

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**



**FOTOSÍNTESIS, TRANSPIRACIÓN Y RENDIMIENTO DE ESPINACA (*Spinacea oleracea*, L) BAJO
DIFERENTES CONDICIONES DE HUMEDAD Y RIEGO POR GOTEO.**

POR

JUAN BACHO SILVA

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO
DE:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

ABRIL DEL 2011.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

FOTOSÍNTESIS, TRANSPIRACIÓN Y RENDIMIENTO DE ESPINACA (*Spinacea oleracea, L*) BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE HUMEDAD Y RIEGO POR GOTEO

JUAN BACHO SILVA

TESIS

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

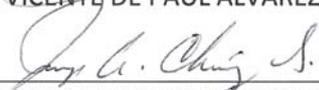
INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:

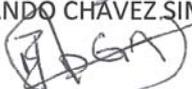
PRESIDENTE


Ph.D. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA

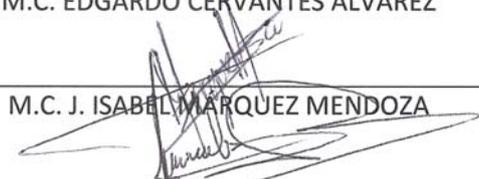
VOCAL

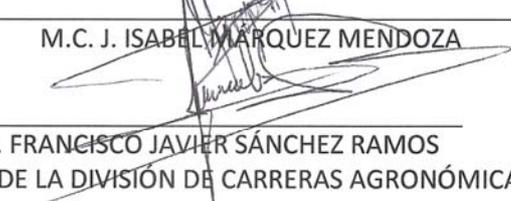

Dr. JORGE ARMANDO CHÁVEZ SIMENTAL

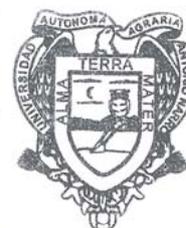
VOCAL


M.C. EDGARDO CERVANTES ALVAREZ

VOCAL SUPLENTE


M.C. J. ISABEL MARQUEZ MENDOZA


Dr. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de Carreras Agronómicas

TORREON, COAHUILA

ABRIL DEL 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

FOTOSÍNTESIS, TRANSPIRACIÓN Y RENDIMIENTO DE ESPINACA (*Spinacea oleracea, L*) BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE HUMEDAD Y RIEGO POR GOTEO

TESIS DEL C. JUAN BACHO SILVA QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORIA Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:

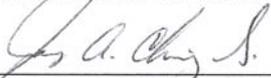
INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:

ASESOR PRINCIPAL


Ph.D. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA

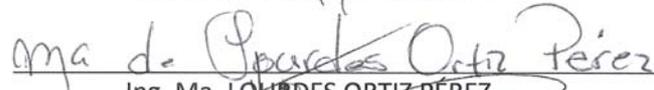
COASESOR

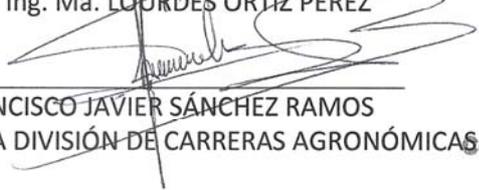

Dr. JORGE ARMANDO CHÁVEZ SIMENTAL

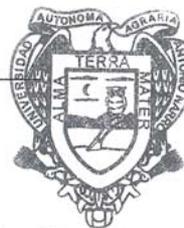
COASESOR


Dr. PABLO YESCAS CORONADO

COASESOR


Ing. Ma. LOURDES ORTIZ PÉREZ


Dr. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de Carreras Agronómicas

TORREON, COAHUILA

ABRIL DEL 2011.

DEDICATORIA.

A DIOS: cuídame en mi vida, dándome la oportunidad de conocerte y creer en ti gracias por este mundo tan maravilloso.

A mis hermanos: Elvira Bacho Silva, Santiago Bacho Silva, Gabriel Liborio Silva, por apoyarme, aconsejarme, brindarme su incondicional, apoyo y confianza que tuvieron en mí.

A mis padres: Agustín Bacho Marcial y Minerva Silva Cisneros por darme la vida y el gran esfuerzo que hicieron por mí, para que yo realizara mis sueños. Gracias a sus consejos para seguir adelante y su cariño. Padres que lucharon para que no me faltara nada, espero cuidar de ellos que nos les falte nada como lo hicieron conmigo gracias papás los quiero.

A mi novia: Lilia Del Angel Morales que tenemos poco tiempo de conocernos durante la travesía universitaria, por su apoyo incondicional muchas gracias por confiar en mí te quiero.

A mis amigos: Nayeli Díaz Pérez, Crispina Ortega Espinosa, Rosendo Castañeda López, Ignacio Cristóbal Colon, Marbin López Castañeda, Eduardo Añorve Velázquez, quienes me acompañaron durante largos años de estudios, por sus consejos. A todos ellos muchas gracias.

AGRADECIMIENTO.

A mi “Alma Terra Mater” por darme la oportunidad de estudiar y proporcionarme sus conocimientos.

Al departamento de riego y drenaje por soportarme cuatro años y medio, darme la facilidad de aprender las técnicas del uso y manejo del agua. A todo el plantel docente de la carrera de ingeniero agrónomo en irrigación por brindarme los medios y conocimientos necesarios para acceder a una formación académica que me permitirá desempeñarme profesionalmente en el futuro.

A Ph.D. Vicente de Paul Alvarez Reyna quiero agradecerle todo el apoyo recibido y predisposición totalmente desinteresada por asesórame en la tesis y el esfuerzo que hizo para yo poder presentar mi examen profesional, gracias.

A Dr. Jorge Armando Chávez Simental por ayudarme y asesorarme en la toma e interpretación de datos y por proporcionarme sus conocimiento para realizar mi trabajo de tesis, gracias.

A Dr. Pablo Yescas Coronado por todo su apoyo y su disposición para realizar este trabajo de tesis. Gracias.

A Ing. Ma. Lourdes Ortiz Pérez por su apoyo y horas de su tiempo dedicadas para la realización de este trabajo, Gracias.

A mi hermana Elvira Bacho Silva por apoyarme en mi vida de estudiante para que yo saliera adelante y sus extensas horas de trabajo para que no me faltara nada. Gracias.

Finalmente un agradecimiento especial a mis compañeros Alberto, Ana Isabel, Berta Wendy, Felipe, Iván, Izmar, Jesús, Joel, Mauricio, Maribel, Osmar, Rey, Tirso, compañeros de grupo de estudio de riego por convivir conmigo durante el transcurso de la carrera y estar unidos ante cualquier problema que tuvimos, gracias a todo ellos y les deseo todo lo mejor, espero algún día volvernos a reunir después de egresados.

ÍNDICE DE CONTENIDO.

	Página.
DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTO.....	II
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	III
ÍNDICE DE CUADROS.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
RESUMEN.....	VII
I.-INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVO.....	3
1.2. HIPÓTESIS.....	3
2.1. Importancia del agua en la planta.....	4
2.2. Eficiencia en uso de agua.....	4
2.3. Transpiración.....	4
2.5.1. Fotosistemas.....	6
2.5.1.1. Fotosistema I, y fotosistema II.....	6
2.5.2. Factores externos que influyen en la fotosíntesis.....	7
2.5.2.1. Luz.....	7
2.5.2.2 Dióxido de carbono (CO ₂).....	7
2.5.2.3. Temperatura.....	7
2.6. Generalidades del cultivo.....	8
2.6.1. Origen del cultivo y clasificación botánica.....	8
2.6.2. Descripción botánica.....	9
2.6.2.1. Sistema radicular.....	9
2.6.2.2. Tallo.....	9
2.6.2.3. Hojas.....	9
2.6.2.4 Flores.....	10
2.7. Requerimientos ecológicos y edafológicos del cultivo.....	10
2.7.1. Clima.....	10
2.7.2. Temperatura.....	10
2.7.3. Humedad.....	11

2.7.4. Fotoperiodo.	11
2.7.5. Suelo.	11
III. MATERIALES Y MÉTODOS.	12
3.1. Localización.....	12
3.2. Localización de Sitio Experimental.....	12
3.3. Clima de la región.	12
3.4. Características del suelo.	13
3.5. Muestreo de humedad en el suelo.	13
3.6. Preparación del terreno.....	14
3.7. Instalación Hidráulica del sistema de riego.	14
3.8. Siembra.....	14
3.9. Riego.....	15
3.10. Cosecha.	16
3.11. Control de Plagas y enfermedades.	17
3.12. Factores en estudio.	17
3.13. Diseño experimental.....	17
3.14. Análisis estadístico.....	17
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	18
4.1 Fotosíntesis.....	18
4.2 Transpiración.....	18
4.2.1 Relación entre fotosíntesis y transpiración.....	19
4.3 Rendimiento.	20
4.3.1 Relación entre rendimiento y fotosíntesis.....	21
4.3.2 Relación entre rendimiento y transpiración.	22
4.3.3 Estimación de rendimiento en función de la tasa de transpiración o tasa de fotosíntesis.	23
V. CONCLUSIONES.	25
VI.- LITERATURA CITADA.	26

ÍNDICE DE CUADROS.

	Página.
CUADRO 1. CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL SUELO U.A.A.A.N. U.L. 2010.....	13
CUADRO 2. CALENDARIO DE RIEGO APLICADO AL CULTIVO DE ESPINACA DURANTE EL CICLO OTOÑO-INVIERNO- U.A.A.A.N. U.L. 2009 - 2010.....	15
CUADRO 3. FOTOSÍNTESIS EN ESPINACA BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE HUMEDAD Y RIEGO POR GOTEÓ. U.A.A.A.N. U.L. 2010.	18
CUADRO 4. TRANSPIRACIÓN EN ESPINACA BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE HUMEDAD Y RIEGO POR GOTEÓ U.A.A.A.N. U.L. 2010.....	19
CUADRO 5. RENDIMIENTO EN ESPINACA BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE HUMEDAD Y RIEGO POR GOTEÓ U.A.A.A.N.U.L. 2010.	21

ÍNDICE DE FIGURAS.

	Página.
FIGURA 1. RELACIÓN ENTRE FOTOSÍNTESIS Y TRANSPIRACIÓN EN PLANTAS DE ESPINACA U.A.A.A.N. U.L 2010.	20
FIGURA 2. RELACIÓN ENTRE RENDIMIENTO Y FOTOSÍNTESIS EN PLANTAS DE ESPINACA U.A.A.A.N.U.L. 2010.	22
FIGURA 3. RELACIÓN ENTRE RENDIMIENTO Y TRANSPIRACIÓN EN PLANTAS DE ESPINACA U.A.A.A.N.U.L. 2010.	23

RESUMEN.

La espinaca (*Spinacea oleracea*, L) es una planta anual, cultivada como verdura por sus hojas comestibles, y por su notable valor nutritivo ya que se puede consumir fresca o cocida. Hortaliza que se cultiva en diferentes partes del mundo rica en vitaminas A y C con un ligero contenido de proteínas, hidratos de carbono, grasas y hierro.

El presente trabajo se realizo en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna ubicada en el Km. 1.5 del boulevard Raúl López Sánchez en Torreón Coahuila México. Las variables evaluadas fueron fotosíntesis, transpiración y rendimiento de espinaca bajo tres condiciones de humedad y riego por goteo, se probaron tres tratamientos de humedad (húmedo, intermedio, seco) bajo un diseño experimental bloque al azar con tres repeticiones. En fotosíntesis se observo que el tratamiento de mayor humedad presento la más alta tasa fotosintética ($21.12 \text{ Mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). En transpiración se observo que a mayor humedad mayor tasa de transpiración ($3.57 \text{ Mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) comportamiento similar al observado para fotosíntesis. El rendimiento fue mayor bajo condiciones de alta humedad con $12.58 \text{ Ton ha}^{-1}$.

Existe una estrecha relación entre fotosíntesis, transpiración y el rendimiento.

Palabras claves: espinaca, fotosíntesis, transpiración, producción, humedad, riego.

I.-INTRODUCCIÓN.

La espinaca (*Spinacea oleracea*, L) es una planta anual, cultivada como verdura por sus hojas comestibles, grandes y de color verde oscuro. Su cultivo se realiza durante todo el año y se puede consumir fresca, cocida o frita, es una quenopodiácea cuyo cultivo está muy difundido en Italia, que, además de ser un país fuertemente consumidor, exporta gran cantidad a Europa central, cuya producción está en continuo aumento. (Fersini, 1982).

En la alimentación, ocupa un lugar importante por su notable valor nutritivo y calórico, ligado al contenido de proteínas, hidratos de carbono, grasas, contenido de hierro, vitaminas A y C y posee una ligera actividad laxante y emoliente. Es un cultivo de clima templado-fresco que prefiere suelo arenoso, húmedo, de buena capacidad hídrica, ricos en materia orgánica bien descompuesta y abonos nitrogenados, tanto en las labores de siembra como al inicio de la vegetación pero libre de encharcamiento que además de producir podredumbre, influye negativamente en la calidad del producto; debe suministrarse a las plantas jóvenes. El riego debe limitarse a los periodos secos, las escardas deben ser frecuentes y cuidadosas.

Según la época del año y variedad, tiene una duración media de 24 a 25 días de ciclo reproductivo, la siembra se efectúa a chorrillo en líneas distantes 20 a 25 cm (2.5 a 3 gramos por m²) desde febrero a noviembre, cada 15 días, con el fin de tener una producción continua. El aclareo se realiza a una distancia entre plantas de 8 cm. Su cosecha se realiza cuando están lo suficientemente desarrolladas para ser destinada al consumo, y luego se irá completando en tiempos sucesivos. (Mainardi, 1978).

La producción media es de 10 ton ha⁻¹, y puede aumentar siguiendo el sistema de recolección de recoger las hojas separadamente sin arrancar completamente las plantas. Las variedades se distinguen por las características de sus hojas, aptitud de renovación, tendencia de las semillas a germinar según la época del año. Generalmente, las semilla lisa se adapta mejor al cultivo otoño-invierno (monstruosa viroflay, de hojas lisas; gigante de invierno, de hojas anchas

y casi lisas) y la espinosa al cultivo primavera-verano (gigante de verano de hojas verdes oscuras; lisas; espinaca de Inglaterra, de hojas anchas y abolladas, rústicas), (Fersini, 1982).

La espinaca se beneficia mucho de la frescura del terreno, especialmente cuando se inicia el calor. Regando frecuentemente el cultivo se puede obtener buen rendimiento y plantas ricas en hojas carnosas, siendo especialmente importante en los cultivos que se recolectan tardíamente en primavera. Los periodos de sequía e irrigación alternantes favorecen la eclosión del tallo. El riego por aspersión es el más conveniente y extendido, recomendándose el riego corto y frecuente, especialmente en las últimas fases del cultivo.

La producción de espinaca a nivel nacional, en el año 2001 fue de 27.218 toneladas, y en el 2002 disminuyó a 27,000 toneladas, (infoagro, 2010). El desarrollo de los productos hortícolas en el estado, ha tendido a la especialización sobre contrato por sus compradores, por ejemplo la producción de los “verdes” japoneses como los collares, kale, cebollines, espinacas, acelgas. Un análisis del posicionamiento de estos productos en el estado de Coahuila en 2007, encontró que las estadísticas de producción del sector agropecuario de acuerdo a la superficie establecida, de 59 cultivos la posición número 35 la ocupa la espinaca con 81 ha., establecidas con un rendimiento de $38.99 \text{ ton ha}^{-1}$. (Montañez, 2008). El precio promedio rural de los productos obtenidos en el estado en ese año fue de \$4,203.65 por tonelada, y de los 59 cultivos, la espinaca ocupa la posición número 20. En el año 2009 de 1040.50 has., sembradas solo se cosecharon 1038.50 has., con un rendimiento de $10.70 \text{ ton ha}^{-1}$ y un valor en la producción de 32.77 millones de pesos su precio promedio rural fue de \$2,949.88 por tonelada. (SIAP, 2010).

1.1 OBJETIVO.

Evaluar la actividad fotosintética, transpirativa y producción de espinaca bajo diferentes condiciones de humedad y riego por goteo.

1.2. HIPÓTESIS.

La tasa de fotosíntesis, transpiración y producción de espinaca bajo tres niveles de humedad es similar.

II. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1. Importancia del agua en la planta.

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).

2.2. Eficiencia en uso de agua.

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

El efecto de la sequía sobre la fotosíntesis de las plantas superiores se ha estudiado a nivel de intercambio de gases. El estrés 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 y transpiración decrecen similar (Kramer, 1983).

2.3. Transpiración.

La transpiración es el mecanismo fisiológico de pérdida de agua de las plantas a través de los estomas (Jiménez, 1986). La transpiración es la pérdida de agua de las plantas en forma de vapor, la cual es función de factores climáticos, viento, humedad atmosférica, temperatura y radiación solar, en

resumen, los días con temperatura alta, viento fuerte y aire seco, provocan mayores pérdida de agua del suelo y mayor consumo por la planta, por lo que el riego debe ser frecuente (Cisneros, A.R. 2003). Al contrario, el riego debe ser distanciado si los días son frescos, con viento suave, temperatura baja y aire húmedo. Por otra parte, existen numerosos factores propios de cada cultivo que influyen en la cantidad de agua que necesitan para un óptimo desarrollo, siendo los más importantes el sistema radicular y el follaje.

2.4. 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, raíz y granos) y la transpiración, proceso mediante el cual el agua se convierte de líquida a vapor (Tanner y Sinclair, 1983; Staduto y Albrizo, 2005). Mayor producción de biomasa requiere más transpiración debido a que cuando las 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 estomas limita la transpiración, fotosíntesis y producción.

Los genetistas han desarrollado variedades con alto índice de cosecha, logrando más producto económico por unidad de transpiración; estrategia de los mejoradores que 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 los cultivos tiene consecuencias de gran alcance para el agua. Aumentos en la producción de alimentos son logrados incrementando el agua transpirada (Molden, 2007).

2.5. Fotosíntesis.

La fotosíntesis es un proceso mediante el cual plantas utilizan la luz del sol agua y dióxido de carbono para obtener azúcares y otras sustancias ricas en energía, al tiempo que desprenden oxígeno. Proceso que se realiza en dos fases

diferenciales, en la fase clara los tilacoides de los cloroplastos captan la energía solar y junto con el agua absorbida la transforman en energía química ATP y poder reductor NADPH liberando oxígeno, en la fase oscura de la fotosíntesis esta energía química y el poder reductor salen de los tilacoides y pasan al estroma del cloroplasto ahí mediante un conjunto de reacciones conocidas como ciclo de Calvin el dióxido de carbono se fija y se convierte en azúcares, aminoácidos y ácidos grasos que son la fuente de energía para toda la planta. Proceso fundamental para la vida sobre la tierra y tiene profundo impacto sobre la atmósfera y clima. Cada año los organismos con capacidad fotosintética convierten en carbohidratos más del 10% del dióxido de carbono atmosférico. El conocimiento básico de este proceso es esencial para entender las relaciones entre los seres vivos y atmósfera así como el balance de la vida sobre la tierra, (Pérez, 2009).

2.5.1. Fotosistemas.

Los pigmentos fotosintéticos se hayan alojados en unas proteínas transmembranales que forman unos conjuntos denominados fotosistemas. Los pigmentos fotosintéticos son lípidos que se hayan unidos a proteínas presentes en algunas membranas plasmáticas, y que se caracterizan por presentar alternancia de enlaces sencillos con enlaces dobles. Esto se relaciona con su capacidad de aprovechamiento de la luz para iniciar reacciones químicas, y con poseer color propio. En las plantas se encuentran la clorofila y carotenoides.

2.5.1.1. Fotosistema I, y fotosistema II.

El fotosistema I (PSI) capta la luz cuya longitud de onda menor o igual a 700 nm y en las plantas superiores, su antena se caracteriza por encerrar dentro de sí una gran proporción de clorofila α , y una menor de clorofila β . En el centro de reacción, la molécula diana es la clorofila α_1 que absorbe a 700 nm, siendo llamada por ello clorofila P700. El aceptor primario de electrones se denomina aceptor A_0 y el dador primario es la plastocianina, sobre todo, se hallan presentes

en los tilacoides del estroma. El Fotosistema II (PSII) capta luz cuya longitud de onda es menor o igual a 680 nm.

2.5.2. Factores externos que influyen en la fotosíntesis.

2.5.2.1. 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 (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., (Hernández, 2009).

2.5.2.2 Dióxido de carbono (CO₂).

La concentración atmosférica de CO₂ es insuficiente para que la planta alcance su máximo valor, por encima de 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 necesitarían de 2 a 3 veces más de CO₂ (Champagnol, 1984).

2.5.2.3. Temperatura.

La temperatura afecta la fotosíntesis a nivel estomático y cloroplástico (Carbonneau et al., 1992). El daño causado puede llegar a depender de la estabilidad de los cloroplastos para mantener las reacciones fotosintéticas activas y de la velocidad de síntesis de la clorofila; así mismo, puede llegar a variar de acuerdo a la capacidad de respuesta del genotipo (Crafts-Brandner, 2004).

Otros estudios fisiológicos han demostrado que cuando aumenta la temperatura se produce una aceleración en la senescencia de las hojas, disminuyendo el período de actividad fotosintética (Plaut *et al.*, 2004). La tolerancia al calor está asociada a la característica de “stay-green”, la cual contribuye a mantener una mayor duración del aparato fotosintético (Reynolds *et al.*, 2000).

2.6. Generalidades del cultivo.

2.6.1. Origen del cultivo y clasificación botánica.

La espinaca fue introducida en Europa alrededor del año 1000 procedente de regiones asiáticas, probablemente de Persia, pero únicamente a partir del siglo XVIII comenzó a difundirse por Europa y se establecieron cultivos para su explotación, principalmente en Holanda, Inglaterra y Francia; se cultivó después en otros países y más tarde pasó a América (infoagro, 2010).

Antiguamente se consideraba la espinaca como la mejor de las hortalizas, siendo muy apreciada por su valor nutritivo y su riqueza vitamínica. Actualmente, estudios indican que brócoli sería la hortaliza más completa desde un punto de vista nutritivo. Sin embargo, todavía se reconoce a la espinaca como una de las hortalizas de mayor aporte de vitamina A, destacándose además, por el elevado contenido de calcio, fósforo, fierro, potasio y sodio. Medicinalmente, es algo emoliente, laxante, y su alto aporte de fierro la caracteriza como un alimento de elevado poder anti anémico. En contraste, la espinaca también presenta un elevado contenido de ácido oxálico, el que se combina con calcio, formando cristales de oxalato de calcio, lo que puede generar cálculos y, además, reduce la disponibilidad dietaria de magnesio y fierro. También ha sido asociada con la enfermedad metohemoglobinemia, por acumulación de nitratos.

La **clasificación taxonómica** de la espinaca es la siguiente:

- Reino.- Vegetal.
- Familia.- Chenopodiaceae.
- Género.- Spinacea.
- Especie.- *oleracea L.*

2.6.2. Descripción botánica.

En una primera fase forma una roseta de hojas de duración variable según condiciones climáticas y posteriormente emite el tallo. En las axilas de las hojas o directamente del cuello surgen tallitos laterales que dan lugar a ramificaciones secundarias, en las que pueden desarrollarse flores. Existen plantas masculinas, femeninas e incluso hermafroditas, que se diferencian fácilmente, ya que las femeninas poseen mayor número de hojas basales, tardan más en desarrollar la semilla y por ello son más productivas.

2.6.2.1. Sistema radicular.

El sistema radicular de la espinaca es de tipo pivotante lo que proporciona un buen anclaje a la planta, sin embargo es poco ramificada debido a que su desarrollo radicular es superficial, por lo que es importante que la humedad se encuentre en esa zona.

2.6.2.2. Tallo.

El tallo de la espinaca es regularmente erecto con una longitud aproximada de 30 cm, pero en plantas saludables puede alcanzar una altura de 1 m, lugar donde se sitúan las flores.

2.6.2.3. Hojas.

Caulíferas, más o menos alternas y pecioladas, de forma y consistencia muy variables, en función de la variedad de color verde oscuro. El pecíolo es cóncavo y a menudo rojo en su base, de longitud variable, que va disminuyendo poco a poco a medida que soporta las hojas de más reciente formación y va desapareciendo en las hojas que se sitúan en la parte más alta del tallo.

2.6.2.4 Flores.

Las flores masculinas, agrupadas en número de 6-12 en las espigas terminales o axilares presentan color verde y están formadas por un periantio con 4 - 5 pétalos y 4 estambres. Las flores femeninas se reúnen en glomérulos axilares y están formadas por un periantio biotetradentado, con ovarios uniovulares, estilo único y estigma dividido en 3 - 5 segmentos (infoagro, 2010).

2.7. Requerimientos ecológicos y edafológicos del cultivo.

2.7.1. Clima.

El clima al que se adapta este cultivo debe ser templado. La temperatura óptima va de 15 a 18 °C y es tolerante a ligeras heladas, pero no a la temperatura superior a 25 °C (Benavides, 2007).

2.7.2. Temperatura.

La espinaca que se ha desarrollado a temperatura muy baja (5 a 15°C de media mensual), en días muy cortos, típicos de los meses invernales, florecen más rápidamente y en un porcentaje mayor que las desarrolladas también en fotoperiodos cortos, pero con temperatura más elevada (15 a 26 °C). Además, las lluvias irregulares son perjudiciales para la buena producción de espinacas. La sequía provoca una rápida elevación, especialmente si se acompaña de temperatura elevada y días largos (kulichevsky, 2009). Al alargarse los días (más de 14 horas de luz diurna) y superar la temperatura los 15 °C, las plantas pasan de la fase vegetativa (roseta) a la de "elevación" y producción (emisión de tallo y flores). La producción se reduce mucho si el calor es excesivo y largo el fotoperiodo, dado que las plantas permanecen en la fase de roseta muy poco tiempo, con lo que no se alcanza un crecimiento adecuado (infoagro, 2010).

2.7.3. Humedad.

Una humedad relativa del 95 al 100 % es deseable durante el trasplante (Benavides, 2007). La espinaca se beneficia mucho de la frescura del terreno, especialmente cuando se inicia el calor. Regando el cultivo frecuentemente se puede obtener buen rendimiento y plantas ricas en hojas carnosas, siendo especialmente importante en los cultivos que se recolectan tardíamente en primavera. Los periodos de sequía e irrigación alternante favorecen la eclosión del tallo. El riego por aspersión es el más conveniente y extendido, recomendándose riegos cortos y frecuentes, especialmente en las últimas fases del cultivo (infoagro, 2010).

2.7.4. Fotoperiodo.

La planta requiere fotoperiodos cortos, pero con temperaturas más elevadas de 15 a 26 °C (Kulichevsky, 2009).

2.7.5. Suelo.

Prefiere suelo suelto, fértil, de buena estructura física y bien drenados, ricos en materia orgánica. La espinaca responde bien a la presencia de nitrógeno en el suelo (Goites, 2008).

III. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. Localización.

El proyecto se llevó a cabo en el municipio de Torreón localizado en la parte oeste del sur del estado de Coahuila, en las coordenadas 103° 26' 33" longitud Oeste y 25° 32' 40" latitud Norte, a una altura de 1,120 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con el municipio de Matamoros; al sur y al oeste con el estado de Durango y al este con el municipio de Matamoros.

3.2. Localización de Sitio Experimental.

Se realizó en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (U.A.A.A.N. U.L.) que se encuentra ubicada en San Antonio de los Bravos, en la ciudad de Torreón, Coahuila, México., en el corazón de la Comarca Lagunera, sobre el periférico Raúl López Sánchez km 1.5 y carretera a Santa Fe, en las coordenadas 103°22'19" longitud oeste y 25°33'27" latitud norte, a una altura de 1,121.6 metros sobre el nivel del mar.

3.3. Clima 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 de abril a octubre, en los que la temperatura media mensual varía de 13.6 a 19.5 °C. Los meses más

fríos son diciembre y enero registrándose en este último, el promedio de temperatura más bajo de 5.8 °C aproximadamente (CNA, 2005).

3.4. Características del suelo.

En el análisis realizado a las muestras de suelo en el laboratorio de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna se encontró un suelo de textura franco arcillosa con una densidad aparente de 1.2 gr cm⁻³, y una capacidad de campo de 31.25 % y punto de marchitez permanente de 16.4%.

3.5. Muestreo de humedad en el suelo.

El análisis de humedad de suelo del área de estudio se llevó a cabo en las instalaciones del departamento de riego y drenaje de la universidad autónoma Agraria Antonio Narro de Torreón. El peso de las muestras de suelo recolectadas en campo se determinó utilizando una báscula electrónica digital marca Explorer, modelo E02130. El secado de muestras se realizó en horno marca Felisa, modelo 293, serie 89003. Los resultados de humedad en el suelo obtenidos de los muestreos de humedad realizados del día 21 de febrero de 2010 al 04 de marzo del mismo año se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Contenido de humedad en el suelo U.A.A.A.N. U.L. 2010

Parámetros	Contenido de humedad en el suelo (g)		
	0-30	30-60	60-90
Profundidad			
Húmedo	18.11	11.99	11.66
Intermedio	11.97	6.71	6.55
Seco	5.67	5.29	5.10

3.6. Preparación del terreno.

Se realizó un barbecho a una profundidad de 30 a 35 cm., aproximadamente posteriormente se realizaron dos pasos de rastra para el acondicionamiento del terreno. Posteriormente se procedió a realizar el levantamiento de camas o surcos de 1.5 metros de ancho y una longitud de 52 metros con una separación de 1.5 m., lo que dio una superficie de 234 m².

3.7. Instalación Hidráulica del sistema de riego.

El experimento se manejó bajo un sistema de riego por goteo subsuperficial, el cual fue instalado del 15 al 21 de noviembre del 2009. Este sistema de riego es muy utilizado principalmente en zonas áridas, ya que permite una aplicación más eficiente del agua de riego proporcionando el agua directamente a la zona de la raíz de la planta. Los componentes utilizados para la instalación del sistema en el área experimental fueron, la línea conductora de agua que va del estanque al área experimental de la U.A.A.A.N. U.L., a través de tubería de PVC de 3". Tubería de conducción de 2 " de PVC, que se conecta de la tubería de PVC de 3". Conectores para cintilla que se incrustaron en la tubería de conducción a 0.75 metros de separación. La cintilla con un distanciamiento entre emisores de 30 centímetros se instaló subsuperficialmente en las camas a una profundidad aproximada de 30 centímetros.

3.8. Siembra.

La siembra del cultivo de la espinaca (*Spinacea oleracea, L*) se realizó del 28 de noviembre al 01 de diciembre del 2009. Se estableció en cama a doble hilera utilizando una sembradora manual marca "Earthway", la cual es utilizada para una gran variedad de semilla de hortalizas, que trabaja en continuo, abriendo la tierra, colocando la semilla y cubriéndola. Adicionalmente, marca la siguiente hilera para una perfección en la siembra. Fabricada en aluminio y polietileno, pesa 2 kilogramos. Incluye 6 discos para uso de más de 28 tipos de semillas. Con una densidad de población de 2080 semillas en 234 m², siendo la superficie sembrada.

3.9. Riego.

Se aplicó un calendario de riego en base a la necesidad de los diferentes cultivos que se establecieron, para utilizar volúmenes pequeños de agua pero constantes a través del riego por goteo subsuperficial. La separación de los emisores de la cintilla utilizada (Marca Toro) fue de 30 centímetros, y el gasto promedio por emisor fue de 0.8 litros por hora. La lamina de riego aplicada fue 5.7 centímetros en cada riego en un tiempo aproximado de riego de 12 horas. Se aplicó un riego al momento de la siembra. Durante el periodo en el que prevaleció baja temperatura el riego se aplicó aproximadamente cada 15 días y cuando la temperatura se incremento el intervalo de riego fue cada 7 días aproximadamente. La fecha de aplicación de los riegos se distribuyó de acuerdo al Cuadro 1.

Cuadro 2. Calendario de riego aplicado al cultivo de espinaca durante el ciclo otoño-invierno- U.A.A.A.N. U.L. 2009 - 2010.

No. de Riegos	Fecha
1	01/12/2009
2	12/12/2009
3	26/12/2009
4	09/01/2010
5	23/01/2010
6	06/02/2010
7	20/02/2010
8	04/03/2010
9	12/03/2010
10	20/03/2010
11	27/03/2010
12	03/04/2010

3.10. Cosecha.

Los datos de producción se evaluaron en forma manual cosechando la parcela útil, cortando las hojas maduras para después ser pesadas en el laboratorio de Riego y Drenaje de la U.A.A.A.N. U.L. La determinación del peso se realizó utilizando una balanza electrónica marca TORREY®, modelo EQB-100/200, clase III. La cosecha se realizó cuando la planta alcanzó el tamaño requerido. Las cosechas se realizaron el 6 de febrero, 5 y 6 de marzo del 2010.

3.11. Control de Plagas y enfermedades.

Se realizaron inspecciones constantes para mantener el área de estudio libre de malezas, controlando de manera manual la posible emergencia de plantas parásitas. Esta labor cultural fue realizada con la finalidad de disminuir las condiciones óptimas para el desarrollo de plagas hospedándose en la maleza y evitar la competencia entre plantas con el cultivo.

A pesar de que se presentaron pequeñas poblaciones de “mosquita blanca” (*Trialeurodes vaporariorum*) provenientes de cultivos vecinos en el área en el mes de abril, las labores de prevención evitaron la aplicación de insecticida, ya que no se reportó un impacto económico negativo en el cultivo ya que se encontraba en la etapa final, no presentándose enfermedades que pudieran dañar la producción del cultivo.

3.12. Factores en estudio.

La evaluación de fotosíntesis y transpiración del cultivo se realizó utilizando el aparato medidor de fotosíntesis, Photosynthesis System CI-340 del departamento de Riego y Drenaje de la U.A.A.A.N. U.L. El rendimiento en Ton ha⁻¹ se determinó en función de la producción obtenida en la parcela útil de cada unidad experimental.

3.13. Diseño experimental.

El diseño experimental utilizado fue un bloque al azar con tres repeticiones.

3.14. Análisis estadístico.

El análisis estadístico de las variables evaluadas se realizó utilizando el paquete computacional SAS versión 9.0.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 Fotosíntesis.

En el Cuadro 2 se presenta la actividad fotosintética bajo las tres condiciones de humedad evaluadas. El análisis estadístico realizado para este parámetro detecto diferencia significativa entre tratamientos. La mayor actividad fotosintética de las plantas se presento en el tratamiento húmedo con un valor de $21.12 \mu \text{ Mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, seguido por el intermedio con $17.48 \mu \text{ Mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y finalmente el tratamiento seco con una tasa fotosintética de $15.81 \mu \text{ Mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Cuadro 3. Fotosíntesis en espinaca bajo diferentes condiciones de humedad y riego por goteo. U.A.A.A.N. U.L. 2010.

Tratamiento	Media ($\mu \text{ Mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
Húmedo	21.12 a
Intermedio	17.43 b
Seco	15.81 c
C.V. %	4.34

Lo anterior muestra que la actividad fotosintética depende de la disponibilidad de agua.

4.2 Transpiración.

La tasa de transpiración de las plantas de espinaca bajo los diferentes tratamientos de humedad se presenta en el Cuadro 3. El análisis estadístico realizado a los mismos detecto diferencia estadística entre tratamientos. La mayor

tasa de transpiración al igual que para fotosíntesis se presento en el tratamiento húmedo con un valor de $3.57 \text{ Mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, lo cual concuerda con lo reportado en la literatura que a mayor disponibilidad de agua mayor transpiración (Cisneros, A.R. 2003). El tratamiento intermedio fue superior al seco estadísticamente con tasa de transpiración de 2.81 por 2.33 $\text{Mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ del seco, por lo tanto la transpiración al igual que la fotosíntesis disminuyo al decrecer la disponibilidad de agua.

Cuadro 4. Transpiración en espinaca bajo diferentes condiciones de humedad y riego por goteo U.A.A.A.N. U.L. 2010.

Tratamiento	Media ($\text{Mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
Húmedo	3.57 a
Intermedio	2.81 b
Seco	2.33 c
C.V. %	4.37

4.2.1 Relación entre fotosíntesis y transpiración.

La relación entre estas dos variables se realizo a través de un análisis de regresión la cual se presenta en la Figura 1. En ella se puede observar que a medida que se incrementa la tasa de transpiración se incrementa la tasa de fotosíntesis. En dicha figura se observa la estrecha relación entre estas variables como lo indica el coeficiente de regresión obtenido de 0.90 que es superior al obtenido para rendimiento-fotosíntesis y rendimiento-transpiración cuyos coeficientes fueron 0.82 y 0.78 respectivamente.

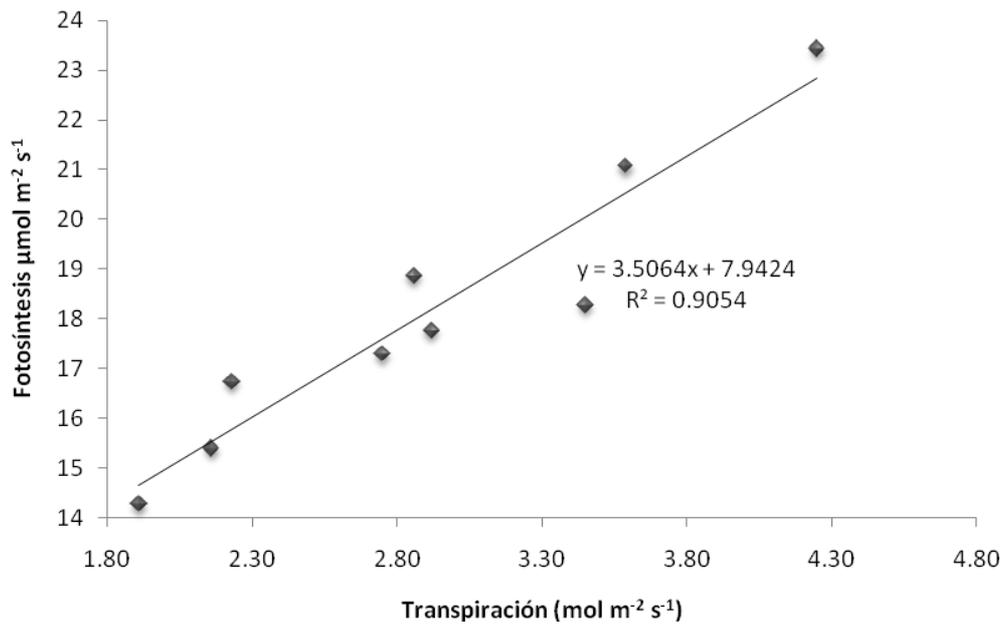


Figura 1. Relación entre fotosíntesis y transpiración en plantas de espinaca U.A.A.A.N. U.L 2010.

4.3 Rendimiento.

El rendimiento en Ton ha⁻¹ bajo los diferentes tratamientos de humedad se presenta en Cuadro 4. El análisis estadístico realizado detecto diferencia estadística entre tratamientos. El mayor rendimiento se presentó en el tratamiento húmedo, con un valor de 12.58 Ton ha⁻¹, seguido por el tratamiento intermedio con 11.22 Ton ha⁻¹ y finalmente el seco con un rendimiento de 9.89 Ton ha⁻¹ respectivamente. El rendimiento decreció al disminuir la disponibilidad de agua.

Cuadro 5. Rendimiento en espinaca bajo diferentes condiciones de humedad y riego por goteo U.A.A.A.N.U.L. 2010.

Tratamiento	Media (Ton ha⁻¹)
Húmedo	12.58 a
Intermedio	11.22 b
Seco	9.89 c
C.V. %	2.90

4.3.1 Relación entre rendimiento y fotosíntesis.

La relación entre estas variables se analizó a través de un análisis de regresión la cual se presenta en la Figura 2. En ella se puede observar que a medida que se incrementa la tasa de fotosíntesis se incrementa el rendimiento. Lo antes mencionado indica la relación que existe entre estas variables ya que el coeficiente obtenido fue de 0.82.

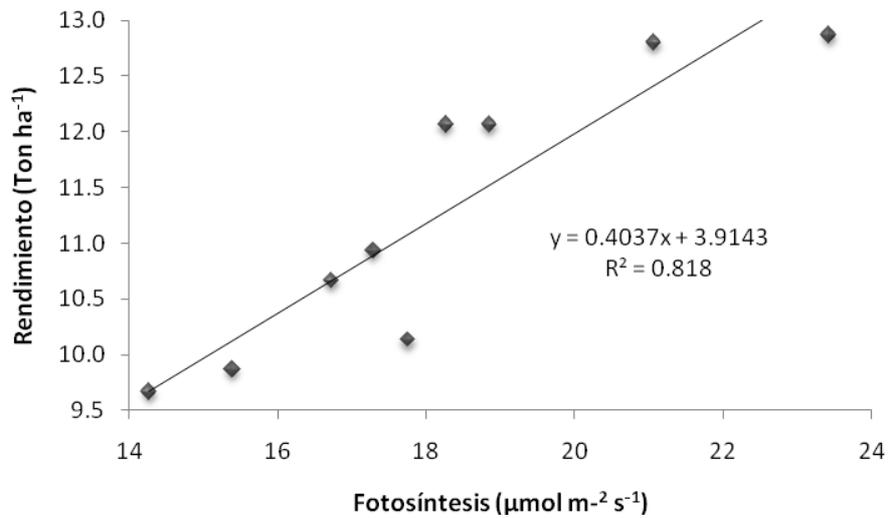


Figura 2. Relación entre rendimiento y fotosíntesis en plantas de espinaca U.A.A.A.N.U.L. 2010.

4.3.2 Relación entre rendimiento y transpiración.

La relación entre estas variables se analizó por medio de un análisis de regresión el cual se presenta en la Figura 3. En esta figura se puede observar que a medida que se incrementa la tasa de transpiración se incrementa el rendimiento. El coeficiente de regresión obtenido para la relación de estas variables fue de 0.78, por lo tanto la relación rendimiento-transpiración resultó menor que para fotosíntesis-transpiración y fotosíntesis-rendimiento.

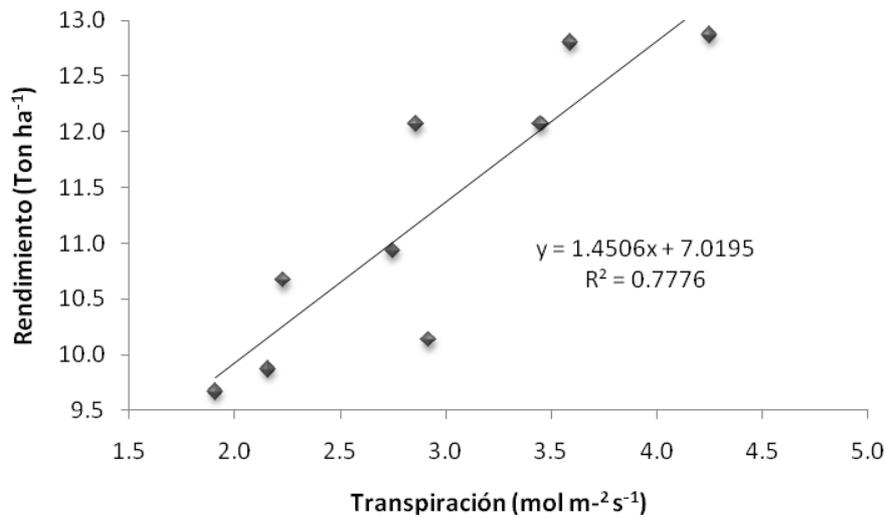


Figura 3. Relación entre rendimiento y transpiración en plantas de espinaca U.A.A.A.N.U.L. 2010.

4.3.3 Estimación de rendimiento en función de la tasa de transpiración o tasa de fotosíntesis.

Resultado de las regresiones realizadas con la transpiración y fotosíntesis y las ecuaciones obtenidas es factible estimar el rendimiento de espinaca en función de estas variables con cierto grado de precisión. La ecuación 1 representa la relación rendimiento-fotosíntesis y la ecuación 2 rendimiento-transpiración.

$$\text{Ecuación 1: } R = 0.4037 (P_n) + 3.9143$$

Donde:

R= rendimiento Ton ha⁻¹

P_n= Tasa de Fotosíntesis neta μmol m⁻² s⁻¹

Ecuación 2: $R = 1.4506 (T) + 7.0195$

Donde:

R= rendimiento Ton ha⁻¹

T= Tasa de Transpiración mol m⁻² s⁻¹

V. CONCLUSIONES.

En función de las condiciones en que fue conducido este estudio se concluye:

La mayor tasa fotosintética se presentó bajo condiciones de alta disponibilidad de agua.

La mayor tasa de transpiración se obtuvo bajo condiciones de alta disponibilidad de agua.

Existe una alta relación entre fotosíntesis y rendimiento, por lo tanto es factible estimar el rendimiento en función de la tasa fotosintética.

VI.- LITERATURA CITADA.

- Benavides, H. Nadia A. 2007. Guía práctica para la exportación de espinaca a EE.UU. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Carbonneau, A. 1992. La tener en sucres du raisin. Le progésagricole et viticole. 109 (22) 495 – 501.
- Champagnol F. 1984. Elements de physiologie de la vigne el de viticulture générale, imprimerie DEAHN, Montpellier.
- Cisneros, A.R. 2003. Apuntes de la materia de riego y drenaje .Centro de investigación y estudios de posgrado y área Agrogeodésica. Universidad Autónoma De San Luis potosí facultad de ingeniería.
- Comisión Nacional del Agua. (CNA). 2005 Gerencia Regional. Cuencas Centrales del norte. Subgerencia Regional Técnica y Administrativa del Agua. Torreón Coahuila, México
- Crafts-Brandner, S. J. and M. E. Salvucci. 2004. Analizando el impacto de la alta temperatura y CO₂ en la fotosíntesis neta: los mecanismos bioquímicos, los modelos y la genómica. Cultivos Res. 90:75-85.
- Fersini, Antonio. 1982. Horticultura practica. Editorial diana S.A de C.V. México D.F.
- Montañez de León J.A. 2008. Fundación produce Coahuila, A.C. agenda tecnológica sector agropecuario del estado de Coahuila, 2009-2011.
- Goites, E. 2008. Manual de cultivos para la huerta orgánica familiar. Edición literaria a cargo de Janine Schonwald. - 1a ed. - Buenos Aires: Inst. Nacional de Tecnología Agropecuaria – INTA.
- Hernández, G.G. 2009. Fotosíntesis, transpiración y rendimiento de seis variedades de frijol (*phaseolusvulgaris L.*) en la comarca lagunera. Tesis, UAAAN-UL pág. 14.

- Howard, S.B., Ong, C.K.; black, C.R. and Khan, A.A.H. 1997. Using sap flow gauges to quantify water uptake by free roots from beneath the crop rooting zone in agroforestry systems. *Agroforestrysystems* 35, 15-29.
- INFOAGRO. 2010. Infoagro Systems, S.L. disponible en: (<http://www.infoagro.com/hortalizas/hortalizas.htm>). consultada el día 20 de septiembre del 2010.
- 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 o Water in Crop Production. Arlington, Va.: Winrock Water
- Kramer, J.P. 1983. Water relations of Plant. U.S.A. Academic Press Inc. CA.
- Kulichevsky, L. 2009. Cultivo de espinaca. Proyecto de desarrolla sustentable de la horticultura regional jornadas de actualización hortícola. Centro Regional de Mendoza (INTA).
- Lambers, H., Chapin, F.S.; Pons, T.L. 1998. Plant physiological ecology. Springer-Verlang, New York, New York, pp 540.
- Mainardi, F.F. 1978. Hortalizas de hoja, flor, y tallo. Como, donde, cuando. Manual de cultivos modernos. Editorial de vecchi, S.A de C.V. Barcelona.
- 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.
- Pérez, E. Urria, C. 2009. Fotosíntesis: aspectos básicos. Facultad de ciencias biológicas. Universidad Complutense De Madrid.
- Plaut, Z., Buttow B.J., C.S. Wrigley, B. y C.W. 2004. Transporte de materia seca en los granos de trigo en desarrollo y su contribución al rendimiento de grano

bajo estrés hídrico post-antesis y temperatura elevada. Cultivos Res. 86:185-198.

Reynolds, M.P., M.I. Delgado., M. Gutiérrez-Rodríguez y A. Larqué-Saavedra. 2000. La fotosíntesis de trigo en un ambiente cálido y de regadío. I. La diversidad genética y la productividad de los cultivos. Cultivos Res. 66:37-50.

SIAP. 2009. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en: (http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350). Consultada el día 16 de febrero del 2011.

Steduto, P., Albrizio, R. 2005. "Resource - us 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.

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, Wis.: American society of agronomy.

Viets, F.G., Jr. 1962. Fertilizers and the efficient use of Water. Advances in Agronomy 14: 223-64.