

957.



UNIVERSIDAD DE SONORA

DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA Y GANADERIA

INFLUENCIA DE LA RADIACION SOLAR
EN LA PRODUCCION DE CULTIVOS BASICOS

DISERTACION

Angel Pérez Estrella

OCTUBRE DE 1993

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

INFLUENCIA DE LA RADIACION SOLAR
EN LA PRODUCCION DE CULTIVOS BASICOS

DISERTACION

SOMETIDA A CONSIDERACION DEL DEPARTAMENTO
DE AGRICULTURA Y GANADERIA DE LA
UNIVERSIDAD DE SONORA

POR

ANGEL PEREZ ESTRELLA

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO
AGRONOMO CON ESPECIALIDAD EN:

FITOTECNIA

OCTUBRE DE 1993

Esta disertación fué realizada bajo la dirección del Consejo Particular, aceptada y aprobada como requisito para obtener el grado de:

Ingeniero Agrónomo

con especialidad en

Fitotecnia

ASESOR :



M.C. JESUS LOPEZ ELIAS.

CONSEJERO :



ING. AGUSTIN R. ROMO AYALA.

CONSEJERO :



ING. JOSE A. AVILA MIRAMONTES.

AGRADECIMIENTO

Al BANRURAL, Sucursal Operativa: Hermosillo, Sonora, por el apoyo y facilidades proporcionadas en la realización del presente trabajo.

Al M.C. Jesús López Elías por su apoyo, interés y dirección durante el desarrollo del presente trabajo.

Al Ing. Agustín R. Romo Ayala por las valiosas sugerencias en la realización de este trabajo.

Al Ing. José A. Avila Miramontes por las atinadas sugerencias en la realización del trabajo.

A todas aquellas personas que de diferente manera ayudaron a la culminación de este trabajo.

DEDICATORIA

A mis padres:

Angel (QEPD) y Ursula (QEPD).

Por su gran apoyo y sacrificio.

A mis hermanos:

Ramón, Guadalupe, José, Gregoria, Jesús, María Concepción, Arnulfo, Víctor Manuel, Luis Alfonso, Rosa Martina y María Elena.

Por el apoyo que me han brindado.

A mi esposa e hijo:

Juana Inés y Angel.

Quienes de una u otra forma me alentaron para mi superación.

Al Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora.

A mis amigos y compañeros de generación.

C O N T E N I D O

| | Página |
|--|--------|
| I. INTRODUCCION | 1 |
| II. LITERATURA REVISADA | 3 |
| 2.1. La Radiación Solar | 3 |
| 2.1.1. Aspectos Meteorológicos | 3 |
| 2.1.2. Aspectos Fisiológicos | 9 |
| 2.2. La Radiación Solar en la Agricultura ... | 16 |
| 2.2.1. Importancia | 16 |
| 2.2.2. Efectos Sobre los Cultivos Básicos | 21 |
| 2.2.2.1. Frijol | 21 |
| 2.2.2.2. Maíz | 22 |
| 2.2.2.3. Trigo | 25 |
| III. CONCLUSIONES | 27 |
| IV. BIBLIOGRAFIA | 28 |
| V. APENDICE | 32 |

I. INTRODUCCION

La fuente de energía para todos los procesos físicos y biológicos que ocurren en la tierra es la Radiación Solar. Una forma de explotar esta radiación solar es la agricultura, haciéndose posible esta explotación con una adecuada suministración de agua y nutrientes para mantener el desarrollo de las plantas.

Al proceso por el cual la Agricultura explota la radiación solar se le llama Fotosíntesis, reacción la cual es efectuada en la misma planta, siendo necesaria la presencia de luz, la cual es energía. Esta energía no se pierde, únicamente se transforma y ayuda a transformar, teniendo ésta reacción en su forma simplificada: la Fotosíntesis, liberando oxígeno más carbohidratos, lo cual es de vital importancia para la subsistencia del hombre. Algunos científicos consideran que la producción de alimentos por las plantas verdes es de alrededor de docientos mil millones de toneladas por año, por lo cual se deduce que de los cultivos básicos se contemple una gran proporción. (2,17,20)

Algunos investigadores consideran que se pierde bastante

energía irradiada por hectárea, debido a que no existe suficiente cobertura por las plantas, por lo cual si se plantara un número adecuado de plantas, de tal manera que no dejara pasar radiación solar al suelo y fuera ésta absorbida por las plantas o cultivos en mayor proporción, y no le faltara oxígeno ni nutrientes, aumentaría considerablemente la producción. (24)

II. LITERATURA REVISADA

2.1. La Radiación Solar.

2.1.1. Aspectos Meteorológicos.

La radiación es un proceso físico por medio del cual se transmite energía en forma de ondas electromagnéticas, sin la intervención de una materia intermedia ponderable como portadora de energía en línea recta, y a una velocidad de 300,000 kilómetros por segundo.

El sol es la principal fuente de energía para el planeta. La radiación solar o energía emitida por el sol constituye el 99.97% de la energía involucrada en los fenómenos meteorológicos y es asimismo la responsable de la totalidad de la energía que moviliza la actividad biológica.

Otras fuentes de energía, pero de menor importancia son las de la tierra misma y las radiaciones cósmicas.

La radiación solar recibida en la superficie terrestre es el origen de casi todos los fenómenos meteorológicos y de sus variaciones en el curso del tiempo.

Obviamente, sin radiación solar la vida vegetal y por lo tanto la vida animal no existiría; pero fuera de esta premisa se sabe que la radiación influye en los siguientes aspectos de la vida de las plantas: germinación, fotosíntesis, respiración, transpiración, y en general, sobre el crecimiento vegetativo y reproductivo. (24)

La radiación solar también recibe el nombre de radiación de onda corta, porque la longitud de onda de sus radiaciones va de 0.2 a 4.0 micras a diferencia de las radiaciones terrestres o de onda larga, las cuales se extienden desde 3.0 a 100 micras.

La máxima intensidad de irradiancia solar, se da a una longitud de onda de 0.5 micras, mientras que en la terrestre ocurre a una longitud de 10 micras, no existiendo sobreposición significativa entre los rangos de longitud de onda de una y otra radiación, por lo que cabe perfectamente distinguirlas.

Composición de la Radiación Solar.- La radiación que llega al límite superior de la atmósfera, está formada de tres tipos de radiación como son: actinia o química, luminica y térmica; la primera formada por radiaciones con

longitud de onda muy pequeña, menor de 0.36 micras, que también reciben el nombre de radiaciones ultravioletas, las cuales no son visibles al ojo humano.

La radiación luminica son radiaciones visibles al ojo humano, las cuales varían de 0.36 a 0.76 micras de longitud de onda y es lo que propiamente se llama luz.

La radiación térmica ó infrarroja, la cual tampoco es visible al ojo humano y cuya longitud de onda varía de 0.76 a 4.0 micras.

Estas tres longitudes de onda, logran una transferencia o intercambio de energía calorífica.

Los porcentajes de energía que llega del sol son los siguientes: a) radiación ultravioleta en un 9%; b) la luminica en un 41% y c) la infrarroja en un 50%. (24)

En radiaciones se maneja el "cuerpo negro" sólo para tener un punto de referencia con que comparar el poder emisor y absorbente de otros cuerpos, ya que en la práctica no existe, describiéndolo de la siguiente manera: El cuerpo negro es aquel que emite y absorbe radiación de todas las longitudes de onda; su emisividad es unitaria ($e = 1$) y por

otro lado, es capaz de absorber toda la energía radiante que incide sobre él; es decir, también su coeficiente de absorción es unitario; el coeficiente de absorción indica la fracción de radiación incidente que es absorbida por el cuerpo. (24)

No toda la radiación solar incidente en el límite superior de la atmósfera llega a la superficie terrestre. Esto se debe a que la atmósfera actúa sobre ella, produciendo distintos fenómenos como son: absorción, reflexión y transmisión, los cuales, enfocado a las plantas, se definen como sigue (30):

a) **Absorción.** Las plantas absorben la radiación selectivamente, es decir, determinadas longitudes de onda. La radiación de onda muy corta (ultravioleta), es parcialmente absorbida por la capa ozono; esta radiación es nociva para plantas y animales en general.

Parte de la luz puede ser absorbida por los carotenos (anaranjado-rojizo) y por las xantofilas (amarillas) en el rango de 3 800 a 6 000 angstroms.

La clorofila "a" (verde oscuro) y la clorofila "b" (verde claro), absorben radiaciones en un amplio rango,

presentándose las máximas absorciones por la clorofila, en la banda azul (4 900 angstroms) y en el rojo (6 700 angstroms). Si bien, la actividad fotosintética se favorece en longitudes de onda de 4 900 a 6 700 angstroms en el balance clorofilico toma parte toda la radiación.

Es importante además de la calidad (longitud de onda), la cantidad (intensidad) del flujo de radiación, ya que la transferencia del vapor de agua en la transpiración, el consumo de CO_2 y el transporte de nutrientes están directamente correlacionados con la cantidad de radiación neta.

En el límite de rango visible para el ojo humano, en la banda del rojo, las plantas pierden su absorción, pero se incrementa de nuevo en el rango infrarrojo de absorción por el agua (14 500 y 19 500 angstroms), dependiendo del contenido de agua de la planta.

La propiedad característica de los distintos cuerpos de absorber solo radiaciones de ciertas longitudes de onda y dejar pasar las demás, se expresa diciendo que es opaco para unas radiaciones y transparentes para otras: el vidrio es transparente para las radiaciones luminosas y en cambio es opaco para las radiaciones oscuras; propiedad que se apro-

vecha en los invernaderos, en los que los techos y paredes de vidrio permiten el paso casi integro de la radiación luminosa del sol hacia el interior durante el día, y en la noche no dejan pasar la radiación calorífica que del interior del invernadero se dirige hacia el exterior. Esta propiedad selectiva de absorber radiaciones de cierta longitud de onda es muy importante en la explicación de la forma de calentamiento de la atmósfera, pues tanto los gases que constituyen el aire, como el vapor de agua y polvo que se encuentra en suspensión, son muy malos absorbentes de las radiaciones de onda muy corta, provenientes del sol, y en cambio absorben mejor las radiaciones terrestres de longitud de onda larga.

El mejor absorbente conocido es el carbón y en importancia (orden decreciente), le siguen el suelo, el agua, las nubes, la nieve, el aire polvoso y el aire puro.

b) Reflexión. Parte de la radiación recibida por un cuerpo que es reflejada. El índice de reflexión depende del color y grado de homogeneidad o pulimento de la superficie reflejante.

El mejor reflejante que se conoce es el espejo de plata

pulida y en importancia (orden decreciente), están la nieve, el agua, las nubes, el aire polvoso, el suelo y aire puro.

El coeficiente de reflexión es llamado "albedo" o "fracción de radiación visible" o "luz reflejada".

c) **La Difusión.** La difusión de la radiación solar es la transmisión de las ondas electromagnéticas. En el aire se transmite mas fácilmente la luz azul y es por eso que vemos el cielo de ese color. El mejor transmisor que se conoce es la sal Gema y después en orden decreciente está el aire puro, el aire polvoso, el agua, la nieve, las nubes y el suelo. (30)

2.1.2. Aspectos Fisiológicos.

En cuanto a estos aspectos, se tiene que analizar el proceso de fotosíntesis y respiración vegetal, como se cita a continuación (30).

El rasgo esencial de la fotosíntesis es la descomposición de las moléculas del agua y bióxido de carbono (CO₂) mediante la energía de la luz y su combinación en moléculas de azúcar, en las cuales la energía se almacena en forma potencial, y de donde puede ser liberada nuevamente a través

de la respiración.

La luz, más que cualquiera de las formas de energía cinética, proporciona la fuerza que mueve el proceso fotosintético. Este hecho es fundamento de muchas de las características de la estructura, actividad y distribución de las plantas. La clorofila se sintetiza bajo un rango de intensidad de luz bastante amplio, pero principalmente en longitudes de onda de 4 500 a 6 500 angstroms. La clorofila absorbe principalmente dos longitudes de onda: la del rojo de 6 600 a 6 800 angstroms y la del azul de 4 800 a 5 000 angstroms.

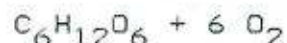
La asimilación del CO_2 por las plantas ocurre bajo el efecto de la luz y depende tanto de la intensidad de esta como de la longitud de onda. La asimilación máxima del CO_2 ocurre en longitudes de onda que van de acuerdo con la capacidad de absorción de luz por la clorofila, ya que la mayor intensidad fotosintética se registra en las bandas roja y azul; además, el rango azul del espectro apoya la síntesis de sustancias materiales de biocrecimiento.

Las materias primas y los productos finales de la fotosíntesis se muestran en la siguiente ecuación

simplificada:



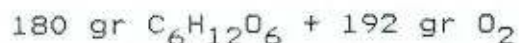
la presencia de luz produce:



convertidas a gramos y calorías esta ecuación, queda de la siguiente manera:



con la presencia de luz produce:



Esto abarca la conversión de 674 000 calorías de energía cinética que suministra la radiación neta ahora almacenada en la molécula de azúcar.

De acuerdo con lo anterior para producir un gramo de glucosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) se necesitan 3 744 calorías, o sea 6 veces más energía que para evaporar un gramo de agua a 0 grados Celsius.

Por otra parte, una célula que en su citoplasma contenga

un Azúcar sencillo, tal como la glucosa, se suceden durante la respiración, viendo los procesos siguientes, los cuales son simplificados: la molécula de glucosa ($C_6H_{12}O_6$) en presencia de oxígeno ($6 O_2$) y bajo la acción de ciertas enzimas se transforma produciendo sustancias cada vez más simples y dá como productos finales de desecho: bióxido de carbono ($6 CO_2$) y agua ($6 H_2O$). En cada transformación se libera cierta cantidad de energía que no es utilizada inmediatamente por la célula, sino que se emplea en la fabricación de moléculas de trifosfato de adenosina (ATP); en las que la energía queda almacenada para liberarse posteriormente. Esta sustancia se difunde después por toda la célula para proporcionar la energía necesaria para la nutrición y crecimiento, principalmente. Por cada molécula de glucosa oxidada, en la respiración, se forman aproximadamente 36 moléculas de ATP.

Si recordamos que la combustión se manifiesta por consumo de oxígeno, desprendimiento de bióxido de carbono, vapor de agua y liberación de energía, la respiración viene a ser un fenómeno semejante, ya que es una oxidación gradual de la glucosa que se manifiesta por consumo de oxígeno, entre otros.

El incremento gaseoso puede efectuarse a través de la epidermis (tejido que envuelve las partes tiernas del vegetal), raíz, etc.; sin embargo, el gran número de estomas de una hoja, así como la estructura estomal, determina que en este órgano los cambios gaseosos sean más intensos. El aire penetra por los estomas y lenticelas, el oxígeno disuelve en la savia y esta lo conduce a las células de todos los órganos del vegetal y recoge el dióxido de carbono y el agua para expulsarlos a través de los mismos orificios.(30)

La Luz como Factor Morfogénico. La fotomorfogénesis puede definirse como la influencia de la luz sobre el desarrollo de la estructura de las plantas (o de los animales, según el caso). La luz es de vital importancia para la agrometeorología, tanto por la cantidad como para la calidad de luz recibida por los cultivos, o sea, la intensidad de la radiación y el rango de longitud de onda.

La radiación solar es heterogénea. En cuanto a la longitud de onda: podemos separarla en radiación ultravioleta (UV), radiación visible (luz) y radiación infrarroja (IR).

La radiación ultravioleta A produce pigmentación en la

piel humana; la ultravioleta B causa desde irritación hasta Cáncer en la piel (30).

La luz tiene importantes efectos morfogénicos en las plantas, como lo son (30):

Tolerancia a la luz. De acuerdo a la intensidad de luz las plantas pueden clasificarse, según los rangos de intensidad de luz en los que prospera mejor, como: plantas heliófilas (de sol), plantas umbrófilas (de sombra) y plantas indiferentes. Como regla general, las hojas de las plantas umbrófilas son más transparentes que las de las heliófilas.

Etiolación. Esta condición se presenta cuando la intensidad de la luz no es suficiente para el desarrollo normal de las plantas. A bajas intensidades de luz las plantas tienden a incrementar el alargamiento del tallo, presentando además entrenudos largos y delgados, clorosis general y malformación en las hojas.

Fototropismo. La dirección de la cual proviene la luz determina en alto grado la dirección del crecimiento de los tallos y las hojas. La luz es responsable de muchos de los movimientos de crecimiento o tropismos de las plantas. No todas las plantas y no todas las partes de las mismas

responden en la misma forma a este estímulo. Como regla general, el tallo se dirige hacia la fuente de luz y la hoja toma una posición en la que la superficie ancha del limbo queda perpendicular a los rayos de luz.

A cualquier movimiento que sea una reacción al estímulo de la luz, se conoce como Fototropismo. Por su posición un tallo que es normal se dice que es positivamente fototrópico, una raíz negativamente fototrópica y una hoja transversalmente fototrópica o diafototrópica.

La radiación infraroja, IR-A e IR-B, es la parte térmica de la radiación solar y sus efectos sobre las plantas son de incremento en la temperatura.

En la mayoría de las plantas la luz tiene efectos inhibidores o retardadores de la germinación; sin embargo, en algunas plantas la germinación es estimulada por la energía solar, ya que son sensibles a la luz (fotoblásticas), como sucede en algunas hortalizas.

En el cuadro 1 del apéndice se presentan algunos efectos de la radiación solar sobre las plantas, así como la sensibilidad espectral del ojo humano. (30).

2.2. La Radiación Solar en los Cultivos.

2.2.1. Importancia.

La fuente primaria de energía para la fotosíntesis y la bioproductividad es la energía solar; y que además, la radiación solar influye también en el crecimiento y desarrollo de las plantas. (12)

El estudio de la radiación solar y su relación con las plantas cultivadas tiene varias aplicaciones prácticas, tales como selección de especies y variedades para una localidad determinada; la fecha de siembra puede ser establecida en base al conocimiento de elaboración del día y los requerimientos de luz de las especies (el rendimiento se ve disminuido si se siembra en una época en la que por virtud de la duración del día, el ciclo se acorta o se alarga demasiado). En horticultura y floricultura se usa la iluminación artificial para controlar las épocas de floración y aumentar el rendimiento en los trabajos de mejoramiento genético. Nuevas variedades pueden ser obtenidas más rápidamente mediante el uso de la iluminación artificial para disminuir su ciclo. (17)

A pesar de la importancia de la irradiancia solar, correspondiente a la longitud de onda de la radiación fotosintéticamente activa, no es común hacer dicha mención. (16)

En referencia al clima, los factores climáticos más importantes que afectan al crecimiento y desarrollo de un cultivo, pueden agruparse en dos categorías: a) balance de agua y b) regímenes térmicos y de radiación los cuales incluyen la duración del día, la temperatura del aire y la radiación solar. (6)

El crecimiento y desarrollo de las plantas se ven afectados también por otros factores aparte de la temperatura, como lo son el flujo y duración de la radiación fotosintéticamente activa, la disponibilidad de nutrientes y agua, así como por la pérdida de tejido fotosintético. (25)

Algunos investigadores hicieron mención de que son numerosos los estudios que han demostrado una relación lineal entre la radiación solar incidente absorbida y la tasa de producción de materia seca acumulada, cuando los nutrientes y el agua no son factores limitante, relación lineal cuya pendiente puede variar con el cultivo y la fase del

mismo. (29)

En cualquier cultivo o plantel de vegetación natural, cuatro son los factores que determinan el aumento de biomasa o productividad neta: la cantidad de luz incidente, la proporción de esa luz que es interceptada por los órganos verdes de la planta, la eficiencia de conversión fotosintética de luz interceptada en biomasa y las pérdidas respiratorias de la biomasa. (26)

La eficiencia en la intercepción de luz es una función del tamaño, estructura y color del dosel del cultivo y que en aquellos casos en los cuales se ha aumentado la productividad de los mismos dicho incremento puede atribuirse en general a una mayor intercepción de luz.

La producción y productividad de los cultivos puede lograrse mediante el empleo de genotipos que transformen más eficientemente el agua, los nutrientes, la luz y la temperatura, en una cosecha económicamente valiosa, tanto en cantidad como en calidad. (23)

En estudios sobre modelos de penetración de luz en cultivos, la cantidad de radiación solar que atravieza un cultivo y alcanza la superficie del suelo, afecta el microambiente

en la porción inferior del cultivo. Dichos modelos deberán incluir los parámetros: altura de la planta, espaciamiento entre plantas, orientación azimutal del cultivo, cobertura vegetal, densidad de siembra, orientación de la hoja, así como la localización solar. (15)

Haciendo referencia de la radiación neta en los cultivos, parte de la radiación solar que incide sobre un terreno cultivado es reflejado hacia la atmósfera, de acuerdo con el valor de albedo del cultivo. La fracción remanente penetra en la cubierta vegetal y es gradualmente atenuada a medida que es interceptada y absorbida por los estratos foliares. (19)

Algunos investigadores concluyeron que el crecimiento de un cultivo se ve limitado por la capacidad del dosel de absorber radiación. (9)

Se dice que la fotosíntesis y por consiguiente el rendimiento de un cultivo dependen de la absorción de luz incidente sobre el mismo, la cual se ve afectada por la distribución del área foliar. (32)

Al respecto, otros investigadores han dicho que para

obtener la mejor producción existe un valor óptimo de índice de área foliar, el cual depende de la estructura del dosel del cultivo. Señalando que dicho valor es de aproximadamente 4 para cultivos de hojas erectas, siendo menor en el caso de cultivo de hojas en posición horizontal. (4, 33)

Otros investigadores hacen mención de que en las etapas tempranas de la estación de crecimiento de los cultivos la tasa de producción de materia seca de los mismos es proporcional a la cantidad de radiación interceptada; la cual depende principalmente del índice de área foliar.

Estos mismos investigadores afirmaron que para la mayoría de los cultivos cuando el índice de área foliar alcanza un valor de 4 a 5, más del 80% de la radiación fotosintéticamente activa es interceptada por el cultivo, siendo utilizada en la producción de materia seca. (3)

Otros mencionaron que bajo condiciones naturales el proceso de fotosíntesis se ve determinado por la fracción visible del espectro o la energía radiante entre los 400 y 700 nanómetros de longitud de onda (radiación fotosintéticamente activa). Estos mismos mencionaron que se ha determinado claramente que el grado de fotosíntesis aumenta al

incrementar los niveles de irradiación, hasta que se alcanza el punto de saturación de luz. Y que al controlarse el tamaño de la planta se obtienen plantas menos frondosas y como consecuencia incrementan los niveles de iluminación, aumentando la eficiencia en conversión de las hojas. (10)

Al respecto, se citó que la tasa de fotosíntesis se incrementa a medida que aumenta la intensidad de la radiación hasta alcanzar un límite denominado Saturación de la Intensidad de Luz, a partir del cual la radiación interceptada por el cultivo no es eficiente para la fotosíntesis y cuyo valor varía de acuerdo a la especie. (22)

2.2.2. Efectos de la Radiación Solar en los Cultivos Básicos.

2.2.2.1. Frijol.

En estudios realizados sobre frijol se citó que fotosintéticamente este cultivo corresponde al tipo de planta C_3 , cuyos requerimientos climáticos, tanto de intensidad luminosa, como de temperatura, están bien definidos, siendo valores bajos de estos favorables para el buen desarrollo del cultivo, en virtud de que valores altos estimulan la fotorespiración. (5)

También se enmarcó que a pesar de que la producción de materia seca es proporcional a la radiación interceptada, la productividad depende de la eficiencia de conversión de la energía radiante, encontrando estudios realizados en frijol que el porcentaje de energía radiante convertida a materia seca es de 21.6% la cual va aumentando al principio para decrecer con el tiempo, al alcanzar la madurez y senescencia. (7)

Se encontró que la cantidad de luz que llega a cada una de las hojas de la planta de frijol es diferente, lo cual ayuda a establecer que la transpiración está influenciada por los factores ambientales y determinan claramente el sentido del flujo de agua y la cantidad que se pierde por las hojas, sin olvidar los factores internos de la planta. (31)

2.2.2.2. Maíz.

En regiones semiáridas se realizaron estudios en maíz, los cuales mostraron que un incremento en la población del cultivo permite un mayor porcentaje de radiación solar, lo cual repercute en una mayor producción de materia seca y un mayor rendimiento. (1)

En estudios con maíz híbrido, se encontró que híbridos con ángulo de hoja erecta y panoja escaza fueron los que obtuvieron mayor rendimiento en grano, lo cual se debió en parte a que estos favorecieron la mayor penetración de luz en el cultivo. (13)

Para estudios en maíz, otros investigadores establecieron la necesidad de entender la interrelación existente entre la estructura del cultivo y la transmisión de luz sobre un amplio intervalo de densidades de plantas. Encontraron que al incrementar la densidad de plantas de maíz, se incrementa tanto el índice de área foliar como la producción de materia seca, pero se altera la distribución de la luz dentro del cultivo, variando esta con la altura del mismo. (27)

Bajo densidad de siembra normal, cuando el cultivo se encuentra en desarrollo completo, las hojas inferiores son fuertemente sombreadas, induciendo con ello a su senescencia, debido a la baja densidad de flujo de fotones fotosintéticos, lo cual repercute directamente sobre la producción de materia seca y rendimiento, entre otros. (21)

En trabajos con densidades de siembra de maíz encontraron que la absorción de radiación fotosintéticamente activa fué

demasiado pequeña como para mostrar un efecto significativo de la densidad de plantas sobre la eficiencia en conversión de radiación, la cual parece estar influenciada por la fase del cultivo. (29)

Al respecto, otros investigadores, al buscar determinar la influencia de los patrones de siembra en maíz sobre la intercepción de radiación, la concentración de nutrientes en la planta y el rendimiento, concluyeron que espaciamientos anchos entre hileras de 1.52 metros bajo densidades de siembra de 80 500 y 99 000 plantas por hectárea permitieron una redistribución de la radiación de las hojas superiores a las hojas inferiores, lo cual aunque permitió que una mayor cantidad de radiación alcanzara la superficie del suelo, ello no afectó la concentración de nutrientes en la planta y el rendimiento disminuyó. (21)

Utilizando un modelo de crecimiento para el cultivo de maíz, se examinaron los efectos de la variación de la radiación solar sobre el rendimiento en dicho cultivo, para cinco localidades, encontrando que al relacionar la respuesta de la radiación solar con la cantidad de radiación incidente y la fracción de radiación interceptada por el cultivo, sólo

aquellas localidades con baja temperatura y su *consecuente alargamiento del ciclo de cultivo y una alta radiación solar, fueron los que presentaron mayores rendimientos. (18)

Se encontró también que la eficiencia en el empleo de la radiación se incrementó con la densidad de siembra del cultivo, la cual fluctuaba de 4.5 a 14.5 plantas por metro y en cuyo resultado se sugiere el empleo de la reflectancia espectral en la selección de híbridos que sean más eficientes en el empleo de la radiación fotosintéticamente activa. (14)

Otros estudios que se realizaron para cuantificar la contribución de la eficiencia en el empleo de la radiación sobre la acumulación de materia seca, se encontró que el incremento en esta puede ser atribuida en gran parte al incremento en la eficiencia en el empleo de la radiación. (28)

2.2.2.3. Trigo.

Trabajando con trigo se encontró que la estructura del dosel del cultivo de trigo varía marcadamente a través del tiempo y el espacio, influyendo con ello, tanto sobre la intercepción de luz como en la fotosíntesis y la evapotrans-

piración. (11)

A este respecto se señaló que el incremento en el rendimiento en trigo de invierno se debió a un incremento en la intercepción de luz posterior a la fase de antesis, lo cual se dificulta a menos que suficiente cantidad de agua se encuentre disponible para mantener cubiertas densas con valores de índice de área foliar alto después de dicha fase. (11)

Para la estimación del rendimiento en trigo deberá utilizarse la relación radiación solar-temperatura, dentro de los modelos predictivos. (8)

III. CONCLUSIONES

En agricultura, y principalmente en la producción de cultivos básicos, ya que estos son la base para la alimentación mundial, se considera que es de mucha importancia que los dedicados a estas labores tengan un conocimiento lo más amplio posible donde puedan comprender lo que es la radiación solar, así como su importancia, sus cualidades y efectos que provoca a nivel general.

Asimismo, deberá tenerse el conocimiento de las características fisiológicas, fenológicas y morfológicas de las plantas, para así poder determinar una más acertada población de plantas por hectárea donde los aprovechamientos de radiación solar se hagan al máximo.

Además, hacer posible una más atinada fecha de siembra, considerando que la cantidad de radiación solar va muy a la mano con la duración del día, tomando en cuenta que para ajustar una fecha de siembra, así como una población de plantas por hectárea, siempre ha sido necesario hacer bastantes pruebas experimentales donde se pierde tiempo y recursos.

IV. BIBLIOGRAFIA

1. ALESSI, J.F. POWER. 1975. Effect of Plant Spacing on Phenological Development of early and Midseason Corn Hybrids in a Semi-arid Region. *Crop Science*. 15:179-182.
2. BIDWELL R., G.S. 1979. *Fisiología Vegetal*. Primera Edición en Español. ART. Editor, S.A. Progreso 202-Planta Alta, México, D.F. p. 157-161.
3. BISCOE, P.V. AND J. N. GALLAGHER. S.F. Weather, Dry Matter Production and Yield. U.S.A. p. 75-100.
4. CAMPBELL, G.S. 1986. *An Introduction to Environmental Biophysics*. Springer-Verlag. New York. U.S.A.
5. CANTU, I. y G.R. SALINAS. 1985. Influencia del Microambiente Sobre el Comportamiento del Frijol (Phaseolus vulgaris L.). En seis arreglos topológicos de asociación con maíz (Zea mays L.) *Fitotecnia*, México. 7:33-48.
6. CHANG, JEN-HU. 1981. Corn Yield In Relation to Photoperiod, Night Temperature, and Solar Radiation. *Agricultural Meteorology*. 24:253-262.
7. COULSON, C.L. 1985. Radiant Energy Conversion In Three Cultivars of *Phaseolus Vulgaris*. *Agricultural and Forest Meteorology*. 35:21-29.
8. FISCHER, R.A. 1985. Number of Kernels In Wheat. Crops and the Influence of Solar Radiation and Temperature. *J. Agric. SCI. Camb.* 105:447-461.
9. GREEN, C.F.; T.C.K. Dawkins and B. Hunter. 1985. Influence of Foliar Applied Chlormequat on Radiation Attenuation by Winter Barley Canopies. *J. Agric. SCI, Camb.* 105:213-216.
10. HALFACRE, R.G. Y J.A. BARDEN. 1984. *Horticultura* AGT Editor S.A. México.

11. JOHNSON, R.C., R.E. Witters and A.J. Cilta. 1981. A Apparent Photosynthesis, Evapotranspiration, and Light Penetration in two Contrasting Hard Red Winter Wheat Canopies. *Agronomy Journal*. 73:419-422.
12. JONES, M.B. 1988. El Microclima de las Plantas en: Técnicas en Fotosíntesis y Bioproductividad, Ediciones Futura, S.A. México.
13. LAMBERT, R.J. and R.R. Johnson. 1978. Leafangle, Tassel Morphology, and the Performance, of Maize Hybrids. *Crop. Science*. 18:499-502.
14. MAJOR, D.J., B.W. Beasley and R.I. Hamilton. 1991. Effect of Maize Naturity on Radiation-use Efficiency. *Agronomy Journal*. 83:895-903.
15. MANN, J.E., G.L. Curry, D.W. De Michele and D. N. Braker. 1980. Light Penetration In a Row crop with Random Plant Spacing. *Agronomy Journal*. 72:131-139.
16. MEEK, D.W., J.L. Hatfield, T.A. Howell, S.B. Idso and R.J. Reginato. 1984. A Generalized Relation Ship Between Photosynthetically Active Radiation and Solar Radiation. *Agronomy Journal*. 76:939-945.
17. MILLER, E.V. 1981. Fisiología Vegetal Traducción al Español. p. 63-68 y 236-243.
18. MORERO, A. 1976. La Evapotranspiración de los Cultivos. Aspectos Agrofísicos. CIDIAT. Merida, Venezuela.
19. MUCHOW, R.C., T.R. Sinclair and J.M. Bennett. 1990. Temperature and Solar Radiation, Effects on Potential Maize Yield Across Locations. *Agronomy Journal*. 82:338-343.
20. ORTIZ S., C. 1987. Elementos de Agrometeorología, Cuantitativa. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma de Chapingo, México. p. 4-6.
21. OTTMAN, M.J. and L.F. WELCH. 1988. Planting Patterns and Radiation Interception, Plant Nutrient Concentra-

- tion, and Yield In Corn. *Agronomy Journal* 81:167-174.
22. PASCALE, A.J. S.F. *Agricultural Biometeorology, and Bioclimatology. Interrelation Ships Between Crops and Environment. Agricultural Biometeorology. U.S.A. p. 183-212.*
 23. RODRIGUEZ Z., C. 1989. Análisis de Crecimiento y Tasas de Eficiencia Térmica, de Cuatro Cultivares de Girasol (*Helianthus annuus* L.). en Memorias de la Segunda Reunión Nacional de Agroclimatología. U.A.CH. México.
 24. ROMO G., J. Y R. ARTEAGA R. 1983, *Meteorología Agrícola, Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma de Capingo. México. p. 183, 184, 208-214 y 157-164.*
 25. RUSSELLE, M.P.; W.W. Wilhelm; R.A. Olson and J.A. Power. 1984. *Growth Analysis Based on Degree Days. Crop Science. 24:28-32.*
 26. SCURLOCK, J.M.O.; S.P. Long; D.O. Hall y J. Coombs. 1988. *Introducción en Técnicas en Fotosíntesis y Bioproductividad. Ediciones Futura, S.A. México.*
 27. TETIO-KAGHO, F. AND F.P. GARDNER. 1988. *Responses of Maize to Plant Population Density. I. Canopy Development, Light Relation Ships and Vegetative Growth. Agronomy Journal. 80:930-935.*
 28. TOLLENAAR, M. AND A. AGUILERA. 1992. *Radiation use Efficiency of and Old and Anew Maize Hybrid. Agronomy Journal. 84:536-541.*
 29. TOLLENAAR, M. AND T.W. BRUULSEMA. 1988. *Efficiency of Maize Dry Matter Production During Period of Complete Leaf Area. Expansiòn. Agronomy Journal. 80:580-585.*
 30. TORRES R., E. 1988. *Agrometeorología. México. Editorial Diana, S.A. p. 60-65.*
 31. TREJO, C. Y A. LARQUE. 1988. *Efecto del Déficit Hidri-*

co de Dos Materiales de Frijol (Phaseolus vulgaris L.) Durante la Etapa de Crecimiento, Comparación de sus Parámetros Agua-Planta. Sobretiro de Agrociencia. Colegio de Postgraduados. Montecillo. México.

32. WARREN. J. 1981. Analysis of Light Interception dy Single Plants. *Annals of Borany*. 48:502-505.
33. YAO, A.Y.M. 1981 Agricultural Climatology. In: World Survey of Climatology. General, Climatology. Elsevier Scientific Publishing Company. New York. U.S.A. p. 189-284.

APENDICE

Cuadro 1. Calidad y efecto de la Radiación Solar.

| BANDA | LONGITUD DE ONDA (nm) | SENSIBILIDAD ESPECTRAL AL OJO HUMANO | EFFECTO SOBRE LAS PLANTAS |
|------------|------------------------|--------------------------------------|--|
| UV-A | 280 | Invisible | Detrimental |
| UV-B | 320 | Invisible | Detrimental |
| Violeta | De 370 A 440 | 1 | Detrimental Fototrópico |
| Azul | De 440 A 500 | 1 21 | Cambios de viscosidad protoplásmica Asimilación de CO ₂ |
| Amarillo | De 550 570 A 590 | 67 98 81 | Asimilación de CO ₂ Incremento en vigor, tamaño y calidad de fruto |
| Anaranjada | De 600 A 630 | 57 44 | Asimilación de CO ₂ Germinación de semillas y crecimiento de plantas y brotes jóvenes |
| Roja | De 630 A 760 | 44 8 | Germinación de semillas Asimilación de CO ₂ |
| IR-A | 1400 | Invisible | Temperatura |
| IR-B | 3000 | Invisible | Temperatura |

nm = nanómetros