudio	28
3.4 Descripción de las variedades de frijol	28
3.5 Diseño Experimental	29
3.5 Distribución de las variedades en campo	31
3.6 Toma de datos	31
IV. Resultados y Discusión	32
4.1 Fotosíntesis	32
4.2 Transpiración	33
4.3 Producción	35
V. Conclusiones	36
VI. Literatura Citada	37

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Características específicas de las variedades de frijol evaluadas en UAAAAN-UL 2009. _____	30
Cuadro 2. Fotosíntesis neta de seis variedades de frijol UAAAN-UL. 2009 ____	33
Cuadro 3. Transpiración de seis variedades de frijol UAAAN-UL 2009 _____	34
Cuadro 4. Rendimiento de seis variedades de frijol. UAAAN-UL 2009 _____	35

INDICE DE APENDICE

Cuadro A1. Resultados del análisis de varianza de la variable fotosíntesis a los 50 DDS. UAAAN-UL _____	47
Cuadro A2. Resultados del análisis de varianza de la variable fotosíntesis a los 71 DDS. UAAAN-UL _____	47
Cuadro A3. Resultados del análisis de varianza de la variable fotosíntesis a los 83 DDS. UAAAN-UL _____	48
Cuadro A4. Resultados del análisis de varianza de la variable transpiración a los 50 DDS. UAAAN-UL _____	48
Cuadro A5. Resultados del análisis de varianza de la variable transpiración a los 71 DDS UAAAN-UL_____	49
Cuadro A6.Resultados del análisis de varianza de la variable transpiración a los 83 DDS. UAAAN-UL _____	49
Cuadro A7. Resultados del análisis de varianza de la variable rendimiento de las seis variedades de frijol en la Comarca Lagunera. UAAAN-UL _____	50

RESUMEN

El frijol es un cultivo importante ya que constituye parte de la dieta de más de 500 millones de personas por su alto valor nutritivo. Sin embargo, la disponibilidad de agua y nutrientes juega un papel importante en su producción en virtud de lo cual se realizó el presente estudio con el objetivo de evaluar la fotosíntesis, transpiración y producción de 6 variedades de frijol, bajo las condiciones climáticas de la Comarca Lagunera y determinar la mejor variedad bajo estas condiciones. El presente trabajo se realizó en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Las variedades evaluadas fueron Pinto Villa, Pinto Nacional, Pinto Bayacora, Pinto Durango, Pinto Saltillo, y Pinto Mestizo. El diseño experimental utilizado fue un bloque al azar con tres repeticiones. Las variables evaluadas fueron fotosíntesis, transpiración y rendimiento. Las mejores variedades fueron Pinto Mestizo y Pinto Villa, las cuales presentaron la mayor actividad fotosintética, transpirativa y rendimiento.

Palabras Claves: Frijol, variedades, fotosíntesis, transpiración, rendimiento.

I. INTRODUCCIÓN

En México, el frijol es un cultivo tradicional y se le encuentra en todas las regiones agrícolas del país. La demanda es casi universal e incluye diversas clases de frijol, con excepción de las regiones del trópico húmedo y del pacífico norte donde se tiene preferencia por los frijoles negros pequeños y opacos en la primera y los frijoles tipo peruano en la segunda.

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es uno de los cultivos de secano más importantes en el Altiplano semiárido de México, donde la precipitación es irregular y la utilización de insumos es baja, por lo que es frecuente obtener bajos rendimientos. La disponibilidad de humedad, temperatura, fotoperiodo y sus interacciones, influyen notoriamente en el crecimiento y desarrollo del frijol (Masaya y White, 1991; Acosta y White, 1995; Acosta *et al.*, 1996), así como en la duración de las etapas fenológicas, como de siembra a floración y a madurez fisiológica. Además es importante en la dieta de más de 500 millones de personas, para ellas constituye el componente principal del régimen alimenticio diario. Este alimento básico es, sin duda, la leguminosa alimenticia más importante del mundo (Pinstrup- Anderson y Pandya – Lorch 2000).

El frijol se siembra prácticamente en todos los estados de México, desde el nivel del mar hasta altitudes de más de 2 500 metros, y en todo tipo de suelo y clima. Después del maíz, el frijol representa el segundo cultivo más importante a escala nacional, tanto por la superficie, como por el número de agricultores que se dedican al cultivo (SAGARPA 2003, Ortiz 1998). Según el volumen de producción, se distinguen dos regiones principales; la primera se localiza en la parte semiárida del centro–norte y comprende Zacatecas, Aguascalientes, Durango y Chihuahua, cuya producción tiende a concentrarse en el ciclo primavera–verano, la segunda se ubica en la región noroeste del territorio mexicano, e incluye a Sinaloa y Nayarit, que junto con Veracruz, destacan como

principales productores del ciclo otoño–invierno (Rincón *et al.* 2004, Galindo y Zandate 2004). A la región centro–norte, se le considera la franja frijolera más importante de México, cuya producción representa cerca de 47 por ciento del total nacional. Es por ello que, se le señala como un área compacta de gran importancia, inclusive en el mundo (Ledesma y Ramírez 1994).

La cosecha de frijol se obtiene en dos grandes zonas productoras, con condiciones y rendimientos diferentes. La región templada semiárida del Norte-Centro con siembras en Primavera-Verano con el 92.54% de la superficie bajo condiciones de temporal deficiente y rendimientos bajos de 531 kg ha⁻¹. La otra región importante se ubica en el Noroeste, con siembras en Otoño-Invierno bajo riego o humedad residual, con rendimientos de 1248 kg ha⁻¹ y una aportación del 21.47% a la producción nacional. La dependencia de una macro región con condiciones desfavorables para la producción ha traído fluctuaciones considerables en la producción nacional de frijol, con importaciones promedio de 72,000 t año⁻¹ (CEA, 2001).

La mayor parte de la producción se obtiene en los estados de Zacatecas, Durango, Chihuahua, Sinaloa, Nayarit, Guanajuato, Chiapas, San Luis Potosí y Puebla. Actualmente las variedades más comunes de frijol y las regiones donde se utilizan, se describen a continuación: Blanco 157 (Bajío), Canocel (Bajío), Pinto 133 y Durango 225 (Bajío y regiones semiáridas), Durango 664 (Durango, Zacatecas y Chihuahua), Durango 222 (Regiones semiáridas), Canario 72 (Sinaloa, Nayarit, Jalisco y Bajío), Ojo de Cabra 73 (Chihuahua, Zacatecas, Durango), Río Grande (Durango y Zacatecas), Bayo Calera (Zacatecas), Bayo Durango (Durango, Chihuahua, Zacatecas, Aguascalientes), Negro Perla, Bayo Macentral, Flor de Mayo M38, Flor de Junio Marcela, Flor de Mayo RMC, Flor de Mayo Bajío, Negro 150, Bayo INIFAP, Negro 8025, Flor de Durazno; éstas para zonas con clima templado subhúmedo. Pinto Mestizo, Pinto Bayacora, Negro Altiplano, Negro Sahuatoba, Pinto Villa, Bayo Victoria, Negro Durango, Negro Querétaro, Negro San Luis, (Altiplano Semiárido). Siendo de mayor

relevancia en los primeros cinco a juzgar por la vocación, superficie, número de productores y volumen de producción, sin dejar de ser importante en el resto de los estados donde se establece en pequeñas superficies, que en mucho contribuyen al abasto local por el simple hecho de reducir su demanda externa. Esto último también se explica por el costo ya que dentro de una economía familiar de pequeña escala el tener una pequeña producción local reduce sus egresos al no tener que adquirirlo en el mercado. Además de tener preferencias específicas para un tipo de grano, que ha logrado satisfacer sus preferencias de gusto por siglos (Acosta y Pérez, 2003).

1.1 Objetivo

Evaluar la fotosíntesis, transpiración y rendimiento de seis variedades de frijol bajo las condiciones climáticas de la Comarca Lagunera.

1.2 Hipótesis

La actividad fotosintética, transpirativa y rendimiento de las seis variedades de frijol es similar.

1.3 Metas

Seleccionar una variedad de frijol de mayor potencial productivo.

1.4 Justificación

En la Comarca Lagunera, se dan comúnmente las condiciones de escasa disponibilidad hídrica que caracterizan a las regiones áridas y semiáridas de México. Estas condiciones, generalmente determinan baja producción de cosechas y en muchos de los años, hasta pérdida total de ellas, como limitante principal, sobre el uso eficiente del agua se establecen muchas de las acciones de investigación. Las más comunes, están enfocadas a determinar especies o variedad con mayor adaptabilidad, otras buscan estudiar los mecanismos de adaptación de manera de poder ajustar las condiciones de la planta, a las condiciones del medio, y a otras más, indirectamente buscan la relación óptima de los factores de la producción con el rendimiento.

Sin embargo, estudios directos sobre el manejo del agua, con propósito de irrigación son limitados, y generalmente las recomendaciones que surgen de ellos, no se adaptan a las condiciones de operación de las obras de riego impuestas en muchos de los casos, por condiciones de disponibilidad de agua en las fuentes de almacenamiento.

Las metodologías para determinar recomendaciones sobre el manejo del agua, deben de sustentarse en un conocimiento más profundo en las relaciones, suelo-planta-atmosfera. Al entender estas relaciones, tendremos criterios más amplios para definir las acciones más viables que resulten en una mayor productividad al utilizar dicho recurso.

Sobre la magnitud y características en este estudio, conviene evaluar sobre un amplio margen, las respuestas de especies de cultivos o variedades, dado que para cada condición se esperaría un valor diferente el cual estaría determinado por cuestiones fisiológicas de la planta. De esta manera podemos establecer rangos más amplios, medidas más precisas para manejar el agua, de acuerdo con la condición del suelo, clima y tipo de planta o variedad específica. Asimismo, podremos caracterizar a las diferentes variedades en

respuesta de condiciones climáticas y a sus relaciones con otros factores de la producción.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia del agua para las plantas

El agua es el constituyente más abundante de las células de las plantas, constituye entre el 80 y 95% de la masa de los tejidos vivos (Taiz y Zeiger, 1991). A nivel celular, el agua es el principal medio de transporte de metabolitos a través de la célula; a nivel de toda la planta, el agua es el medio que transporta los materiales sin elaborar (nutrientes), al igual que transporta las fitohormonas de un órgano a otro, las que son requeridas para el crecimiento y desarrollo (Lambers *et al.*, 1998).

2.1.1 Eficiencia en el uso del agua

La eficiencia en uso agua se refiere a la cantidad de agua perdida durante la producción de la biomasa y/o la fijación de CO₂ en la fotosíntesis (Viets, 1962).

La eficiencia en uso de agua de una planta depende de la conductancia estomatal y de la diferencia en la presión de vapor entre los espacios intercelulares de las hojas y aire. La temperatura es otro factor, debido a que afecta la presión de vapor en la hoja (Howard *et al.*, 1997).

Las principales diferencias en la eficiencia uso agua han sido encontradas entre los grupos fisiológicos C3, C4 y CAM (Lambers *et al.*, 1998). La eficiencia en uso del agua depende de la densidad de los árboles (Droppelman *et al.*, 2000), y déficit de saturación del aire (Tanner y Sinclair, 1983), de manera que las mismas plantas que crecen en ambientes semiáridos producen menos materia seca por unidad de agua transpirada que en condiciones húmedas. Cuando el agua es limitada, el rendimiento de las plantas

disminuye linealmente con el incremento del déficit de presión de vapor (Howard *et al.*, 1997).

El efecto de la sequia sobre la fotosíntesis de la 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 de forma similar (Kramer, 1983).

Además 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 incremento de la concentración atmosférica de CO₂ tiene efecto inhibitorio de la conductancia estomática, es decir, habrá un cierre de estomas y por tanto se reducirá la capacidad de intercambio de gases en las plantas. Las plantas de diferentes especies metabólicos fotosintético del tipo c3 y c4 desarrolladas en atmósfera con altas concentraciones de de CO₂, la conductancia se reduce considerablemente (Knapp *et al.*, 1994).

2.2 Requerimiento de agua para el cultivo de frijol

Los requerimientos de agua para producciones máximas del cultivo entre 60 y 120 días varían entre 300 y 500 mm dependiendo del clima. El factor del cultivo (K_c) que relaciona los requerimientos de agua (ET_m) a la evapotranspiración de referencia (ET_o) para los diferentes estados de crecimiento del cultivo, para producción de grano seco son: a) estado inicial de 0.3 a 0.4 (15-20 días), b) estado de desarrollo de 0.70 a 0.80 (15-20 días), c) mediados del periodo de crecimiento de 1.05 a 1.20 (35-45), d) durante la fase tardía de crecimiento de 0.65 a 0.75 (20-25 días) y e) a cosecha de 0.25 a 0.30 (FAO, 2008).

Severo déficit de agua durante el periodo vegetativo generalmente retarda el desarrollo de la planta y causa crecimiento no uniforme. Durante los periodos de floración y llenado de grano el riego frecuente resulta en mayor respuesta a producción, aunque exceso de agua incrementa la incidencia de enfermedades, particularmente de la raíz.

Bajo condiciones de ET_m de 5 a 6 mm d^{-1} , 40 al 50 % del agua puede ser agotada del total disponible en el suelo antes que la extracción sea afectada. El déficit de agua durante el periodo de llenado de grano genera vaina pequeña y mal formada, con alto contenido de fibra (FAO, 2008).

En condiciones ambientales favorables, bajo riego, el rendimiento de semilla seca esta alrededor de 1.5 a 2.0 t ha^{-1} . La eficiencia de uso de agua para grano seco (10% de humedad), es de 0.3 a 0.6 $kg\ m^{-3}$ (FAO, 2008).

2.2.1 Transpiración

La transpiración es el mecanismo fisiológico de pérdida de agua de las plantas a través de los estomas, principalmente (Jiménez, 1986).

2.2.2 Transpiración, biomasa y rendimiento

Para un cultivo dado, nivel de fertilización y clima, existe una relación lineal bien establecida entre la biomasa de la planta (hojas, tallos, raíces y grano) y la transpiración, proceso mediante el cual las plantas convierten agua líquida en vapor (Tanner y Sinclair, 1983; Steduto y Albrizio, 2005). Más producción de biomasa requiere más transpiración, debido a que cuando los estomas se abren, el dióxido de carbono fluye dentro de las hojas para la fotosíntesis y el agua fluye fuera. Durante la sequía, el cierre de los estomas limita la transpiración, la fotosíntesis y la producción.

Los cultivos C4 son más eficientes en el uso del agua, en términos de relación entre transpiración y biomasa que los cultivos C3 (Molden, 2007).

Los genetistas han desarrollado variedades con alto índice de cosecha, logrando más producto económico por unidad de transpiración; ésta estrategia de los mejoradores probablemente ha aumentado el potencial de ganancia de productividad de agua más que cualquier otra práctica agronómica en los últimos 40 años (Keller y Seckler, 2004).

La relación entre transpiración y producción de cultivos tiene consecuencias de gran alcance para el agua. Aumentos en la producción de alimentos son logrados incrementando el agua transpirada (Molden, 2007).

Mientras existe una relación fija entre biomasa y transpiración, hay una sustancial variabilidad en rendimiento relacionado a la transpiración, debido a la diferencia en evaporación, índice de cosecha, condiciones climáticas, cultivares, estrés hídrico, plagas y enfermedades, estado nutricional suelo otros manejos y prácticas agronómicas. Por lo que existe una considerable oportunidad para alcanzar la cantidad de rendimiento en relación a la evapotranspiración, antes de lograr el límite superior. Mucha de la variabilidad es debida a las prácticas de manejo, lo cual es importante debido a que ofrece esperanza de posible mejoramiento de la relación entre el producto y la evapotranspiración (French y Schultz, 1984).

En situaciones donde el rendimiento es menor que el 40 al 50% del potencial, factores diferentes al agua, como la fertilidad del suelo, limitan el rendimiento y la productividad de agua por los cultivos por unidad de evapotranspiración (Tanner y Sinclair, 1983). La degradación del suelo y agotamiento de los nutrientes restringen significativamente las oportunidades para incrementar la productividad de agua. En esas situaciones hay un efecto sinérgico cuando las prácticas que incrementan el acceso al agua, que simultáneamente reducen los procesos de degradación, son combinadas con otras prácticas agronómicas como el mantenimiento de la salud del suelo y la fertilidad, por ejemplo controlando malezas y enfermedades al momento de la siembra. Cada interacción sinérgica entre los factores de producción aumenta la productividad de agua, especialmente cuando los valores de rendimiento son bajos, debido a que más recursos de producción son usados más eficientemente, aumentando los niveles de producción. Cuando los rendimientos están por encima de 40 al 50% de su potencial, la ganancia en rendimiento viene del incremento proporcional en la cantidad de evapotranspiración (De Wit, 1992).

2.2.3 Evaporación, transpiración

La base del agotamiento del agua en la agricultura es principalmente debida a la evapotranspiración, la combinación de la transpiración productiva y la evaporación colateral de la superficie del suelo. Este concepto es comúnmente usado, porque es difícil separar la evaporación de la transpiración. La evapotranspiración es críticamente importante debido a que es esencial para la producción de los cultivos y porque aumentar la evapotranspiración agrícola significa que menos agua está disponible para otros usos ecológicos y humanos. Últimamente la agricultura está limitada por el recurso agua disponible, que puede ser agotado la evapotranspiración (Molden, 2007).

El clima juega un papel central en la productividad de agua por unidad de evapotranspiración. Las mayor productividad se logra a menor déficit de presión de vapor (la diferencia entre la cantidad de vapor de agua actual y la máxima en el aire) (Tanner y Sinclair, 1983), lo cual es común a altas latitudes (Zwart y Bastiaanssen, 2004). Se especula que mayores niveles de CO₂ asociados con el cambio climático aumentarán la productividad de agua por unidad de evapotranspiración, debido a que más carbono puede entrar a la planta para una mayor fotosíntesis (Droogers y Aerts, 2005; IPCC, 2001). Sin embargo, evidencias más recientes sostienen que la ganancia en productividad sera compensada por el incremento de la temperatura (Long *et al.*, 2006).

2.2.4 Influencia de factores físicos y biológicos

La fenología es el estudio de los cambios biológicos de la planta, realizado a cierto ritmo periódico, relacionados con el clima de la localidad (Fournier y Charpantier, 1978), que puede ser afectada por el fotoperiodo, (White, 1985), el cual se aprecia por la duración del día y su efecto varía con la fase de desarrollo y la naturaleza de sus órganos. Siendo el frijol una especie de días cortos, los días largos tienden a causar demoras en la floración y madurez (Fernández *et al.*, (1985), y se ha establecido que por cada hora más de luz durante el día puede retardar la madurez de dos a seis días (White, 1985), por el contrario, cuando un fotoperiodo es corto, el número de días de la siembra a la floración es menor (Masaya y White, 1991).

El modelo medio general de la fotosíntesis de hojas expuestas directamente a la luz se corresponde con la presencia de mínimo a las 12 horas y dos máximos a media mañana y media tarde, respectivamente, siendo superior en general el de la mañana (Yuste, 1995). Este autor añade que dicho perfil se va alterando en función de la disponibilidad de agua y de la época del año para los distintos tratamientos, llegándose en algunos casos a producir un descenso casi continuo desde la mañana. A primera hora de la mañana, las cepas con menor disponibilidad de agua en el suelo pueden tener valores de asimilación tan buenos como las bien regadas (Downton *et al.*, 1987). Sin embargo, al avanzar el día la tasa de fotosíntesis de las sometidas a estrés disminuirá, en contraste con la tasa casi constante de asimilación en las no estresadas, acentuándose dicho efecto al avanzar la estación.

2.3 Fotosíntesis a nivel de hoja

2.3.1 La luz

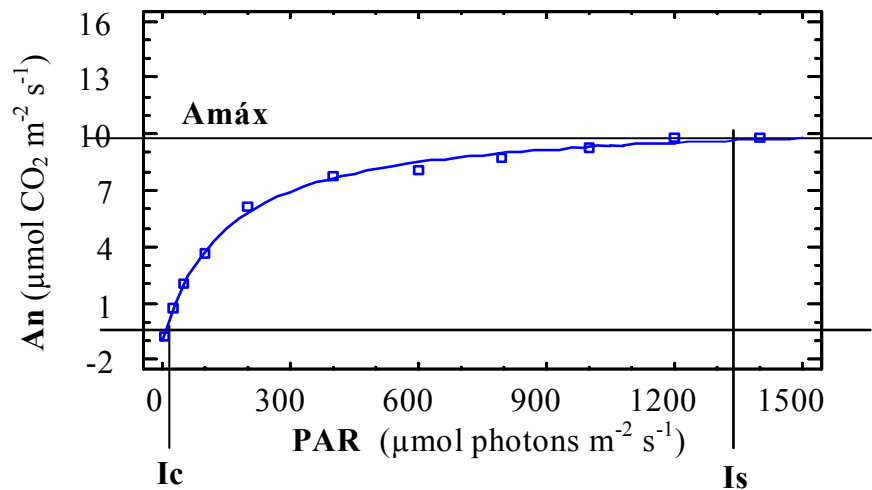
Es el factor más importante, ya que la radiación útil, es aquella que puede ser usada en fotosíntesis, de forma que la energía de los fotones incidentes puede ser convertida en energía química (ATP). Se le conoce como PAR (Radiación Fotosintéticamente Activa) o PFD (densidad del flujo de fotones fotosintéticos) y está entre longitudes de onda de 400-700 nm.

Se puede expresar en términos energéticos (Irridancia, $J m^{-2}$) y en términos cuánticos (moles de fotones incidentes por unidad de superficie horizontal y unidad de tiempo, $\mu mol \text{ fotones } m^{-2} s^{-1}$ o $\mu E m^{-2} s^{-1}$). Es absorbida por diferentes pigmentos foliares: clorofilas, xantofilas, carotenoides y antocianos.

En la radiación luminosa incidente sobre la cubierta vegetal las hojas reflejan un poco más del 10%, transmiten 9% y absorben el 81% restante. La radiación absorbida por las hojas sigue tres caminos diferentes, una parte, 20% de la incidente, es emitida en forma de radiación infrarroja, 60% calentará las hojas y será disipada evaporando agua mediante la transpiración o emitida por convección dependiendo del contenido hídrico. Los espectros de absorción, reflexión y transmisión radiactiva de las hojas varían con su espesor, edad, contenido hídrico, morfología de la superficie y orientación (Champagnol, 1984). La fotosíntesis sólo emplea una mínima parte (1-2 %) de la radiación absorbida y la almacena en los enlaces químicos de los carbohidratos (Matthews, 2004). La fotosíntesis es un proceso de baja eficiencia en la utilización de la energía solar. La respiración además reduce la fotosíntesis neta y la saturación luminosa se alcanza a niveles muy bajos respecto a los que existen en condiciones de buena insolación.

La relación entre la asimilación neta de CO_2 y PAR (Radiación Fotosintéticamente Activa) puede describirse con una hipérbola rectangular donde distinguimos dos fases: una donde la relación entre fotosíntesis y PAR es creciente y prácticamente lineal que responde a la eficiencia en la utilización de

la luz por los cloroplastos, y una segunda fase donde la pendiente se hace menor ya que el rendimiento del flujo de fotones va disminuyendo hasta un punto donde no hay aumento en la fotosíntesis. El comienzo de la saturación tiende a hacerse patente a partir de 600-800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Los puntos característicos de la curva son:



El punto de compensación (I_c): valor de PAR en el que no hay asimilación neta, es decir, las pérdidas de carbono por respiración y la fijación fotosintética se igualan.

El índice de saturación de la luz (I_s):_el valor de PAR en el que la fotosíntesis neta (P_n) es máxima (asíntota). Este valor, al igual que I_c varía también entre otros factores con la especie, variedad, temperatura, edad, orientación y las condiciones del crecimiento.

Rendimiento fotosintético (Φ): es la efectividad de la planta en el uso de los fotones para producir materia seca. Russell *et al.*, (1989) detectaron que para la fijación de un mol de CO_2 en plantas C_3 son necesarios 8 moles de fotones, lo que supondría un rendimiento cuántico de 0.125 en ausencia de la fotorrespiración, si consideramos la fotofosforilación cíclica son necesarios 9 moles de fotones y el Φ sería de 0.112.

Fotosíntesis máxima o capacidad fotosintética: A saturación de luz los máximos de fotosíntesis según condiciones varían entre 0.4/0.5 – 0.8/1 mg CO₂ m⁻² s⁻¹ (9 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ - 25 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹).

En iluminaciones altas, la fotosíntesis no puede consumir toda la energía absorbida por los cloroplastos lo que queda una energía en exceso almacenada que puede desencadenar reacciones oxidativas en los centros de reacción del aparato fotosintético. Las plantas se adaptan a la grande iluminación, reduciendo su potencial fotosintético (fotoinhibición de la fotosíntesis), posiblemente para disminuir efectos anexos (temperatura), así, en tiempo nublado, la fotosíntesis asimila mejor la iluminación que en un clima continuamente favorable. En último término se puede producir la destrucción de los pigmentos fotosintéticos o fotooxidación.

Las hojas aclimatadas a la sombra, comparadas con las que se desarrollan a plena iluminación, tienen menor Amáx (Asimilación Máxima), Is (Índice de saturación de luz), Ic (Punto de compensación), y respiración oscura. Adaptan sus estructuras disminuyendo el espesor de la cutícula y del mesófilo, su peso por unidad de superficie (peso específico) y la relación parénquima en empalizada/lagunar. (Schultz *et al.*, 1996) indican que las hojas de White Riesling (uvas blancas) aclimatadas a la sombra tenían menor An (asimilación neta), gs al CO₂ y eficiencia de carboxilación. A bajas intensidades, la fotosíntesis de las hojas adaptadas a la sombra es más eficiente que las aclimatadas a la luz, es decir, tienen mayor eficiencia cuántica.

A baja PAR el haz fija más CO₂ que el envés, pero a iluminación de saturación, el haz y envés asimilan lo mismo Palliotti y Cartechini, (2001). Cuando la PAR es menor que el punto de saturación, la iluminación simultánea de ambas aumenta la An (cosa que suele ocurrir cuando la luz que reciben es difusa).

2.3.2 Dióxido de carbónico (CO₂)

La concentración atmosférica de CO₂ es insuficiente para que la planta alcance su máximo valor, por encima del las reacciones luminosas siguen produciendo ATP y NADPH que las reacciones oscuras no pueden usar ya que no tienen CO₂ disponible para fijar. A iluminación saturante se necesitaría 2 a 3 veces más de CO₂ (Champagnol, 1984).

2.3.3 Temperatura

La temperatura de la hoja depende del balance de energía: energía absorbida de la radiación solar y de las radiación emitida por otros cuerpos y energía perdida por enfriamiento (calor sensible y calor latente). El resultado de dicho balance es la energía almacenada por la hoja en forma de productos fotosintéticos y temperatura de la hoja.

La temperatura atmosférica afecta primero por ser la temperatura de referencia hacia la cual la hoja tiende y segundo por afectar directamente al déficit de presión de vapor (VPD).

La temperatura afecta la fotosíntesis a nivel estomático y cloroplástico (Carbonneau *et al.*, 1992). El aumento de la temperatura afecta la velocidad de las reacciones metabólicas, por el otro si la temperatura del aire es elevada se puede producir un desequilibrio entre el estado hídrico de la hoja y flujo de transpiración, de manera que si la demanda evapotranspirativa supera a la absorción por las raíces, los estomas se cierran y se frena el intercambio gaseoso.

Cada proceso vital está determinado a unos límites de temperatura y a una temperatura óptima de funcionamiento, de modo que si se sobrepasa disminuye su rendimiento. Los óptimos de la temperatura foliar para la fotosíntesis presentan ciertas variaciones según sean las condiciones climáticas

y edáficas de la zona a la que se encuentra la planta, según las características genéticas, condiciones culturales y condiciones previas en las que ha tenido lugar el desarrollo foliar. Los óptimos de temperatura de hoja para fotosíntesis se suelen situar entre 25 y 35°C. La temperatura afecta de manera diferente a la fotosíntesis según la edad de la hoja y momento del ciclo, siendo más baja a medida que avanzamos en el ciclo por aclimatación a las temperaturas otoñales (Kriedemann, 1968).

A partir de 30 °C la inhibición progresiva de la actividad enzimática, el aumento de la fotorrespiración y de la respiración oscura o el cierre estomático cuando hay déficit hídrico, hace que la fotosíntesis disminuya rápidamente (Carbonneau *et al.* 1992; Kriedemann y Smart, 1971).

En cuanto al umbral mínimo, el punto de compensación inferior de la temperatura, varía entre 0 y 6°C (Zufferey 2000), es decir, por debajo de estas temperaturas la fotosíntesis neta es nula. Los efectos de la temperatura baja sobre el metabolismo fotosintético, con la regulación estomática y velocidad de traslocación a través de la limitación de la fuerza de los sumideros y de la carga del floema. También la temperatura óptima para la fotosíntesis se desplaza a medida que aumenta la intensidad lumínica incidente. Zufferey y Murisier, (2000) indican que la forma de la curva A-PAR se ve afectada por la temperatura de la hoja.

2.3.4 Humedad del aire

La humedad relativa (HR) afecta a la fotosíntesis a través de su efecto sobre la apertura estomática. El óptimo higrométrico es 60-70% (Stoev, 1976). Todo incremento en la HR en todas las temperaturas tiene un efecto positivo. El efecto negativo de HR bajas se manifiesta en cambio cuando la alimentación hídrica de la planta es insuficiente.

La diferencia de presión de vapor (VPD) entre hoja y atmósfera juega un papel fundamental en la apertura estomática. Si los estomas estuvieran todo el día abiertos, la evapotranspiración aumentaría linealmente al tiempo que la

demanda evaporativa. Cualquier incremento en VPD incrementa transpiración, y cuando aumenta por encima de un determinado umbral, produce una disminución en gramos. La respuesta de la fotosíntesis al VPD puede ser diferente a la que presente gramos según en qué punto se encuentre de la curva gs-A.

El descenso de la gs debido a aumentos del VPD se ve incrementado en casos de condiciones de sequía, ya que el sistema radicular no se encuentra bien abastecido de agua. Cuando la planta recibe menos de lo que evapotranspira, su gs disminuye a medida que aumenta el VPD, el VPD aumenta de 1 a 3 kPa, la gs en vid en lisímetros disminuyen un 50% en tratamientos del 60% de la ETc y 75% en tratamientos de kc de 0.2 (Williams *et al.*, 1994). Esto es muy importante teniendo en cuenta que en gran parte de los viñedos se da la concurrencia de contenido bajo de humedad del suelo y elevados VPD en los veranos de cultivos en secano en zonas de clima mediterráneo, especialmente por la tarde. En ambientes semiáridos, el VPD y temperatura están altamente correlacionadas, la humedad del aire disminuye cuando la temperatura y las pérdidas de calor latente aumentan. Una temperatura ambiente elevada ocasiona un alto déficit de saturación del aire y por tanto una importante diferencia de presión de vapor entre hoja y aire. Por tanto, en ocasiones es difícil reconocer si la disminución de la asimilación clorofílica es debida al efecto de la temperatura o del déficit de saturación del aire.

2.4 Disponibilidad de agua en el suelo

La capacidad de almacenamiento y movimiento de agua en el suelo son factores importantes que deben tomarse en cuenta en las acciones de optimización del uso del agua por los cultivos, ya que estos dependen tanto cantidad de agua como reserva para abastecer la demanda, así como la velocidad en que esto puede ocurrir (Jasso, 1992).

Consideran que el agua es uno de los componentes más variable del suelo, los diferentes suelos tienen distintas capacidades para la retención del

agua y que no toda es aprovechable por la planta, ya que las partículas la retienen en diferente grado (Ortiz y Ortiz, 1980).

La disponibilidad de agua en el suelo está dada principalmente por la cantidad aplicada en forma de riego o precipitación, por la capacidad de almacenamiento del suelo y el volumen del mismo que la parte radical de los cultivos explora (Martínez, 1992). Sin embargo, para una misma condición de cantidad de profundidad radicular, la disponibilidad difiere grandemente para cada tipo y condición del suelo. Por lo tanto, es importante tener conocimiento preciso de las condiciones de hídricas que se dan en cada tipo de suelo bajo las diferentes situaciones de riego, tipo de cultivo y etapas donde el agua es más importante para los cultivos.

La ocurrencia de periodos de sequia durante la época de desarrollo, limita muchas veces la cantidad de agua del suelo aprovechable para las plantas (Watherly y Dane, 1979). Este aprovechamiento puede ser limitado además, por la existencia de una capa dura en el subsuelo.

La fotosíntesis es muy sensible a la disponibilidad de agua. Hay controversia a la hora de definir el contenido de humedad del suelo a partir del cual se produce una reducción de la fotosíntesis ya que el estado hídrico de la hoja no sólo depende del contenido de agua del suelo, también de su flujo a través de la planta, condiciones climáticas y factores internos a la hoja, entre otros. La necesidad de una apertura estomática para el intercambio de gases hace que la ganancia de CO₂ para la fotosíntesis vaya acompañada de una pérdida de H₂O por transpiración. Los estomas y resistencias cuticulares jugarán un papel fundamental en la conservación de agua por parte de la planta sin comprometer la fotosíntesis. La transpiración necesaria durante la apertura estomática representa el 99% del agua absorbida (100g de agua por cada gramo de carbono fijado). Williams *et al.*, (1994) encontraron una alta correlación entre el contenido de agua en el suelo y conductancia estomática.

2.5 El estrés hídrico en el frijol

El déficit hídrico es el principal factor que afecta la fisiología de la planta de frijol cuando esta llega a niveles superiores de tolerancia (Pajarito *et al.*, 1987). Cuando esto sucede, la respuesta de cada organismo puede ser similar o diferente de acuerdo a las condiciones ambientales presentes y a las características de la planta.

La floración es sin duda la etapa de desarrollo más susceptible a las deficiencias hídricas de fríjol. Sin embargo, la etapa vegetativa se pueden observar disminuciones en la tasa de incremento foliar que reduce a su vez la intercepción de energía solar producción de fotosíntesis y materia seca (Acosta *et al.*, 1983).

El efecto de la sequia sobre el rendimiento de grano de frijol, aunque anualmente es evidente, también es variable dependiendo de la etapa fenológica del cultivo (Ibarra *et al.*, 1987).

2.6 Influencia de factores biológicos

2.6.1 La apertura estomática

El CO₂ que hay en la atmósfera es insuficiente para alcanzar el máximo de fotosíntesis de la hoja. Además se plantea otro problema que es la difusión del mismo desde la atmósfera hasta el interior de la hoja y de aquí a los cloroplastos donde el CO₂ queda fijado. En el camino encuentra diferentes resistencias. Se puede distinguir unas resistencias en la fase gaseosa y otra en la fase líquida. En las primeras, la resistencia estomática, o el inverso conductancia estomática (gs), es la más importante. Las segundas se denominan resistencia del mesófilo, o el inverso, la conductancia del mesófilo. El CO₂ se difunde 10,000 veces más lento en fase líquida que en fase gaseosa. Generalmente en el interior del estroma hay de un 50-70% de la fracción molar de CO₂ existente en el aire que rodea a la hoja (Evans, 1991). La difusión cuticular es mínima, por tanto la regulación estomática controla la fotosíntesis.

Los movimientos estomáticos dependen de cambios en la presión de turgencia en el interior de las células oclusivas y células epidérmicas adyacentes. La actividad fotosintética y el transporte activo de solutos son los responsables de las diferentes turgencias. La luz y concentración de CO₂ controlan la apertura estomática en relación con la demanda fotosintética de CO₂ por la planta.

El cierre estomático es una herramienta de defensa frente a la limitación hídrica. Sin embargo es difícil establecer un valor preciso de ψ_h (potencial hídrico foliar) al que empieza a caer la fotosíntesis ya que este depende del genotipo, hábitat, condiciones precedentes de crecimiento y condiciones actuales climáticas. Sea como fuere, potenciales hídricos foliares muy negativos reducen la capacidad fotosintética y suelen darse valores entre -1,0 y -1,5 MPa.

Los estomas se abren y cierran como respuesta a la luz (Smart y Robinson, 1991). El aumento que se produce a primeras horas de la mañana se debe principalmente a la luz (Düring y Loveys, 1996). A medida que avanza el día, la planta transpira y cuando es incapaz de traslocar el agua suficiente desde las raíces para satisfacer las tasas de transpiración, cerrará parcial o totalmente los estomas. Avanzada la tarde, si las condiciones ambientales vuelven a ser propicias, la planta los abrirá de nuevo. Pero en cualquier caso, al atardecer como consecuencia de la caída de la luz, cerrarán y permanecerán así durante toda la noche.

2.6.2 Edad de las hojas

Existen diferencias en la capacidad fotosintética entre hojas jóvenes y adultas y dentro de estas últimas según su edad. La fotosíntesis generalmente aumenta rápidamente durante el desarrollo de la hoja alcanzando un máximo cerca de la expansión total. Las hojas de vid muestran un pico de fotosíntesis aproximadamente tras 30-35 días de su aparición (95% de su tamaño final). Tras este se produce un descenso, pero se mantienen valores aceptables de fotosíntesis durante un cierto periodo de tiempo, de manera que la hoja con 140 días de edad o 4 meses mantienen el 70% de la tasa máxima (Kriedemann *et*

al., 1971; Intriери *et al.*, 1992). Esto es porque la vid es una especie que produce prácticamente toda su superficie foliar en un periodo corto de tiempo, al inicio de su ciclo, y deben mantener su capacidad productiva para asegurar una correcta maduración y agostamiento.

Estos cambios están asociados con cambios anatómicos y fisiológicos de las hojas en su desarrollo. El descenso gradual de la fotosíntesis tras la total expansión de la lámina foliar ocurre a la vez que el descenso en la cantidad de la rubisco, fosforilación y conductancia estomática. Además, en hojas viejas se reduce la respiración mitocondrial y aumenta la fotorrespiración (Dickmann *et al.*, 1975).

La cubierta vegetal de la cepa está constituida por hojas de distinta edad morfológica. La distribución de las hojas según su edad fisiológica dentro de la vid juega un papel muy importante en la fotosíntesis a nivel de toda la planta (Wang y Jarvis, 1990; Schutz, 1995). Su posición determinará su microclima luminoso y la conjunción luz-edad determinará su contribución al balance global de la cepa. Por ejemplo, la posición que la hoja ocupa en un pámpano verticalmente conducido se caracteriza porque a medida que se incrementa la intensidad lumínica que reciben, disminuye la edad foliar. Por otro lado hay que tener en cuenta que el tamaño de la hoja es determinante también en la medida que dicha hoja contribuye a la productividad global.

En la etapa de maduración, entre un 90-100% de las hojas que interceptan luz pueden considerarse adultas (Poni *et al.*, 1996). El problema entonces será la senescencia precoz de las hojas principales que depende principalmente de la alimentación hídrica, microclima luminoso y fuerza de los sumideros.

2.6.3 Genético

La frecuencia estomatal por unidad de área foliar varía mucho entre especies; en caso del sorgo, los estomas son más numerosos que en maíz y también más pequeños. Aun dentro de una misma especie está presente dicha variación, como resultado de factores ambientales durante el crecimiento de las plantas y efecto del genotipo (Martínez-Medina, 1995).

La variedad aporta una variabilidad significativa en términos de fotosíntesis debido a la capacidad de éstas a adaptarse al medio. Las diferencias encontradas pueden entenderse como adaptaciones a las zonas de origen (Chaves, 1986). El carácter genético se manifiesta en la respuesta a la luz, a la temperatura (óptimo de temperatura en 24°C para variedades septentrionales y 28°C para meridionales, al estado hídrico).

2.6.4 Interceptación de la radiación por la cubierta vegetal

La radiación solar atraviesa la atmósfera y alcanza la vegetación de forma directa y difusa. La radiación directa es más importante cuantitativamente, salvo en días nublados donde la difusa toma más importancia al ser absorbida la directa por las nubes para posteriormente ser emitida en todas las direcciones. La radiación interceptada y absorbida por la cubierta vegetal es el balance entre las radiaciones que entran menos las que salen. Las radiaciones que entra, incidente (difusa y directa), la reflejada por el suelo. Las radiaciones que salen, es transmitida por la cubierta al suelo y la reflejada por el conjunto suelo-cepa.

La cantidad de luz interceptada es un factor importante por su interacción con otros factores, temperatura de las hojas, estado hídrico de la planta (Zufferey y Murisier, 1997), y por su influencia en la fijación del carbono (Schultz, 1995; Zufferey y Murisier, 1997), directamente relacionada con la producción de la biomasa (Pelaez y col, 1997 y Intrieri y *et al.*, 1998).

2.6.5 Utilización de carbohidratos

La utilización de los carbohidratos varía mucho con el ciclo, así, antes de anthesis el 98% del carbono se utiliza para edificar, mientras que durante la maduración del fruto, el 83% se utiliza como acumulación de hidratos de carbono no estructurales.

La fotosíntesis neta global es igual a la masa de azúcares fotosintetizados, disminuida por la respiración. Los productos resultantes de la fotosíntesis neta se destinan bien a la formación de pámpanos, hojas, bayas, crecimiento y desarrollo de raíces y tronco, bien a la acumulación de glúcidos sea en forma soluble (bayas) o insoluble (almidón de los órganos vivos).

La materia seca y reparto es un buen estimador de esta fotosíntesis neta. Existe una relación lineal positiva entre la materia seca global producida por la cepa y la tasa de fotosíntesis neta media para el conjunto de la planta (Miller *et al.*, 1997).

III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del sitio experimental

La investigación se realizó en el campo 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.

3.1.2 Características climáticas de la región

El clima de la Comarca Lagunera, es de tipo desértico con escasa humedad atmosférica, precipitación pluvial promedio entre 200 y 300 mm anuales en la mayor parte de la región y de 400 a 500 mm 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, 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 (CNA, 2005).

3.2 Preparación del terreno

3.2.1 Barbecho

Se realizó el día 17 de Julio a 30 cm de profundidad con un arado de discos con la finalidad de remover, 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.

3.2.2 Rastreo

El 20 de julio se realizó un rastreo cruzado con la finalidad de desmenuzar los terrones que quedaron después de haber realizado el barbecho, esto para permitir el paso del aire y una buena absorción de agua, además ayudo a facilitar la preparación de los surcos.

3.2.3 Nivelación

De igual forma se realizó el 21 de julio con la finalidad de eliminar los altos y bajos del terreno para lograr una mejor distribución y eficiencia del agua de riego.

3.2.4 Trazado de surcos

Se trazaron 24 surcos a un distanciamiento de 0.65 m y 24 m de longitud también el 21 de julio del 2009.

3.2.5 Siembra

La siembra se efectuó en seco en forma directa el 22 de Julio del año 2009, depositando seis semillas por metro lineal para obtener una densidad de población de 100,000 plantas por hectárea. Cada unidad experimental estuvo conformada por cuatro surcos de una longitud de 2.6 metros.

3.2.6 Riegos

Se aplicaron tres riegos de auxilio en forma rodada a lo largo del ciclo del cultivo, en las fechas de 15 de agosto, 28 de agosto y 16 de septiembre del 2009.

3.2.7 Cosecha

La cosecha se realizó en forma manual a madurez fisiológica de la planta el día 30 de octubre del 2009 a los 101 días después de la siembra, recolectando las vainas de los dos surcos centrales de cada unidad experimental.

3.3 Variables de estudio

En la parcela experimental con una superficie total de 374.4 m² se sembraron seis variedades de frijol con cuatro repeticiones empleando el método tradicional, con la finalidad de evaluar la actividad fotosintética medida con el aparato Photosynthesis System CI-340, del cual se tomaron las siguientes variables:

- Fotosíntesis Neta (Pn) en $\mu \text{ Mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- Transpiración (E) en $\text{ Mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- Rendimiento en Kg parcela^{-1}

3.4 Descripción de las variedades de frijol

De acuerdo con datos de INIFAP de Zacatecas, Coahuila, Durango y San Luis Potosí. Las características específicas de cada variedad se presenta en el cuadro 1.

3.5 Diseño Experimental

Los datos de las variables evaluadas al igual que el rendimiento, fueron analizados estadísticamente con el paquete computacional SAS versión 6.12 bajo un diseño de bloques al azar. Los tratamientos fueron seis variedades de frijol en tres repeticiones, dando un total de 18 unidades experimentales.

Cuadro 1: Características específicas de las variedades de frijol en estudio 2009 UAAAN-UL.

VARIETAD	FENOLOGÍA	TIPO DE PLANTA	SEMI-LLA POR Ha.	CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS
PINTO VILLA	Ciclo intermedio 85 días a madurez	Hábito de crecimiento arbustivo	40 kg./ha.	Resistencia a la sequía. Resistencia a enfermedades (Antracnosis y Bacteriosis, Tolerancia a Roya). Alto potencial de rendimiento.
PINTO NACIONAL	Ciclo Intermedio alcanza la floración y madures fisiológico entre 43 y 104 días.	Habito tipo Indeterminado o postrado.	40 kg./ha.	Tolerante a antracnosis, roya y tizón de halo; moderadamente susceptible al tizón común.
PINTO BAYA CORA	Ciclo Intermedio de 90 días.	Habito de tipo Indeterminado.	40 Kg./ha.	Es tolerante a la Antracnosis, Bacteriosis
PINTO DURA NGO	Alcanza la floración a los 44 días y la madurez se entre los 95 y 108 días	Tipo de habito Indeterminado o postrado, tipo III	40 kg./ha.	Resistente a la sequía y tolerante a enfermedades Antracnosis y Bacteriosis.
PINTO SALTILLO	Alcanza la floración y madurez fisiológica entre los 62 y 70 y 115 y 123 días.	Hábito de crecimiento de guía.	40 kg./ha.	Resistencia a la Antracnosis, Roya y Pudriciones de la Raíz.
PINTO MESTIZO	Alcanza a los 89 días la madurez fisiológica	Porte de planta erecto arbolado.	40 kg./ha	Resistente a Roya y Antracnosis. Tolerante a Bacteriosis. Tolerante a sequía.

3.5 Distribución de las variedades en campo

R1	1	6	3
R2	6	5	4
R3	2	6	3

Camino	4	5	2
	1	2	3
	5	4	1

Identificación de variedades.

1. Pinto Villa
2. Pinto Nacional.
3. Pinto Bayacora.
4. Pinto Durango.
5. Pinto Saltillo.
6. Pinto Mestizo.

3.6 Toma de datos

Los datos fueron tomados en la tercera hoja del ápice hacia la base de la planta, con exposición directa de la luz solar en los dos surcos centrales de la 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. Las lecturas se tomaron los días 10 de septiembre, 01 de octubre y 13 de octubre del 2009 a los 50, 71 y 83 días después de la siembra respectivamente.

IV. Resultados y Discusión

4.1 Fotosíntesis

En el cuadro 2 se presenta la fotosíntesis neta en las tres fechas en que se realizó la determinación de la misma. En la etapa de desarrollo, prefloración (50 DDS), el análisis estadístico realizado detectó diferencia significativa entre variedades. La mayor actividad fotosintética fue presentada por la variedad Pinto Mestizo con $17.62 \mu \text{ Mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, que fue diferente al resto. Seguida por las variedades Pinto Durango, Pinto Nacional y Pinto Bayacora que presentaron actividad fotosintética estadísticamente igual pero diferente a Pinto Saltillo y Pinto Villa que presentaron la menor actividad fotosintética con 7.83 y $7.04 \mu \text{ Mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ respectivamente. En la determinación realizada a 71 DDS de la actividad fotosintética el análisis estadístico también presentó diferencia entre variedades destacando la variedad Pinto Villa que presentó la mayor actividad fotosintética con $19.40 \mu \text{ Mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ siendo estadísticamente igual a Pinto Mestizo que presentó $17.08 \mu \text{ Mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de actividad fotosintética. Sin embargo la variedad Pinto Saltillo presentó una actividad similar a la variedad Pinto Saltillo, siendo diferente a las variedades Pinto Durango, Pinto Nacional y Pinto Bayacora que presentaron la menor actividad con $8.18 \mu \text{ Mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 6.15 y $9.00 \mu \text{ Mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ respectivamente. En la etapa de pre-cosecha (83 DDS) el análisis estadístico detectó diferencia en la actividad fotosintética entre variedades. La variedad Pinto Villa presentó la mayor actividad fotosintética con $1.42 \mu \text{ Mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ siendo diferente al resto. Las variedades Pinto Nacional, Pinto Durango y Pinto Bayacora presentaron una actividad fotosintética de $0.93 \mu \text{ Mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, $0.88 \mu \text{ Mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y $0.74 \mu \text{ Mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ respectivamente, siendo éstas estadísticamente iguales, inferiores a Pinto Villa pero superiores a las variedades Pinto Saltillo y Pinto Mestizo que presentaron la menor actividad fotosintética con $0.23 \mu \text{ Mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y $0.43 \mu \text{ Mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ siendo estas las primeras en alcanzar su ciclo de maduración.

Cuadro 2. Fotosíntesis neta de seis variedades de frijol UAAAN-UL. 2009

Variedad	50 DDS (μ Mol m ⁻² s ⁻¹)	71 DDS (μ Mol m ⁻² s ⁻¹)	83 DDS (μ Mol m ⁻² s ⁻¹)
Pinto Villa	7.04 c	19.40 a	1.42 a
Pinto Nacional	13.87 b	8.18 c	0.93 b
Pinto Bayacora	12.84 b	6.55 c	0.74 b
Pinto Durango	14.43 b	9.00 c	0.88 b
Pinto Saltillo	7.83 c	14.97 b	0.23 c
Pinto Mestizo	17.62 a	17.08 ab	0.43 c
C.V.%	10.68	15.66	20.43

*Medias seguidas de la misma letra, son estadísticamente iguales.
(DMS, P ≤ 0.05)

4.2 Transpiración

En la transpiración presentada por las variedades al igual que en la actividad de fotosintética, el análisis estadístico detectó diferencia significativa entre ellas. Los resultados obtenidos en las determinaciones realizadas durante el ciclo del cultivo se presentan en la tabla 3. A 50 DDS la variedad Pinto Mestizo 6.38 Mol m⁻² s⁻¹ fue similar a la de las variedades Pinto Bayacora con 5.25 Mol m⁻² s⁻¹ y Pinto Durango con 5.23 Mol m⁻² s⁻¹. Estas dos últimas a su vez presentaron una actividad fotosintética similar a Pinto Nacional y Pinto Saltillo que tuvieron una actividad fotosintética de 5.06 Mol m⁻² s⁻¹ y 4.80 Mol m⁻² s⁻¹ respectivamente. La variedad con menor actividad transpirativa fue Pinto Villa con 3.89 Mol m⁻² s⁻¹. Sin embargo, fue estadísticamente similar a Pinto Saltillo, Pinto Villa y Pinto Nacional. A 71 DDS se observó un cambio drástico en la mayoría de las variedades registrando la mayor actividad transpirativa las variedades Pinto Mestizo, Pinto Villa y Pinto Saltillo con, 6.67, 6.44 y 5.43 Mol m⁻² s⁻¹ respectivamente, las cuales son estadísticamente

iguales. Sin embargo, la Pinto Saltillo fue estadísticamente igual a las variedades Pinto Durango y Pinto Bayacora. Las variedades Pinto Nacional, Bayacora y Durango presentaron una actividad transpirativa estadísticamente similar. A los 83 DDS las variedades Pinto Bayacora, Pinto Nacional y Pinto Villa presentaron estadísticamente igual actividad transpirativa con valores de 1.64, 1.63 y 1.36 Mol m⁻² s⁻¹ respectivamente pero superiores al resto de las variedades fueron estadísticamente iguales entre si, Pinto Durango, Pinto Saltillo y Pinto Mestizo con 0.62, 0.52 y 0.37 Mol m⁻² s⁻¹ respectivamente.

Cuadro 3. Transpiración de seis variedades de frijol UAAAN-UL 2009

Variedad	50 DDS	71 DDS	83 DDS
	Mol m ⁻² s ⁻¹	Mol m ⁻² s ⁻¹	Mol m ⁻² s ⁻¹
Pinto Villa	3.89 c	6.44 a	1.36 a
Pinto Nacional	5.06 b c	3.21 c	1.63 a
Pinto Bayacora	5.25 a b	4.28 b c	1.64 a
Pinto Durango	5.23 a b	4.11 b c	0.62 b
Pinto Saltillo	4.80 b c	5.43 a b	0.52 b
Pinto Mestizo	6.38 a	6.67 a	0.37 b
C.V.%	13.97	14.74	23.09

*Medias seguidas de la misma letra, son estadísticamente iguales.
(DMS, P ≤ 0.05)

4.3 Producción

En el cuadro 4 se presenta la producción obtenida en las seis variedades de frijol evaluadas. El análisis estadístico encontró diferencia significativa entre variedades. La variedad Pinto Villa y Pinto Mestizo fueron estadísticamente iguales al presentar producciones de 0.547 y 0.498 Ton ha⁻¹ respectivamente superando al resto de las variedades evaluadas. La variedad Pinto Nacional presento una producción de 0.35 Ton ha⁻¹ similar estadísticamente a Pinto Bayacora con 0.310 Ton ha⁻¹ y Pinto Durango 0.312 Ton ha⁻¹ que presentaron rendimientos estadísticamente iguales, pero estas dos últimas estadísticamente igual a la Pinto Saltillo que presento la más baja producción con 0.274 Ton ha⁻¹.

Los rendimientos obtenidos, coinciden con los reportados en el anuario estadístico agrícola y pecuario SIAP 2007, que son de 0.5 Ton ha⁻¹ en el municipio de Torreón.

Las variedades Pinto Villa y Pinto Mestizo presentaron los más altos rendimientos los cuales coinciden con la mayor actividad fotosintética y transpirativa que presentaron, lo que indica que dichos procesos fisiológicos están directamente relacionados con la producción del cultivo.

Cuadro 4. Rendimiento de seis variedades de frijol. UAAAN-UL 2009

* Tratamiento	Rendimiento Ton ha ⁻¹
Pinto Villa	0.547 a
Pinto Nacional	0.345 b
Pinto Bayacora	0.310 b c
Pinto Durango	0.312 b c
Pinto Saltillo	0.274 c
Pinto Mestizo	0.498 a
C.V.%	9.73

Medias seguidas de la misma letra, son estadísticamente iguales.
(DMS, P ≤ 0.05).

V. Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos y condiciones bajo las cuales fue conducido el estudio, se concluye que:

Las variedades de frijol evaluadas presentaron diferente actividad fotosintética, y transpirativa así como producción.

Las mejores variedades respecto a actividad fotosintética, transpirativa y producción fueron la Pinto Villa y Pinto Mestizo.

VI. Literatura Citada

- Acosta G. J. A., y P. Pérez H. 2003. La situación del cultivo del frijol en México. Producción e investigación. Programa de frijol del INIFAP; Apdo. postal No. 10. Chapingo Edo de México.
- Acosta, G. J. A., and J. W. White. 1995. Phenological plasticity as an adaptation by common bean to rainfed environments. *Crop Sci.* 35:199-204.
- Acosta, G. J. A., S. Padilla R., J. Z. Castellanos R., y J. Argaéz P. 1996. Época de siembra del frijol de riego en el Altiplano de México. *Rev. Fitotec. México.* 19: 131-140.
- Acosta, G.J., Núñez, B.A., Ibarra, P.F.J.1983. Antecedentes y estrategias del estudio genético-fisiológico de frijol bajo condiciones de sequia. Informe de Investigación. INIFAP-SARH. Durango, Dgo.145p.
- Carbonneau, A. 1992. La teneur en sucres du raisin. *Le Progrès Agricole et Viticole.*109 (22) 495 – 501.
- CEA. 2001. Situación actual y perspectiva de la producción de frijol en México 1990-2000. Centro de Estadística Agropecuaria. SAGARPA. México, D. F. 61 p.
- Champagnol F.: 1984. *Eléments de physiologie de la vigne et de viticulture générale*, Imprimerie DEHAN, Montpellier.
- Chaves, M.M. 1986. *Fotossíntese e repartição dos produtos de assimilação em Vitis vinifera L.* Tesis Doctoral. Universidad Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomía. 221 pp.

- Comisión Nacional del Agua. (CNA). 2005 Gerencia Regional. Cuencas Centrales del norte. Subgerencia Regional Técnica y Administrativa del Agua. Torreón Coahuila, México
- De Wit, C.T. 1992. Resource Use Efficiency in Agriculture. *Agricultural Systems* 40 (1-3): 125-51.
- Dickmann D.I., Gjerstad D.H. & Gordon J.C. 1975. Developmental patterns of CO₂ exchange, diffusion resistance and protein synthesis in leaves of *Populus euramericana*. In : *Environmental and Biological Control of Photosynthesis*. Marcelle R., ed. Junk, The Hague, pp. 171-181.
- Downton, W. J. S., W. J. R. Grant y B. R. Loveys (1987). Diurnal changes in the photosynthesis of field-grown grapevines. *New Phytol.* 105 (71).
- Droogers, P. Aerts, J. 2005. Adaptation Strategies to Climate Change and Climate Variability: A Comparative Study between Seven Contrasting River Basins. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 30 (6-7):339-46.
- Droppelman, K.J.; Ephrath, J.E.; Berlinear, P.R. 2000. Tree/crop complementary in an arid zone runoff agroforestry system in northern Kenya. *Agroforestry Systems* (in press).
- Düring, H., B. R. Loveys y P. R. Dry 1996. Root signals affect water use efficiency and shoot growth. *Proc. Workshop Strategies to Optimize Wine Grape Quality. Acta Horticulturae* 427: 1-13.
- Evans R.J., GD Farquhar, 1991. Modeling canopy photosynthesis from the biochemistry of C₃ chloroplast. *American Society of Agronomy Journal and Crop Science Society of America*, 677 S. Segoe Rd., Madison, WI, USA. *Modeling Crop Photosynthesis - from Biochemistry to Canopy. CSSA Special Publication* 19.

- FAO 2008. Landa and Water Development Division. Crop Water Management (Maize-Bean).AGLW, Water Management Group. Rome, Italy.
- Fernández, F., P. Gepts y M. López. 1985. Etapas de desarrollo de la planta de frijol. In: López, M.; F. Fernández y A. van Schoonhoven (eds). Frijol: Investigación y Producción. Programa de las Naciones Unidas Para el Desarrollo (PNUD). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Colombia. 61-78 p.
- Fournier, L. y Champartier, C. 1978. El tamaño de la muestra y la frecuencia de las observaciones en un estudio de las características fonológicas de los árboles tropicales. En: Céspedesia. Cali. Vol.7, Suplemento 2. N° 25-26.1978.p.25-32.
- French, R.J.; Schultz, J.E. 1984. Water Use Efficiency of Wheat in a Mediterranean-type Environment. I: The Relation between Yield, Water Use and Climate. Australian Journal of Agricultural Research 35 (6): 743-64.
- Galindo González, Guillermo y Román Zandate Hernández. 2004. Caracterización de productores del noroeste de Zacatecas y el uso de variedades de frijol. Folleto no. 13. México: SAGARPA–Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP).
- Howard, S.B.; Ong, C.K.; Black, C.R. and Khan, A.A.H. 1997 Using sap flowgauges to quantify water uptake by tree roots from beneath the crop rootingzone in agroforestry systems. Agroforestry Systems 35, 15-29.
- Ibarra. P.F.J. y Pajarito, R.A. 1987. Efectos de la sequia sobre características morfológicas en genotipos de frijol. Informe de investigación INIFAP-SARH. Durango, Dgo.Mexico.
- Intrieri, C., S. Poni, O. Silvestroni y I. Filippetti (1992). "Leaf age, leaf position and photosynthesis in potted grapevines." Adv. Hort. Sci 1: 23-27.

- Intrieri, C.S., Poni, B. Rebucci and E. Magnanini.1998. Row orientation effects on whole canopy gas exchange of potted and field grown grapevines. *Vitis* 37 (4):147-154.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2001. *Climate Change 2001. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Third Assessment Report.* Geneva.
- Jasso, I.R. 1992. Estimación de las características de la retención de agua en el suelo. *Sequia. Seminario Tecnicos.INIFAP-CENID-RASPA.Vol.8, 9, y10 1992.pp.155-166.*
- Jiménez, F. 1986. Balance hídrico de dos sistemas agroforestales: café- puro y café laurel en Turrialba, Costa Rica. Tesis MSc. UCR-CATIE, Turrialba, C.R.104 págs.
- Keller, A.,Seckler, D. 2004. *Limits to Increasing the Productivity of Water in Crop Production.* Arlington, Va.: Winrock Water.
- Knapp, A.K.,J.T. Fahnestock, and C. E. Owensby. 1994. Elevated CO₂ alters stomatal responses to variable Sunlight in a C₄ grass. *Plant Cell and Environ.* 17: 189-1995.
- Kramer, J.P. 1983. *Water relations of plant.* USA. Academic Press Inc.CA.
- Kriedemann, P. E. y M. S. Buttrose 1971. "Chlorophyll content and photosynthetic activity within woody shoots of *Vitis vinifera* L." *Photosynthetica* 5(1): 22-27.
- Kriedemann, P.E., 1968. Photosynthesis in vine leaves as function of light intensity, temperature, and leaf age. *Vitis*, 7:213-220.
- Lambers, H., Chapin, F.S.; Pons, T.L. 1998. *Plant physiological ecology.* Springer-Verlag, New York, New York, pp 540.

- Ledesma Mares, Juan Carlos y César Ramírez Miranda. 1994. La producción de frijol en México y sus perspectivas ante el Tratado de Libre Comercio. En *El TLC y sus repercusiones en el sector agropecuario del centro-norte de México*, compilado por Rita Schwentesius, Manuel Ángel Gómez, Juan Carlos Ledesma, y Clemente Gallegos, 39–61. Chapingo: Universidad Autónoma Chapingo.
- Long, S.P., Ainsworth, E.A. Leakey, A.D.B. Nosberger, J.; Ort, D.R. 2006. Food for Thought: Lower-than-expected Crop Yield Stimulation with Rising CO₂ Concentrations. *Science* 312 (5782): 1918-21.
- Martínez, B.O.U.1992. Estudio del balance hídrico in-su en cultivos bajo riego y temporal en Durango. Informe de Investigación. SARH-INIFAP.Durango, Dgo. México.
- Martínez-Medina, J. 1995. Estimación de la eficiencia en el uso del agua mediante mediciones de intercambio de gases y análisis de crecimiento en tres especies cultivadas. Tesis Maestría. FAUNL. Marín, Nuevo León. 217 p.
- Masaya, P., and J. W. White. 1991. Adaptation to photoperiod and temperature. In: *Common Beans. Research for Crop Improvement*. Van Schoonhoven A. and O. Voysest (eds.), CAB Int. CIAT, Colombia.pp: 445-500.
- Matthews, M. A. 2004. "Growth and physiology of the grapevine." *Viticulture & Enology* 110. University of California, Davis. 6. Fundamentals of light. Environmental Control of photosynthesis.: 67-79.
- Miller, D. P., G. S. Howell y J. A. Flore 1997. "Effect of shoot number on potted grapevines. II. Dry matter accumulation and partitioning." *American Journal of Enology and Viticulture* 47(3): 251-256.

- Molden, D. 2007. Water for food Water for life: A comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. London: Earhscan, and Colombo: International Water Management Institute.pp 645.
- Ortiz Valdez, Marcial. 1998. El frijol en el estado de Zacatecas. Zacatecas: Gobierno del Estado de Zacatecas.
- Ortiz, V, B, y Ortiz, S.C. A.1980. Edafologia.3ª Edición. Universidad Autónoma de Chapingo. Rama de suelos. Chapingo. Mexico.pp.54-57.
- Pajarito, R.A.1987. Respuestas morfosiológicas de genotipos de frijol a sequia en la zona semiárida de altura de Mexico.INIFAP-SEARCH.Durango, Dgo.Mexico.
- Palliotti, A., A. Cartechini y F. Ferranti 2001. "Morpho-anatomical and physiological characteristics of primary and lateral shoot leaves of Cabernet Franc and Trebbiano Toscano grapevines under two irradiance regimes." Am. J. enol. Vitic 51(2): 122-130.
- Peláez, H. 1997. Balance de radiación fotosintéticamente activa, microclima luminoso y evaluación fisiológica y agronómica de distintos sistemas de conducción en diferentes regímenes hídricos en el cultivo de la vid (*Vitis vinifera* L.). Dto. Producción Vegetal: Fitotécnia. Madrid, Universidad Politécnica de Madrid: 272.
- Pinstrup-Anderson, P. y R. Pandya-Lorch. 2000. Meeting food needs in the 21st century: howmany and who will be at risk. Presentado en la Reunión Anual de la AAAS, Febrero 2000, Washington, D.C., EE.UU.
- Poni, S., L. Marchiol, C. Intriery y G. Zerbi 1996. "Gas-exchange response of grapevine leaves under fluctuating light." Vitis 32: 137-143.
- Rincón Valdez, Fernando, Francisco G Echavarría Cháirez, Agustín E Rumayor Rodríguez, Jaime Mena Covarrubias, Ángel Gabriel Bravo Lozano, Efraín

Acosta Díaz, José Luis Gallo Dávila y Homero Salinas González. 2004. Cadenas de sistemas agroalimentarios de chile seco, durazno y frijol en el estado de Zacatecas, una aplicación de la metodología. Zacatecas: International Service for National Agricultural Research (ISNAR) – SAGARPA–INIFAP.

Russell G., PG Jarvis, JL Monteith, 1989. Absorption of radiation by canopies and stand growth. En: Russell G, Marshal B, Jarvis PG, (eds). Plant Canopies: Their growth, form and function. Cambridge University Press. Cambridge, England.

Schultz, H. R. 1995. "Grape canopy structure, light microclimate and photosynthesis I. A two dimensional model of the spatial distribution of surface area densities and leaf ages in two canopy systems." *Vitis* 34(4): 211-215.

Schultz, H. R., W. Kiefer y W. Gruppe 1996. "Photosynthetic duration, carboxylation efficiency and stomatal limitation of sun and shade leaves of different ages in field-grown grapevine (*Vitis vinifera* L.)." *Vitis* 35(4): 169-176.

Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) .2003. Cadena producción–consumo de frijol.

Smart, R. y Robinson. 1991. Sunlight into wine. *Winetitles*. 88 pp.

Steduto, P., Albrizio, R. 2005. "Resource-use Efficiency of Field grown Sunflower, Sorghum, Wheat and Chickpea. II. Water Use Efficiency and Comparison with Radiation Use Efficiency". *Agricultural and Forest Meteorology*130 (2005): 269-81.

Stoev, K. y S. Dobрева 1976. "Influence du modo de conduite de la vigne sur la photosynthese et la distribution des substances." *Connaissance de la Vigne et du Vin* 10(2): 125-139.

- Taiz, L.; Zeiger, E. 1991. Plant physiology. Redwood City. The Benjamin/Cumming Publish Company, pp 559.
- Tanner, C.B.; Sinclair, T.R. 1983. Efficient Water Use in Crop Production: Research or Re-search In H.M. Taylor, W.A. Jordan, and T.R. Sinclair, eds., Limitations to Efficient Water Use in crop Production. Madison, Wisc.: American society of Agronomy.
- Viets, F.G., Jr. 1962. Fertilizers and the Efficient Use of Water. Advances in Agronomy 14: 223-64.
- Wang, Y. P. and P. G. Jarvis. 1990. "Influence of crown properties on PAR absorption, photosynthesis, and transpiration in sitka spruce: Application of a model (MAESTRO)", Tree Physiology. 7: 297-316.
- Weatherley, A.B. and J.H.danep.1979. Effect of tillage on soil-water movement during corn groth.soil Sci.J. 43(6); 122-1225.
- White, J. W. 1985. Conceptos básicos de Fisiología del frijol. Ing. López, M.I. Fernández., A Van Schoonhoven (ed.). Frijol: Investigación y Producción. CIAT. Cali. Colombia, p. 43.60.
- Williams, L. E. 1994. Grape. In: Handbook of environmental physiology of fruit crops. pp. 86-118. Orland.
- Yuste, J. 1995. Comportamiento fisiológico y agronómico de la vid (*Vitis vinifera* L.)en diferentes sistemas de conducción en secano y regadío. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- Zuart, S.J.; Bastiaanssen, W.G.M. 2004. Review of Measured Crop Water Productivity Values for Irrigated Wheat, Rice, Cotton and Maize. Agricultural Water Management 69 (2): 115-33.

- Zufferey, V. 2000. Echanges gazeux des feuilles chez *Vitis vinifera* L. (cv. Chasselas) en fonction des parametres climatiques et physiologiques et des modes de conduite de la vigne. Zurich, Ecole Polytechnique Federale: 335.
- Zufferey, V. and F. Murisier 1997. "Orientation des rangs de vigne et interception de l'energie lumineuse par le feuillage." *Revue suisse de viticulture, arboriculture and horticulture* 29(4): 239-243.
- Zufferey, V., F. Murisier y R. Schultz 2000. "A model analysis of the photosynthetic response of *Vitis vinifera* L. cvs. Riesling and Chasselas leaves in the field: I. Interaction of age, light and temperature." *Vitis* 39(1): 19-26.

VII. Apéndice

Cuadro A1. Resultados del análisis de varianza de la variable fotosíntesis a los 50 DDS UAAAN-UL 2009.

	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTO	5	249.56	49.91	29.04	0.0001
BLOQUE	2	5.20	2.60	1.51	0.26
ERROR	10	17.19	1.71		
TOTAL	17	271.96			
C.V. %	10.68				

Cuadro A2. Resultados del análisis de varianza de la variable fotosíntesis a los 71 DDS UAAAN-UL 2009.

	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTO	5	422.79	84.55	21.92	0.0001
BLOQUE	2	10.59	5.29	1.37	0.29
ERROR	10	38.56	3.85		
TOTAL	17	471.94			
C.V. %	15.66				

Cuadro A3. Resultados del análisis de varianza de la variable fotosíntesis a los 83 DDS UAAAN-UL 2009.

	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTO	5	2.59	0.51	20.75	0.0001
BLOQUE	2	0.005	0.002	0.11	0.89
ERROR	10	0.250	0.02		
TOTAL	17	2.85			
C.V.%	83.43				

Cuadro A4. Resultados del análisis de varianza de la variable transpiración a los 50 DDS UAAAN-UL 2009.

	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTO	5	9.65	1.93	3.79	0.03
BLOQUE	2	1.73	0.86	1.71	0.23
ERROR	10	5.09			
TOTAL	17	16.48			
C.V. %	13.97				

Cuadro A5. Resultados del análisis de varianza de la variable transpiración a los 71 DDS UAAAN-UL 2009.

	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTO	5	28.72	5.74	10.46	0.001
BLOQUE	2	0.92	0.46	0.84	0.4
ERROR	10	5.49	0.54		
TOTAL	17	35.14			
C.V. %	14.74				

Cuadro A6. Resultados del análisis de varianza de la variable transpiración a los 83 DDS UAAAN-UL 2009.

	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTO	5	5.11	1.02	18.25	0.0001
BLOQUE	2	0.03	0.01	0.34	0.72
ERROR	10	0.56	0.05		
TOTAL	17	5.71			
C.V.%	23.09				

Cuadro A7. Resultados del análisis de varianza de la variable rendimiento de las seis variedades de frijol en la Comarca Lagunera UAAAN-UL 2009.

	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTO	5	0.19	0.038	27.78	0.0001
BLOQUE	2	0.0011	0.0005	0.43	0.66
ERROR	10	0.01	0.001		
TOTAL	17	0.20			
C.V.%	9.74				