

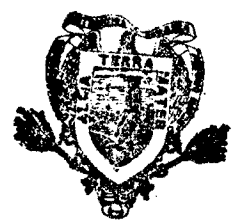
DISTRIBUCION DE LA RADIACION SOLAR EN EL CULTIVO DE MAIZ (*Zea mays* L.) BAJO DIFERENTES DENSIDADES DE POBLACION Y SU RELACION CON LA FOTOSINTESIS Y LA PRODUCTIVIDAD

CATALINA MORENO CONTRERAS

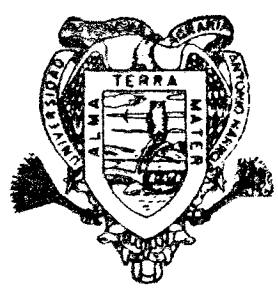
T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE: MAESTRO EN CIENCIAS EN RIEGO Y DRENAJE

Universidad Autónoma Agraria "ANTONIO NARRO"



BIBLIOTECA



Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro"

PROGRAMA DE GRADUADOS

Buнавista, Saltillo, Coah.

JUNIO DEL 2000

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

DISTRIBUCIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR EN EL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L.) BAJO DIFERENTES DENSIDADES DE POBLACIÓN Y SU RELACIÓN CON LA FOTOSÍNTESIS Y LA PRODUCTIVIDAD

TESIS

POR

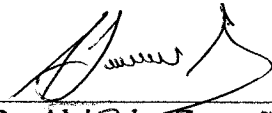
CATALINA MORENO CONTRERAS

Elaborada bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría y aprobada como requisito parcial, para optar al grado de

MAESTRO EN CIENCIAS
EN RIEGO Y DRENAJE

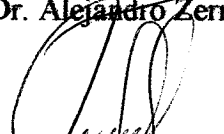
COMITÉ PARTICULAR

Asesor Principal:



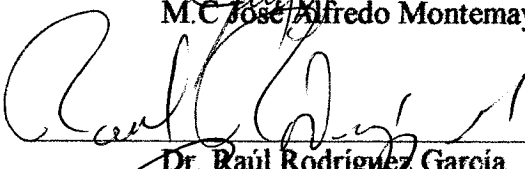
Dr. Alejandro Zermeño González

Asesor:

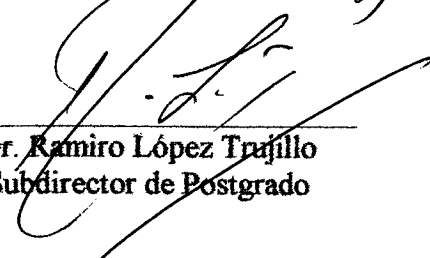


M.C. José Alfredo Montemayor Trejo

Asesor:



Dr. Raúl Rodríguez García



Dr. Ramiro López Trujillo
Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, Junio de 2000.

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento para las siguientes Instituciones y personas:

Al consejo Nacional de Ciencia Y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico proporcionado, durante mis estudios de Maestría.

A la universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por brindarme la oportunidad de formarme como profesionista, permitiéndome de esta manera lograr una meta más en mi vida.

Al INIFAP campo Saltillo por el apoyo otorgado para la realización de esta Investigación.

Les agradezco a mis asesores su importante y valiosa ayuda en la realización de este trabajo, ya que siempre me mostraron su gran calidad humana:

Dr. Alejandro Zermeño González

M.C. José Alfredo Montemayor Trejo

Dr. Raúl Rodríguez García

A todo el personal que labora en el Departamento de Riego y Drenaje, que de una u otra manera me han otorgado su apoyo y amistad, especialmente al Dr. J. Francisco Pizzani Z, Juan J. Rojas Rangel. Igualmente les expreso mi cariño a unas grandes personas: Ing. M.C. Luis Miguel Lasso M., Ing. M.C. Felipa Luna e Ing.M.C. Javier Torres A.

A las familias: Gutiérrez Cruz, Guevara García, Trejo Castañeda y Mejía García, les agradezco las muestras de cariño que he recibido por parte de ellas.

DEDICATORIAS

A dios por ocupar el primer lugar en mi escala de prioridades.

Con gran cariño y respeto a los autores de mis días:

Sr. T. Maximino Moreno Sánchez

Sra. Juana María Contreras López

Gracias por el cariño y apoyo que me han brindado, se los agradezco infinitamente. El motivo que genero a superarme proviene de una fuente de alicientes, esa fuente son ustedes dos.

Con cálido y profundo amor a mis hermanos y hermanas:

A todos y a cada uno ellos, les doy las gracias por hacerme feliz los días de mi vida, y por apoyarme sin escatimar una palabra de aliento o una muestra de cariño en el momento mas preciso. Los momentos maravillosos que hemos compartido y vividos juntos viven constantemente en mi corazón.

A mis cuñadas y sobrinos les doy igualmente las gracias, por el tiempo que hemos compartido juntos, fomentando nuestra amistad limpia y sincera.

Gracias por su maravillosa compañía: a mis compañeros de Generación: Fabiola, Matías de Jesús, Leonardo y Raúl.

La amistad es el más bello sentimiento y un tesoro incalculable, eso representan para mí: Esther, Susy, Berta L., Ignacio, Bety, Diana, Gloria, Juan J., Gerardo Q., Fernando S., Ma. Del Socorro, Annia, Esmeralda y a todos aquellos de alguna u otra manera me han apoyado.

COMPENDIO

**Distribución de la Radiación Solar en el Cultivo de Maíz (*Zea Mays* L.)
bajo Diferentes Densidades de Población y su Relación con la
Fotosíntesis y la Productividad**

POR

CATALINA MORENO CONTRERAS

MAESTRIA

RIEGO Y DRENAJE

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, JUNIO DE 2000.**

Dr. Alejandro Zermeño González – Asesor

Palabras claves: *Zea mays* L., maíz, radiación solar total, radiación fotosintética activa,
fotosíntesis, índice de área foliar, densidad de población

El objetivo de este estudio fue analizar el efecto de diferentes densidades de población del cultivo de maíz y su relación con la absorción y reflectancia de la radiación solar, y nivel de fotosíntesis. El trabajo se realizó en el Campo Experimental de (INIFAP) Saltillo, localizado en el ejido de Emiliano Zapata, Municipio de Arteaga

Coah. Para el análisis estadístico, se adoptó un diseño bloques al azar con 3 tratamientos y 6 repeticiones, las unidades experimentales consistieron en 8 surcos de 5 m de longitud, la siembra se realizó el 26 de julio de 1999, utilizando la variedad cafime. Se estableció una distancia entre plantas de 16 cm y tres distancias entre surcos: 50, 70 y 90 cm, lo cual resulta en 125,200, 89,518 y 69,375 plantas/ha.

La radiación solar se midió instalando 2 piranómetros, por encima del dosel del cultivo uno orientado hacia arriba para medir la radiación incidente y el otro hacia abajo para medir la radiación reflejada. Las mediciones se realizaron a diferentes horas del día y a diferentes días a lo largo del ciclo de desarrollo del cultivo. De igual forma se midió la radiación fotosintética activa utilizando 2 Quantum Sensors. El registro de datos se llevo a cabo con un Datlogger modelo CR7 de la Campbell Sci. El índice de radiación reflejada se obtuvo dividiendo la radiación reflejada por la radiación incidente mientras que los índices de absorptividad del sistema suelo- cobertura se obtuvieron como el resultado de restar la unidad a los índices de reflectividad. Estos índices de radiación se obtuvieron tanto para la radiación solar total, como para la radiación fotosintética activa.

El desarrollo y rendimiento del cultivo se evaluó realizando mediciones de altura de planta, altura a la primera mazorca, peso de follaje, peso de planta, peso de mazorca, peso de grano e índice de área foliar a través del ciclo vegetativo del cultivo.

Los resultados del trabajo indican que: el índice de reflectividad es menor entre las 12 y las 15 horas y aumenta de valor por la mañana y por la tarde. Mientras que el índice de absorptividad entre las 12 y 15 horas aumenta de valor. Encontrándose también

que en el tratamiento de 50 cm de espaciamiento entre surcos, los valores de reflectividad y absorptividad son más uniformes a través del día. También se encontró que el tratamiento de 70 cm de espaciamiento entre surcos muestra un índice de reflectividad más alto a las primeras horas de la mañana que el que se observa en los tratamientos de 50 y 90 cm. También se observó que los valores de reflectividad y absorptividad a la radiación fotosintética activa son más uniformes a través del día que los valores de reflectividad y absorptividad a la radiación solar total.

Los resultados obtenidos de fotosíntesis muestran que la fijación de CO_2 aumenta conforme la densidad de población disminuye, mientras que los valores de resistencia estomática, tienden a disminuir a medida que la densidad de población disminuye. En cuanto a las variables agronómicas evaluadas se encontró que los valores más altos los presenta el tratamiento con 50 cm de espaciamiento entre surcos. Los resultados indican que el incremento en la densidad de población no afectó el rendimiento de grano. Lo anterior se observó al analizar el rendimiento de grano en las diferentes densidades de población, encontrándose que los rendimientos aumentaron a medida que aumenta la densidad de población.

ABSTRACT

Corn Solar Radiation Distribution under Different Population Densities and its Relation to Photosynthesis and Productivity.

BY

CATALINA MORENO CONTRERAS

MASTER OF SCIENCE

IRRIGATION AND DRAINAGE

UNIVERSIDAD. AUTONOMA. AGRARIA. ANTONIO. NARRO

Buenavista, Saltillo Coahuila june 2000

Dr. Alejandro Zermeño Gonzalez-Adviser-

Key words: *Zea mays*, corn, total solar radiation, photosynthetic active radiation, photosynthesis, leaf area index, population density.

The objective of this study was to analyze the effect of different corn population densities and its relation to solar radiation distribution and the rate of photosynthesis. The field study was carried out at the (INIFAP) in Saltillo Coahuila, located in the Emiliano Zapata ranch that is an Arteaga municipality. The study was established in a

randomized blocks design with 3 treatment and 6 replications, experimental plots consisted of furrow of 5-m in length.

Sowing was established on july 26 1999 using the variety cafime, the 3 population densities were: for the 50-cm between furrows 125,200 plants/ha 89,518 plants/ha for the 70-cm between furrows and 69, 375 plants/ha for the 90-cm between furrows, the distance between plants was 16 cm in the 3 treatments.

2 piranometers were installed to measure the total solar radiation over the crop canopy, one was oriented upwards to measure the incident solar radiation, the other was oriented downwards to measure the reflected radiation. The measurements were performed at different hours during the day and day throughout the crop development season.

The photosynthetic active radiation was measured using 2 quantum sensors, which were oriented in a similar manner as the Pyranometers. The data register was collected with model CR7 from the Campbell Sci.

The reflectivity and absortivity indexes for both the total solar radiation and photosynthetic active radiation were obtained like this: the reflected radiation rate was obtained by dividing the reflected radiation by the incident radiation while the absortivity indexes of the foliage-soil system were computed by the difference between one and the reflectivity rates. The crop yield and develoment was assessed by doing

height plant measurements first ear height, foliage weight, plant weight, cob weight grain and leaf area index throughout the whole crop season.

The results obtained in this study indicate that the reflectivity index is lower between the 12 and 15 hours and increases its value in the morning and in the afternoon while the absorptivity index between the 12 and the 15 hours increases its value. It was also found that for the 50-cm distance between furrows, the reflectivity and absorptivity indexes are more uniform through the day. It was also observed that for 70-cm between furrows, shows a higher reflectivity index in the first hours of the morning in comparison to those observed in the 50- and 90-cm treatments.

The reflectivity and absorptivity values to the photosynthetic active radiation are more uniform throughout the day. That the ones considered to the total solar radiation.

The data of photosynthesis showed that the CO_2 fixation increases as the population density decreases, while the stomatal resistance values tend to diminish as the population decreases. With regard to the assessed agronomic variables, it was found that the higher values are observed in the treatment of 50-cm between furrows. The results indicate that the population density increment did not affect the maize crop yield. This might be tested when analyzing the different crop population densities, so it was determined that the mentioned yields increased as the population density increased since the 50-cm treatment presented the highest grain yield followed by the 70-cm treatment and finally the 90-cm treatment with the lowest grain yield per hectare.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
INDICE DE CUADROS	xii
INDICE DE FIGURAS	xiii
INTRODUCCIÓN	1
REVISION DE LITERATURA	3
Generalidades del Maíz	3
Origen y Distribución Geográfica.....	3
Características Botánicas y Taxonómicas.....	3
Requerimientos Climáticos y Edáficos.....	6
Manejo del Cultivo.....	7
Fases de Desarrollo del Maíz.....	9
Generalidades de la Radiación	11
Importancia de la Radiación Solar en las Plantas.....	13
Fotosíntesis.....	15
Radiación Fotosintética Activa.....	18
Índice de Área Foliar.....	20
Densidad de Población	23
MATERIALES Y METODOS	28
Ubicación del Área de Estudio	29
Suelo.....	29
Material Genético.....	47
Tratamientos y Diseño Experimental	30
Establecimiento y Manejo del Cultivo	31
Medición de Radiación.....	33
Medición de Fotosíntesis.....	34
Mediciones Agronómicas.....	35
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
CONCLUSIONES	51
RESUMEN	53
LITERATURA CITADA	57

INDICE DE CUADROS

Cuadro N°	Página
2.1 Principales plagas del cultivo de maíz (Centro de Investigaciones Agrarias 1980 y Terranova 1998).....	9
2.2 Principales enfermedades del cultivo de maíz (Centro de Investigaciones Agrarias 1980 y Terranova 1998)	9
3.1 Descripción de los tratamientos utilizados.....	30
3.2 Números de riego, fecha, intervalos y etapa fenológica del cultivo de maíz..	32
4.1 Valores del índice de reflectividad y absorptividad a la radiación solar (r_{sw} , a_{sw}), y a la radiación fotosintética activa (r_{PAR} , a_{PAR}), observadas en los tratamientos los 81 d.d.s.....	44
4.2 Valores del índice de reflectividad y absorptividad a la radiación solar (r_{sw} , a_{sw}), y a la radiación fotosintética activa (r_{PAR} , a_{PAR}), observadas en los tratamientos. a los 88 d.d.s.....	44
4.3 Valores de fijación de dióxido de carbono ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y resistencia estomatal (s m^{-1}) observados en los diferentes tratamientos el 16 de octubre (114 días después de siembra), entre las 11:00 y 12:00 hrs.....	46
4.4 Análisis de varianza y comparación de medias para la variable peso de planta en el cultivo de maíz.....	49
4.5 Análisis de varianza y comparación de medias para la variable peso de follaje en el cultivo de maíz.....	49
4.6 Análisis de varianza y comparación de medias para la variable peso de grano (kg/ha) en el cultivo de maíz.....	49
4.7 Análisis de varianza y comparación de medias para la variable índice de área foliar en el cultivo de maíz.....	49
4.8 Análisis de varianza y comparación de medias para la variable altura a la primera mazorca en el cultivo de maíz.....	50
4.9 Análisis de varianza y comparación de medias para la variable peso de mazorca en el cultivo de maíz.....	50
4.10 Análisis de varianza y comparación de medias para la variable altura de planta en el cultivo de maíz.....	50

INDICE DE FIGURAS

Figura N°	Página
3.1	29
4.1	37
4.2	38
4.3	39
4.4	41
4.5	42
4.6	43

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es el principal cultivo de la alimentación en México y quizá por encontrarlo tan integrado a nuestra vida cotidiana, nos sea difícil apreciar la importancia social y económica que representa para el país. El maíz es el cultivo más importante en la agricultura nacional y la mayoría de los campesinos que cuentan con una porción de tierra cultivable siembran este grano aunque sea para su propio consumo. Además, por la sorprendente capacidad de adaptación del maíz, por su importancia y arraigo dentro de la agricultura mexicana, su cultivo representa la principal fuente de trabajo y de subsistencia de los agricultores mexicanos.

El maíz tiene amplio aprovechamiento en el consumo humano y animal, así como en la industria. Se le puede explotar para uno u otro aspecto, o en varios, en forma de producto principal o subproducto. Por lo anterior, es y seguirá siendo uno de los cultivos más importantes de México. A pesar de esto, el país requiere de importar este grano, ya que todavía no es autosuficiente en su producción. Esto ha originado que la creciente demanda de alimentos, no haya podido ser satisfecha con la producción nacional, siendo necesario importar grandes cantidades de granos básicos con la consiguiente fuga de divisas. De la problemática anterior, debe considerarse que los sistemas de producción agrícola de temporal están fuertemente limitados por diferentes fenómenos meteorológicos como: altos valores de temperatura, radiación solar y

precipitaciones escasas. Varios autores han encontrado que las plantas en general, presentan respuestas diferenciales en su crecimiento y rendimiento a los cambios de densidad de población, ya que las distancias entre plantas modifican las relaciones de competencia entre ellos (Ortíz, *et al.* 1974). De igual manera también se ha observado que la mejor productividad de una cosecha se consigue aprovechando al máximo la luz.

Se han realizado estudios en donde se reporta el efecto del número de plantas por hectárea en la distribución de la radiación y se ha visto que la densidad de siembra tiene efectos directos sobre esta, ya que deficiencias de iluminación pueden darse en plantaciones muy densas, donde las hojas inferiores reciben menos radiación. Pero, por otra parte, si hay pocas plantas, parte de la radiación solar no se intercepta por el follaje del cultivo y la productividad del cultivo disminuye. Para analizar el efecto del incremento de la densidad de población en el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo, es necesario medir el efecto de la densidad de follaje en la absorción y reflectancia de la radiación solar, y de la tasa de fotosíntesis.

Los objetivos planteados para la presente investigación son los siguientes:

- ◆ Estudiar el efecto de diferentes densidades de población de maíz y su relación con la absorción y reflectancia de la radiación solar, y nivel de fotosíntesis del follaje.
- ◆ Analizar el efecto de diferentes densidades de población en el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo.

REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades del Maíz

Origen y Distribución Geográfica del Maíz

En el Nuevo Mundo es considerado el principal cereal domesticado y fue la base alimenticia de civilizaciones como la maya, azteca e inca. Las teorías genéticas sobre el origen del maíz son muy diversas, pero parece bastante claro que se origino como planta cultivada en algún lugar de América Central. Sin embargo y aunque su distribución geográfica no se conoce con exactitud, existen evidencias que lo sitúan en México con anterioridad al año 5000 A.C. También se cree que se origino en la zona Huasteca hace 6000 años. Las principales zonas de cultivo son: Estados Unidos, América Central, Argentina, Brasil, Europa suroriental, China, África del sur e Indonesia (Robles, 1990 y Terranova, 1995).

Características Botánicas y taxonómicas

Según Robles (1990), el maíz (*Zea mays* L.) está dentro de la siguiente clasificación taxonómica: Reino: Vegetal; División: Tracheophyta; Clase: Angiospermae; Sub-clase: Monocotyledoneae; Grupo : Glumiflorae, Orden: Graminales; Familia: Graminae; Tribu: Maydeae Genero : *Zea*; Especie : *mays*.

El maíz es una especie vegetal con hábito de crecimiento anual, su ciclo vegetativo tiene un rango muy amplio según las variedades, encontrando algunas tan precoces con alrededor de 80 días, hasta las más tardías con alrededor de 200 días desde la siembra hasta la cosecha. En general, las variedades de mayor rendimiento son de 100 a 140 días; menos de 100 días se obtiene poca producción de grano y/o de forraje verde o en base a materia seca y más de 140 días de ciclo vegetativo no son convenientes porque ocupan demasiado tiempo en el terreno. El periodo vegetativo del maíz está sujeto a las condiciones agroecológicas y climáticas predominantes (Robles,1990). Mientras Llanos (1984), la describe como una planta anual que llega a alcanzar hasta 5 m de altura, cuando lo normal es de 2 a 2.5 m. Muy robusta, su tallo es nudoso y macizo, presenta de 15 a 30 hojas alargadas y abrazadas (4 a 10 cm de ancho) por 35 a 50 cm de longitud y bordes ásperos.

La raíz primaria, o sea la que se desarrolla en la germinación de la semilla, tiene corta duración. Todo el sistema radical de la planta adulta es adventicio y en la mayoría de las variedades brota de la corona un cuerpo cónico, con él ápice hacia la parte inferior, formado por 6 a 10 entrenudos muy cortos. La forma y desarrollo del sistema radical varía de manera considerable según el tipo de propagación y las condiciones ambientales. La raíz alcanza una profundidad que varía desde pocos centímetros hasta 1m.

El tallo central del maíz es un eje formado por nudos y entrenudos, cuyo número y longitud varían notablemente. La parte inferior y subterránea del tallo, la corola, tiene entrenudos muy cortos, de los que salen las raíces principales y los tallos o brotes

laterales. En los entrenudos que siguen, en especial en las plantas jóvenes, hay una zona de crecimiento activo o intercalar situada en la parte inferior del entrenudo, de menos de 0,5 mm de ancho, en la que se produce nuevos tejidos. El grosor del tallo disminuye de abajo hacia arriba. Su sección es circular pero de la base hasta la inserción de la mazorca presenta una depresión que va haciéndose más profunda a medida que se aleja del suelo.

Este cereal tiene la hoja similar a la de otras gramínea; está constituida de vaina, cuello y lámina. La vaina es una estructura cilíndrica, abierta hasta la base, que sale de la parte superior del nudo. El cuello es la zona de transición entre la vaina envolvente y la lámina abierta. La lámina es una banda angosta y delgada hasta de 1.5m de largo por 10 cm de ancho, que termina en un ápice muy agudo.

El maíz es monoico, es decir, tiene flores masculinas y femeninas en la misma planta. Las flores son estaminadas o pistiladas y están en diferente lugar de la planta. Las flores estaminadas se encuentran dispuestas en espiguillas, estas últimas, se distribuyen en ramas de la inflorescencia conocida comúnmente como “espiga”. Las flores pistiladas se encuentran distribuidas en una inflorescencia, con un soporte central denominado “elote”. Como en el caso de las flores estaminadas, las pistiladas también se encuentran de dos en dos y esto explica que el número de hileras de la mazorca, siempre sea un número par, si es que el desarrollo es normal.

El fruto es botánicamente cariósipide conocido comúnmente como semilla o grano. Al contrario de la mayor parte de las gramíneas, en el maíz la espiga es compacta y está protegida por las hojas transformadas, que en la mayoría de los casos la cubren

por completo. El eje de inflorescencia o corozo se llama tusa en América del Sur, y elote en América Central y México.

Requerimientos Climáticos y Edáficos

La temperatura y la luminosidad influye directamente sobre el periodo vegetativo. Temperaturas inferiores a 13° C hacen que el maíz tenga crecimiento muy reducido, y mayores de 29°C ocasionan marchitez y muerte de la planta por la dificultad para absorber agua. En su ciclo vegetativo, los requerimientos hídricos son de 600 - 800 mm. No debe faltarle agua durante la germinación y la floración. En esta última etapa se presenta el máximo requerimiento de agua o sea 15 días antes del espigamiento hasta cuando la mazorca está completamente formada y llena. Unos días de déficit de agua, durante este período reducen la producción en 22 por ciento y de seis a ocho días de sequía hasta en 50 por ciento.

El cultivo de maíz se realiza en la mayoría de los países del mundo, precisamente por ser una especie vegetal que se adapta a condiciones ecológicas y edáficas muy diversas como resultado de su amplia gama, de variabilidad genética. El maíz requiere suelos fértiles, pero se adapta a una gran variedad de ellos; no obstante, son preferibles suelos de textura media, de buena fertilidad, bien drenados, estructura granular friable y suelta, con un pH entre 5.5 y 7 y pendientes bajas. La profundidad efectiva del perfil puede constituir un factor limitante; un horizonte o capa compacta o de condiciones hidromórficas pueden impedir la penetración de las raíces y ocasionar trastornos nutritivos o fisiológicos que se manifestarán en una disminución de la producción.

Manejo del Cultivo

Robles (1990), menciona que dentro de las actividades del manejo agronómico del cultivo, están las siguientes:

Preparación del terreno: dentro de esta actividad se deben realizar labores de barbecho, rastreo y nivelación.

Propagación y siembra: para alcanzar altos rendimientos en las siembras de maíz debe usarse semilla mejorada y certificada.

Raleo: consiste en arrancar o cortar manualmente algunas plantas con el propósito de ajustar la población por hectárea. Se hace entre los 20 y 30 días después de la siembra.

Aporque: consiste en acercar la tierra al tallo del maíz para dar mayor anclaje a la planta y propiciar el mejor aprovechamiento del fertilizante aplicado. Se hace entre los 40 y 50 días después de la siembra.

Riego: esta práctica se encuentra sujeta a diferentes factores que influyen en el rendimiento y en la calidad del maíz; entre otros, textura y estructuras del suelo, temperaturas, humedad del suelo, humedad relativa, precipitación pluvial, variedades, densidades de siembra, etcétera. Por lo tanto, lo más recomendable es determinar para las condiciones específicas de una región y para la variedad a sembrar, etc. En términos generales, para cualquier región productora de maíz, se puede recomendar un riego para

siembra, un riego al “ encañe”, un riego de floración y un último riego al formar granos con el endosperma en estado “ lechoso”, por ser éstas las principales épocas críticas durante el ciclo vegetativo del maíz.

Fertilización : la práctica de la fertilización, según se requiera, puede realizarse antes de la siembra, en el momento de la siembra, o después de la misma. De acuerdo con diferentes investigaciones, se ha encontrado en maíz los mejores resultados al aplicar en el momento de la siembra parte de nitrógeno, todo el fósforo y todo el potasio de la dosis del fertilizante, en la segunda labor de cultivo el resto del nitrógeno por ser este elemento el que menos se conserva en el terreno y para un mejor aprovechamiento por planta es recomendable fraccionar su aplicación. La necesidad tanto de elementos mayores como de menores es diferente según las regiones agrícolas y aun dentro de una misma región existen diferencias en el contenido de nutrimentos en el suelo.

Aplicación de Agroquímicos: la importancia del control de plagas y enfermedades es obvia, por los daños que causan a las plantas de maíz en las diferentes fases de su desarrollo, prácticamente existe peligro de daños parciales o totales, en casos extremos, desde el momento en que la semilla es colocada en el suelo al sembrar, hasta la época de cosecha. Durante la evolución orgánica del *Zea mays*, y antes de que el hombre lo aprovechara para su consumo, ya era dañado por plagas y enfermedades. Las aplicaciones se hacen periódicamente durante todo el ciclo del cultivo, con el fin de controlar las plagas y enfermedades. Las principales plagas y enfermedades así como el producto a utilizar, se describen en los cuadros 2.1 y 2.2.

Cuadro2.1. Principales plagas del cultivo de maíz (Centro de Investigaciones Agrarias, 1980 y Terranova 1998).

Plaga	Nombre Científico	Control
Cogollero del maíz	<i>Spodoptera frugiperda</i>	Sevín 5%
Trozadores	<i>Agrotis ipsilon Hufnagel</i>	Dieldrín 20%
Gusano de la mazorca	<i>Heliothis zea</i>	Carbofuran
Cucarroncitos de las hojas	<i>Diabrotica balteada</i>	Carbaryl
Hormiga ladrona	<i>Solenopsis geminata</i>	Prevención de semilla
Barrenador menor del tallo	<i>Elasmopalpus lignosellus</i>	Diazinon o Carbaryl
Cucarrón de las raíces	<i>Euethola bidentata</i>	Preparar bien el suelo
Áfidos	<i>Rhopalosiphum maidis</i>	Malathion o dimetoato
Minador de las hojas	<i>Agromyza parvicornis</i>	Azinfosmetil

Cuadro2.2. Principales Enfermedades el cultivo de maíz (Centro de Investigaciones Agrarias, 1980 y Terranova 1998).

Enfermedad	Nombre Científico	Control
Pudrición de semillas	<i>Aspergillus sp. y Alternarias sp.</i>	Des. de semilla
Pudrición de plántulas	<i>Fusarium moniliformis</i>	Des. de semilla
Pudrición de raíz	<i>Pythium sp., Tricoderme lignoreum</i>	Des. de semilla
Pudrición de mazorca	<i>Diplodia zeae Schw.</i>	Des. de semilla
Carbon de espiga	<i>Sphaceloteca reiliana Kuhn.</i>	Cvs. Resistentes
Roya de hoja	<i>Puccinia sorghi, Schw.</i>	Cvs. Resistentes
Tizon de hoja	<i>Helmintosporium spp.</i>	Cvs. Resistentes

Fases de desarrollo de maíz

Tanaka y Yamaguchi (1984), establecen que el proceso de crecimiento de las plantas de maíz puede ser dividido en las siguientes cuatro fases:

- ♦ Fase vegetativa Inicial: Brotan las hojas y posteriormente se desarrollan en sucesión acrópeta (de abajo hacia arriba). La producción de materia es lenta. Esta fase termina al iniciarse, ya sea la diferenciación de los órganos reproductivos o la elongación de los entrenudos, o bien en ambos casos.

- ◆ **Fase vegetativa activa:** Se desarrollan las hojas, el culmo y el primordio de los órganos reproductivos, primeramente ocurre un incremento activo del peso de las hojas y posteriormente del culmo. Esta fase termina con la emisión de los estigmas.

- ◆ **Fase inicial de llenado de grano:** El peso de las hojas y del culmo continúa incrementándose a una velocidad menor. Continúa el peso de las espatas y del raquis y el peso de los órganos se incrementa lentamente. Esta puede ser considerada como una fase transitoria entre la vegetativa y la del llenado de grano.

- ◆ **Fase del llenado activo de grano:** Se presenta un rápido incremento en el peso de los órganos que va acompañado por un ligero abatimiento en el peso de las hojas, culmo, espatas y raquis.

Torres (1984) menciona las fases fenológicas del cultivo del maíz y sus características:

Emergencia. El 50 por ciento de la superficie sembrada tiene plántulas.

Quinta Hoja. Cuando el 50 por ciento de las plantas inspeccionadas tengan cinco hojas.

Encañe (Novena Hoja). Cuando en las plantas marcadas hay cuatro hojas por encima del cordel y la novena hoja tiene un centímetro de longitud. La novena hoja y el encañe son simultáneos pero el encañe es más difícil de observar.

Espigamiento. Salida de la espiga del “interior” de la hoja superior y debe registrarse cuando el 50 por ciento de las plantas inspeccionadas haya salido alrededor de un centímetro de largo.

Floración. Apertura de las primeras flores y liberación del polen.

Elote. Cuando hay maíz tierno en el 50 por ciento de la plantación.

Madurez Fisiológica. Amarillamiento del follaje y hay mazorcas (maíz duro), en el 50 por ciento de la superficie cultivada.

Generalidades de la Radiación Solar

La energía que reciben las plantas proviene esencialmente del sol y representa una fuente para poder realizar su proceso fotosintético. Todas las manifestaciones climáticas de la atmósfera tienen su causa primaria en la energía solar recibida por la tierra. Esta energía viaja a través del espacio en forma de radiación electromagnética. La radiación solar se transmite como luz y energía en forma de ondas electromagnéticas cuyas longitudes de onda λ corresponden a las diferencias entre dos puntos correspondientes de ondas adyacentes (cm/onda) y en frecuencia ν que corresponden al número de ondas que pasan cada segundo por un punto determinado (onda/s) (Torres 1984). El conjunto de la radiación electromagnética tiene características ondulatorias y se desplaza a una misma velocidad de 3×10^8 m/s.

La energía emitida por el sol no permanece estática al llegar a la superficie terrestre, sino que está en constante movimiento y/o transformación. Una parte de la energía solar recibida por la tierra no es absorbida, sino que se refleja y vuelve a la atmósfera (albedo). La energía luminosa (luz visible) es absorbida por los pigmentos clorofílicos de las plantas verdes, y utilizada para realizar la fotosíntesis. La energía calorífica (rayos infrarrojos) es absorbida en parte por el agua de los tejidos vegetales, produciéndose el fenómeno de evaporación (transpiración); la otra parte es absorbida por el suelo calentándolo y evaporando el agua contenida en él.

La radiación neta es la cantidad de energía recibida sobre una superficie dada o también es la energía disponible para realizar un trabajo, el balance de radiación neta es expresada por $R_n = H + LE + G$. Esta R_n es positiva durante el día y esta compuesta por el flujo de calor sensible que es negativo, porque se aleja de la superficie del suelo y el calor latente de evaporación que también es negativo porque es el flujo de vapor de agua que se aleja de la superficie, el calor G almacenado en el suelo durante el día se pierde durante la noche (por regla general; no siempre), por esto se puede eliminar del balance diario de energía quedando para el día la expresión $R_n = H + LE$. Sin embargo durante la noche la radiación neta es negativa y por regla general los flujos tanto de calor sensible como de vapor de agua son positivos, ya que cambia de dirección, entonces se da la siguiente ecuación: $LE + H = R_n$

Importancia de la Radiación en las Plantas

La luminosidad tiene una importancia decisiva en todos los procesos vitales de los vegetales. Algunas funciones más importantes en el desarrollo de las plantas son debidas a la energía luminosa (Serrano, 1990). Es importante además de la calidad (longitud de onda), la cantidad (intensidad) del flujo de radiación, ya que la transferencia de vapor de agua en la transpiración, el consumo de CO₂ y el transporte de nutrimentos esta directamente correlacionados con la cantidad de radiación neta (Torres, 1984).

Todas las manifestaciones climáticas de la atmósfera tienen su causa primaria en la energía solar recibida por la tierra. Esta energía viaja a través del espacio en forma de radiación electromagnética. La radiación solar es el elemento climático o meteorológico más importante para las plantas, porque suministra la energía que requieren sus funciones vitales. También la radiación, es le motor que pone en marcha todos los fenómenos meteorológicos, porque de una manera indirecta es responsable de la acción que estos tienen sobre los cultivos. Según sea la longitud de onda absorbida por las plantas, sus efectos pueden ser dañinos ó letales, fisiológicos y térmicos. Las radiaciones visibles (0.380-0.760 μ m) juegan un papel fundamental en la síntesis de clorofila y el posterior proceso fotosintético, que permite a los vegetales sintetizar los compuestos orgánicos para su crecimiento y desarrollo. Las radiaciones infrarrojas o calóricas (mayores de 0.760 μ m) son las que elevan la temperatura ambiente y de los cuerpos sobre los que inciden.

Desde el punto de vista de la influencia de la radiación solar sobre las plantas, los aspectos más importantes que deben destacarse son: la intensidad, duración y calidad de la luz, mereciendo una atención especial la fotosíntesis, proceso principal en el crecimiento de las plantas, ligado íntimamente a la intensidad de la luz. Considerando la totalidad de la radiación solar, un 9 por ciento corresponde al ultravioleta y un 46 por ciento al infrarrojo. El 45 por ciento restante se encuentra en el espectro visible con una intensidad máxima en las proximidades de las $0.474\mu\text{m}$ (porción azul- amarillo del espectro).

Las plantas funcionan o “trabajan” con energía solar. Todas las plantas captan la energía del sol y la transforman en sustancias que directa o indirectamente alimentan a la mayoría de las otras formas de vida en la tierra. Debido a esto, el destino de una semilla germinada, o de una futura planta depende no solamente de la intensidad de la luz, si no también de la calidad de la luz que recibe la plántula, y de esta calidad depende el tamaño de la planta adulta, la cantidad de hojas, el principio de la floración, de la fructificación y de la senescencia, siendo de esta manera la luz la que determina todos los aspectos de la vida vegetal, según el proceso de “fotomorgénesis” (Zarca 1992). Por otra parte se ha comprobado que a valores diarios de radiación total en torno a 0.85 MJ m^{-2} son los umbrales mínimos para la floración y cuajado, siendo preferible mayor iluminación en menor período de tiempo, que iluminaciones más débiles durante más tiempo. En cuanto al manejo del cultivo, la densidad de población, el sistema de poda y entutorado deben optimizar la interceptación de radiación, debido a que su reducción implicaría una reducción lineal en la cosecha.

La radiación solar es la fuente de energía para la fotosíntesis, primer proceso en las plantas verdes, usado para convertir el CO₂ y agua en azúcares simples. Otras plantas convierten en el proceso inicial, el producto de fotosíntesis en materia seca incluyendo carbohidratos, proteínas y aceites. La radiación solar es aprovechada como fuente de energía por las plantas, solo cuando interactúan con las hojas. En una buena producción, con un adecuado abastecimiento de agua, la producción de materia seca es proporcional a la radiación interceptada por en el dosel. De esta manera, los componentes importantes de crecimiento y producción son la cantidad y duración de la planta en la superficie, útil durante la fotosíntesis (Daughtry *et al.*, 1982).

Fotosíntesis

La fotosíntesis es el proceso por el cual las plantas captan energía de la luz solar y la utilizan para fabricar moléculas orgánicas a partir de bióxido de carbono y agua. Durante este proceso se libera oxígeno. Por lo tanto, casi todos los organismos dependen en última instancia de este proceso para proveerse de energía, nutrimento y oxígeno. Sin la fotosíntesis, casi toda la vida de nuestro planeta se acabaría. Las células vegetales en las que se lleva a cabo la fotosíntesis tienen orgánulos especializados llamados cloroplastos, los cuales contienen clorofila y otros pigmentos, que absorben la luz de ciertas longitudes de onda. Los cloroplastos de una planta suelen estar concentrados en las células de las hojas que reciben la máxima cantidad de luz (Enciclopedia metódica, 1998).

La extensión en que se realiza la fotosíntesis en una planta depende de una serie de factores internos y externos. Los principales factores internos son la estructura de la hoja y su contenido en clorofila, la acumulación de los productos de la fotosíntesis en las células de las partes verdes de las plantas y la presencia de pequeñas cantidades de sales minerales. Los factores externos son la calidad o cantidad de la luz incidente en las hojas, la temperatura ambiente y la concentración de dióxido de carbono y oxígeno en la atmósfera envolvente.

La mayor eficacia fotosintética se obtienen en general, a baja intensidad luminosa, el aumento de la intensidad de la luz no produce ningún efecto en la velocidad de la fotosíntesis (saturación). A partir de cierta intensidad luminosa se verifica una detención del incremento de la fotosíntesis. Por otra parte, con un exceso de intensidad de luz se destruye el aparato fotosintético y se inactivan algunos enzimas, sustancias básicas en la actividad de todo ser vivo.

Casi nunca una deficiencia de radiación luminosa actúa como factor limitante. Defectos de iluminación pueden darse en plantaciones muy densas, donde las hojas inferiores reciben menos radiación. Pero, por otra parte, si hay pocas plantas, ésta podrían quemarse. En las plantaciones con una gran densidad de plantas, puede producirse un amarillamiento o caída de las hojas inferiores, una deficiente ramificación, la caída de ramas inferiores, la debilitación de los tallos, alargados y poco lignificado, con el consiguiente "encamado" a que esto da lugar en los cereales. Una deficiencia de radiación también puede afectar la fertilidad de determinadas plantas. Un ejemplo lo podemos hallar en el maíz, donde las inflorescencias femeninas se encuentran hacia la

mitad del tallo, y como consecuencia de la deficiencia de radiación algunos enzimas quedan inactivos.

Aproximadamente el 90 por ciento de la materia seca de las plantas superiores está formada por compuestos de carbono derivados de la fotosíntesis, siendo éste el proceso por el cual las plantas sintetizan compuestos orgánicos (hidratos de carbono) a partir de sustancias inorgánicas (dióxido de carbono y agua) en presencia de la luz solar. Si para la realización de la fotosíntesis se utilizara toda la energía procedente del sol, la producción vegetal sería muy alta; pero, por una parte, los pigmentos fotosintéticos solo absorben las longitudes de ondas comprendidas entre 400 y 700nm (corresponde a un 41 por ciento de la radiación global). Además, también, se pierde un 8 por ciento de la radiación total por efecto de la reflexión por la superficie foliar y otro 10 por ciento se inactiva al ser absorbida por pigmentos no fotosintéticos, paredes celulares, etc. A todas estas pérdidas debe sumarse la producida por la respiración de los vegetales, que viene a representar otro 33 por ciento. De este cálculo se deduce que el límite máximo teórico de productividad corresponde a una utilización bastante moderada de la energía global 12-13 por ciento, que en la práctica siempre es menor. Según el mecanismo interno de asimilación utilizado por las plantas, el exceso de radiación afecta con mayor o menor intensidad al proceso de fotosíntesis (Biblioteca Práctica Agrícola y Ganadera, 1990).

Pendleton y Seif 1968 realizaron investigaciones en Urbana Illinois sobre ángulo de hoja y la estructura de la planta en relación con el rendimiento y fotosíntesis aparente. Ellos indicaron que el ángulo de hoja puede afectar drásticamente la penetración de luz en un área compacta de follaje, debido a que las hojas superiores interceptan la mayor

proporción de la radiación solar, impidiendo de esta manera que la energía solar llegue con la misma intensidad en las hojas medias e inferiores de la planta.

Las radiaciones visibles (0.380-0.760 μ m) juegan un papel fundamental en la síntesis de clorofila y el posterior proceso fotosintético, que permite a los vegetales sintetizar los compuestos orgánicos para su crecimiento y desarrollo. Las radiaciones infrarrojas o calóricas (mayores de 0.760 μ m) son las que elevan la temperatura ambiente y de los cuerpos sobre los que inciden. Lulow (1982) establece algunas relaciones entre el microclima, las plantas y el agua, en el caso de la radiación solar menciona que es una fuerza que induce a la fotosíntesis y el crecimiento de las plantas. La cantidad de radiación recibida establece el límite máximo de la producción de biomasa y determina la distribución ecológica de las plantas ya que influye en su balance de energía y temperatura; determinar la radiación solar es muy importante a través de mediciones sobre el dosel de las plantas, lo que es relativamente fácil, aunque también es necesario medir dentro del dosel. Esto es porque la composición espectral de la radiación cambia cuando pasa el tejido clorofílico y, en menor grado cuando es reflejada. En segundo lugar hay una gran variabilidad de energía solar dentro de las comunidades vegetales, desde manchas del sol hasta sombras profundidad.

Radiación Fotosintética Activa

El aumento de la interceptación de la luz es un método para mejorar la utilización de la radiación. No toda la energía luminosa se convierte en energía química mediante el

proceso de la fotosíntesis. Uno de los motivos de esta baja transformación es la incompleta interceptación de la luz. La mejor productividad de una cosecha se consigue aprovechando al máximo la luz. Si en una masa vegetal las hojas superiores reciben más luz que las inferiores, disminuye la asimilación global de las plantas, porque en las hojas inferiores los procesos de respiración son superiores a los de la fotosíntesis, y no puede alcanzarse el punto de compensación, definido como aquel en que la fotosíntesis es igual a la respiración.

Tollenaar y Bruuselma (1988) detectaron que durante el desarrollo del cultivo de maíz había una disminución de radiación absorbida, pero fue debida principalmente a que disminuyó la radiación fotosintética activa. La densidad de población no tuvo efectos significativos sobre la absorción de radiación, ya que se detectó diferencias en el índice foliar (de 2 a 2.8 por ciento), en la radiación absorbida. En lo que respecta a la eficiencia de conversión se detectó que hubo influencia debido al desarrollo, pero no por la densidad de población. La producción de materia seca en el cultivo, en ausencia de otros factores limitantes, es determinada por la absorción de la radiación fotosintética activa por el cultivo y a la eficiencia en la cual la radiación fotosintética activa es absorbida y convertida en materia seca.

La competencia entre plantas de maíz (*Zea mays* L.) durante la interceptación de la radiación fotosintética activa (PAR) con una alta densidad de plantas puede ocasionar una reducción en el número de granos por espiga o provocar esterilidad de la misma. En un estudio conducido por Hasshemi-Dezfouly y J. Herbert, (1991) se observó la

respuesta del maíz, incrementado la densidad de población y manteniendo el cultivo bajo sombra. En la Estación Experimental Agrícola de la Universidad de Massachusetts, se sembró un híbrido de maíz con tres densidades de población 3, 7.5 y 12 plantas m^{-2} . El material para el sombreado fue polipropileno negro fabricado con 50 por ciento de penetración de luz, instalado 44 días después de emergencia de la planta. El valor de la fotosíntesis en espigas se reduce significativamente a causa de la densidad de población y por el sombreado en el cultivo. La reducción se puede atribuir a la reducción de la PAR en la alta densidad y en el cultivo sombreado ocasiono el decremento de la concentración de clorofila medida en las hojas de las plantas con alta densidad de población comparada con el no sombreado. El peso de grano fue reducido en un 28 por ciento con el incremento de la densidad. El sombreado no provoca decremento en el peso de grano. La influencia de la alta densidad y el sombreado es mínima en el número de grano por espiga.

Indice de Area Foliar

Se define como índice de área foliar (LAI) la superficie de las hojas de las plantas por m^2 de superficie del suelo. Si el cociente es bajo, se está aprovechando muy poco terreno. Si el cociente es muy alto, disminuye la productividad. Para que está sea máxima existe un valor óptimo, que depende de los cultivos, pero que acostumbra a ser aproximadamente de 4 (es decir, 4 m^2 de hojas por 1 m^2 de suelo). Para aumentar la interceptación de la luz por todas las hojas, se deben realizar siembras espesas y uniformes.

La distribución del área foliar es determinada por la radiación interceptada en la fotosíntesis. En un estudio realizado por Dwyer *et al.*, (1992) se desarrollo un método de análisis en donde se midió verticalmente la distribución del área foliar en el dosel de maíz (*Zea mays* L.). Una polinomial de tercer orden describe exactamente la relación entre el índice de área foliar (LAI) y altura de planta (ambos fueron normalizados con respecto a su máximo) con un rango normal ($r^2 > .85$) y con un espesor de hojas que permitió analizar líneas de plantas durante inicio de llenado de grano a etapa final del cultivo. La forma de la polinomial refleja en forma individual la curva de área foliar contra la curva del número de hoja, espesor del área foliar a la mitad del dosel. Cuando se marca la posición de la espiga en la polinomial, la proporción de área foliar antes de espigamiento es comparada más fácilmente entre las líneas. La proporción total de índice foliar antes de espigamiento vario desde 0.52 a 0.83 en 1986 y desde 0.63 a 0.86 en 1987. El rango de LAI real antes de espigamiento es relativamente bajo: de 2.0 a 3.2 en todos los análisis que permitieron las líneas. El análisis descrito quiere facilitar la comparación de la posición de la espiga y la distribución del área foliar en diferentes líneas de plantas y manejo de prácticas en el cultivo.

El índice de área foliar (LAI) y la distribución de esta dentro del dosel de maíz estan determinadas especialmente por factores, como el total de interceptación de luz, la cual afecta a: fotosíntesis, transpiración y acumulación de materia seca (Pearce *et al.*, 1967; Lieth and Reynolds, 1984). La distribución vertical del área foliar es determinada por el tamaño de hoja, ángulo de hoja, y longitud de internudo. El concepto de planta optima, detallada durante fotosíntesis, crecimiento y cosecha de grano fue introducido por Donald (1968). Mock y Pearce (1975) ellos definen un IAF ideal, menor de 4 en el

cultivo de maíz, con una adecuada orientación de hojas tanto vertical como horizontal antes de espigamiento, ya que antes de esta etapa, hay una máxima interceptación de luz en todo el dosel. Otra consideración que determina la distribución del área foliar optima durante la fotosíntesis, crecimiento y cosecha del grano es comparando valores de fotosíntesis a diferentes niveles del dosel. Las hojas que están abajo de la espiga son mayores y más homogéneas que los arriba del dosel, y tiene valores uniformes más bajos cuando se exponen a la máxima luz solar (Dwyer and Stewart, 1986).

Bajo un buen manejo agronómico que incluya buen riego, fertilización y control de plagas y enfermedades, el rendimiento de un cultivo será función de la acumulación neta de bióxido de carbono a través de su ciclo de crecimiento. A su vez es función de la tasa de absorción de la radiación solar y la eficiencia de transformación de dicha energía para la fijación de moléculas de CO₂. Varias investigaciones (Brougham, 1956; Shibles and Weber 1965; Pearce *et al* 1965) han mostrado que el rendimiento máximo de un determinado cultivo esta en función directa de su índice de área foliar optimo, el cual es función de la densidad de población. A valores menores o mayores de este índice de área foliar, el rendimiento del cultivo decrece. Este índice de área foliar optimo representa la mínima densidad de follaje para interceptar el 95 por ciento de la radiación solar incidente.

A valores menores del índice del área foliar optimo, parte de la radiación solar no será interceptada por el follaje, mientras que para valores mayores, la relación de follaje sombreado se incrementa, la relación fotosíntesis-respiración disminuye y el rendimiento decrece. Andrade *et al.*, (1993) encontraron que el rendimiento de granos de

maíz por planta disminuye a medida que la densidad de población se incrementa por encima del valor óptimo.

Densidad de Población

Diversos autores han encontrado que la densidad de población en maíz ha sido reconocida como uno de los factores más importantes que influyen en la producción de grano. Las plantas en general presentan respuestas diferenciales en su crecimiento y rendimiento a los cambios de densidad de población, ya que las distancias entre plantas modifican las relaciones de competencia entre ellos (Ortíz, *et al.* 1974).

Robles (1990), menciona que tanto en siembras en escala comercial como en experimentos bien realizados, se han obtenido bajos rendimientos de maíz respecto a grano y/o forraje cuando no se usa la densidad óptima de población. Sin embargo, cada región agrícola, de acuerdo con sus condiciones ecológicas y edáficas y según la variedad que se vaya a sembrar, requerirá de una población óptima, en su número de plantas, por unidad de superficie, que produzca el máximo de rendimiento de grano o de forraje y la mejor calidad bromatológica del último. La densidad óptima de siembra dependerá de la distancia entre surcos y la distancia entre plantas. En maíz por lo general, se usa la distancia de 92 cm entre surcos, lo que facilita la determinación de la densidad óptima de siembra al considerar sólo la variable distancia entre plantas.

La competencia por luz no es únicamente entre especies o entre plantas, sino también entre hojas, puesto que éstas descansan una sobre otra, entonces, la depresión

del rango fotosintético de la hoja inferior será la misma, ya que la hoja superior sea de la misma planta o de la vecina. Esta competencia es esencialmente evidente en un cultivo denso, donde las hojas de las plantas están entrelazadas.

Hawkins y Cooper (1981), mostraron que el número de granos de maíz por planta cosechada, son similares a los valores reportados de granos en crecimiento en el periodo de floración. Ellos demostraron esas relaciones mejor cuando el crecimiento se evalúa durante el desarrollo de la planta. Finalmente el número de granos en maíz es determinado por la cantidad de la fotosíntesis producida en el grano en el periodo de floración. La cantidad de radiación interceptada es crítica en el periodo de formación de grano (Fischer, 1985; Kiniry y Ritchie, 1985; Aluko y Fischer, 1988; Early *et al.*, 1967; Grant, 1989).

El empleo de altas densidades de siembra es una técnica para incrementar la cosecha de grano por unidad de área. El espacio por planta decrece con el incremento de la densidad de planta, la interceptación total de luz por el dosel es mayor y la producción total aumenta (Karlen and Camp, 1985). La reducción en la cosecha de grano en la alta densidad de siembra es debido en parte a que aumenta la esterilidad en la espiga (Buren *et al.*, 1974; Daynard and Muldoon, 1983) y decrece el número de granos por espiga (Iremiren and Milbourn, 1980; Tetio-Kagbo and Gardner, 1988) o por ambos. Una reducción en el número de granos por espiga puede resultar por flores formadas antes de floración, por pobre polinización y por aborto de granos después de fertilización.

Investigaciones realizadas por Collin (1965) demuestran que al aumentar la densidad de siembra se reduce significativamente el desarrollo y crecimiento de varios caracteres como: altura de la planta, altura de la mazorca, tamaño de la mazorca y una tendencia lineal disminuyendo la longitud y ancho de la hoja, a sí mismo, se incrementa el número de plantas sin mazorca. Robinson y Murphy (1972) reportaron que a densidades de siembra altas aumenta el rendimiento en forraje, pero reducen la cantidad y calidad de grano.

Fischeck y Aufhammer (1971), en un experimento de campo en Hymaría (Alemania Occidental) con variedades de maíz sembrados a poblaciones de 51, 68, 77 y 102 mil plantas/ha. Demostraron que la altura se incrementa con el aumento de población. El peso de grano decrece a medida que se aumenta la densidad de siembra, el principal factor que efecto la producción fue la Densidad de siembra. La competencia es un fenómeno complejo sobre todo al analizar varios factores a la vez. Los factores por los cuales la competencia puede ocurrir son: agua, nutrimentos, luz, oxígeno y CO₂. En la fase reproductiva se agregan los agentes polinizadores y la densidad de siembra. Hay otros factores que afectan el crecimiento como temperatura, y humedad relativa, que afectan a la comunicad en conjunto, siendo más difíciles de detectar.

Torres (1992), trabajando con densidades de población en el cultivo de maíz encontró que a densidades altas, la interacción genotipo- ambiente, hace que el fenotipo, así como la heredabilidad, cambie en algo sus magnitudes, así mismo reporta que a densidades bajas las plantas presentan una mejor calidad de los componentes del

rendimiento como es mayor anchura de grano, espesor de grano, número de hileras y peso de la mazorca.

Llanos (1984) menciona que la densidad de plantas esta directamente relacionada con el rendimiento del maíz. El mejoramiento de los híbridos también es importante en el incremento de los rendimientos, los híbridos más recientes están adaptados a mayores densidades de plantas y altas fertilizaciones. La densidad de siembra viene dada por la distancia entre las plantas en la línea y la separación entre líneas, lo anterior esta considerado como la densidad teórica de la plantación.

La densidad de población es también uno de los factores que deben tomarse en cuenta para incrementar los rendimientos en los diferentes cultivos y puede ser manejada de acuerdo a las condiciones edáficas y ambientales de cada región junto con el tipo de variedad a probar. Así, el rendimiento de semilla por hectárea se incrementa al aumentar la densidad de población hasta llegar a su punto óptimo, cuyo valor depende del genotipo, de la distancia entre surcos y la disponibilidad del agua en el suelo (Brown *et al.*, 1980). Delorit y Ahlgren (1983), especifican que la densidad de siembra para el cultivo de maíz está determinada por la fertilidad del suelo, cantidad de humedad disponible, variedad cultivada, porcentaje de germinación y el objeto para lo cual se siembra.

Gordon *et al.*, (1993), evaluando materiales de maíz con densidades altas y bajas encontraron que a medida que se reduce la densidad, mejora la sincronía floral es decir, se redujo los días entre las dos floraciones, y además el número de mazorcas por planta

tiende a incrementar. Por su parte Wilson y Allison (1988) reportaron que la antesis se retarda a densidades altas debido a la competencia por nutrimentos.

Densidades de población altas trae como consecuencia un incremento en la altura de planta y menos producción de mazorca, además decrece la longitud y diámetro de la misma así como el espesor del grano (El-Lankany y Rusell, 1971). Rutger (1971), trabajando con tres densidades de población 37, 62, 86 mil plantas por hectárea en siete cruza simples y sus progenitores, observó que las líneas responden más al incremento de la densidad que las cruza simples, ya que al variar de 37 a 86 mil plantas el rendimiento se incremento en 48 por ciento de las primeras, mientras que en las segundas solo alcanzó un 37 por ciento. Por otro lado con densidad de 86 mil plantas tanto el tamaño de la mazorca como el grano fueron pequeños, concluyendo que una densidad de 62 mil plantas es suficientemente alta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del Área de Estudio

El trabajo se llevó a cabo en el Campo Experimental de Saltillo (CESAL) del INIFAP, localizado en el ejido de Emiliano Zapata, Municipio de Arteaga Coah.; esta localidad registra una precipitación media anual de 400 mm, los meses lluviosos son agosto y septiembre (Figura 3.1), el clima es templado subhúmedo con una temperatura máxima promedio de 30.7 C° y una mínima promedio de 10C°. La altura sobre el nivel de mar es de 2040m, el periodo libre de heladas es desde abril a septiembre, lo que representa un total de 180 días. Geográficamente se encuentra a: 26° 16' de latitud norte, 100° 46' de longitud oeste.

El clima en la región según el sistema de clasificación Koppen (1936) modificado por García (1981), es del tipo BSo (h') W (e') el cual pertenece al grupo de los climas secos o estepario siendo el más seco de su tipo, muy cálido, con una temperatura media anual de 22.8° C, siendo extremosos en los meses de invierno.

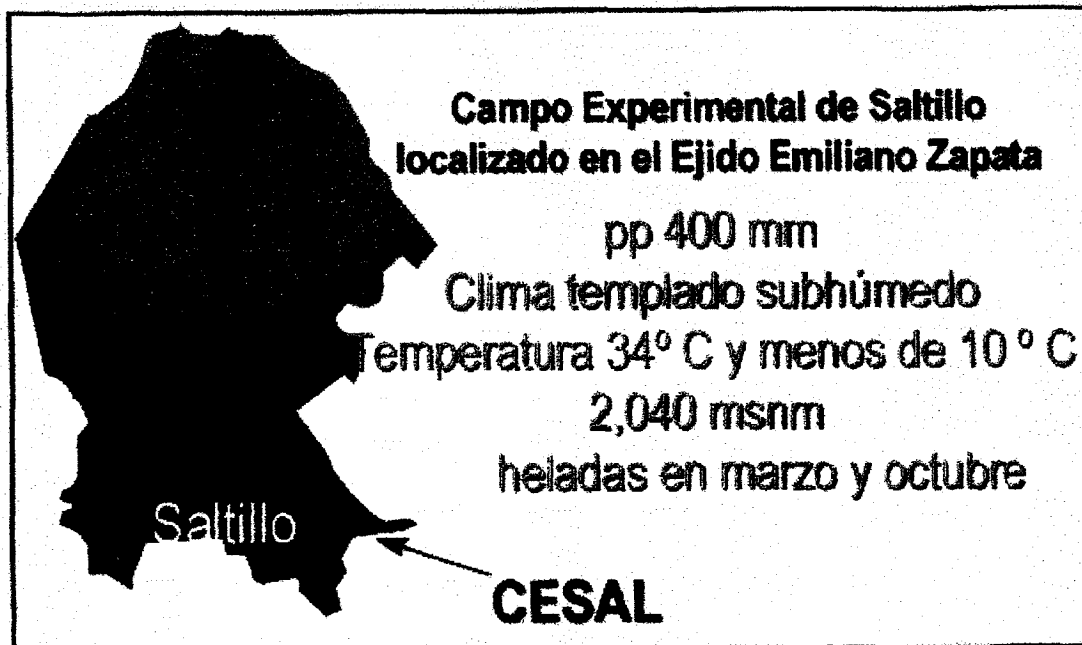


Figura 3.1. Ubicación del sitio experimental (CESAL).

Suelo

En su totalidad en la Sierra de Arteaga, el origen de los suelos está formado a partir de rocas sedimentarias del tipo lutita-arenisca, así como conglomerados, lo cual provoca en los terrenos con pendientes pronunciadas suelos delgados en su mayoría. En los valles predominan suelos de tipo aluvial. El suelo de la región en los valles, es generalmente rico en materia orgánica, existiendo migajones arcillosos en los terrenos cercanos a las laderas. Respecto a la textura del suelo, predominan los franco-arenosos hasta 60 cm, son pobres en nitrógeno. Tienen una estructura que se puede clasificar de dispersa a deteriorada por el exceso de laboreo. Los suelos son ricos en potasio y calcio y pobres en hierro, manganeso, y en algunos casos boro, la reacción es alcalina.

Material Genético Utilizado

Se utilizó la variedad Cafime, la cual se desarrolló en el Campo Experimental Francisco I. Madero en el Estado de Durango, de ahí su nombre; fue formado por selección y estabilización de un compuesto en el que intervinieron 14 cruza simples FI, formadas con líneas derivadas de la variedad bolita 422. Este material fue liberado por el Instituto de Investigaciones Agrícolas (IIA), en 1958, tiene una altura de 1.7 m, es susceptible a enfermedades foliares (*Puccinia sorghi*) bajo condiciones de alta humedad, los días a floración son de 55, alcanza su madurez fisiológica en un periodo de 105 a 110 días, tienen un rendimiento potencial de 6 ton/ha, dentro de otras características no ahija y resiste al acame. Las mazorcas son cónicas y tamaño medio. El grano es de color blanco y semiduro. Es considerada como una de las variedades más precoces que existen actualmente.

Tratamientos y Diseño Experimental

Las parcelas se establecieron en el campo con un diseño en bloques al azar con 3 tratamientos y 6 repeticiones, las unidades experimentales consistieron en 8 surcos de 5 m de longitud, las evaluaciones de desarrollo y rendimiento se realizaron en los 3 surcos centrales. En el Cuadro 3.1 se describen las características de los tratamientos evaluados.

Cuadro 3.1. Descripción de los tratamientos utilizados.

Tratamientos	Distancia entre Plantas (m)	Distancia entre surco (cm)	Plantas/ha
1	0.16	0.50	125,200
2	0.16	0.70	89,518
3	0.16	0.90	69,375

Establecimiento y Manejo del Cultivo

Preparación del Terreno

El presente trabajo fue establecido bajo condiciones de riego en el ciclo agrícola verano - otoño de 1999. La preparación del terreno consistió en: barbecho, rastra, nivelación y surcado.

Siembra

La siembra se realizó manualmente en suelo húmedo el día 26 de junio de 1999, depositando la semilla a 5 cm de profundidad, a una distancia entre plantas de 0.16 m para todos los tratamientos, variando la distancia en surco.

Riego

A lo largo del ciclo vegetativo del cultivo se aplicaron cinco riegos, mediante un sistema de riego por aspersión. Los riegos fueron proporcionados en el momento que el

cultivo requería de agua, de tal manera que el agua no fuera un factor limitante en el desarrollo del cultivo. En el Cuadro 3.2 se muestra el número de riegos, fecha de riego, intervalos en días entre estos y etapa fenológica al momento del riego.

Cuadro 3.2. Número de riego, fecha, intervalos y estadios del cultivo de maíz.

No. de Riegos	Fecha días después de siembra	Intervalos entre Riegos En días	Estadios
1	14	-	Vegetativo
2	33	19	Vegetativo
3	49	16	Vegetativo
4	84	35	Reproducción
5	98	14	Madurez

En el cuadro anterior se observa que algunos riegos se aplicaron en un tiempo muy espaciado entre uno y otro, el motivo de esto, fue la presencia de precipitaciones durante el ciclo vegetativo del cultivo, lo cual repuso la humedad del suelo.

Fertilización

En función de los estudios de suelos realizados por el INIFAP para el área de estudio la dosis recomendada es 150-100-50 N, P, K respectivamente. Se realizaron dos aplicaciones, una al momento de siembra, en donde se aplicó 50 unidades de nitrógeno y 100 unidades de fósforo, la segunda aplicación fue a los 64 días después de siembra y se aplicaron las 100 unidades restantes de nitrógeno y 50 unidades de potasio

Control de Malezas

Con la finalidad de tener un cultivo limpio y evitar competencia por agua, luz y nutrientes, se controlaron las malezas en forma manual.

Control De Plagas y Enfermedades

Se detectó la presencia del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) a los 68 días después de la siembra cuando el cultivo se encontraba en la etapa de floración, este se controló aplicando un insecticida piretroide a base de i.a lambda cyhalotrina, a una dosis 200cc³/ ha. No se detectó la presencia de enfermedades durante el desarrollo del cultivo.

Cosecha

La cosecha se realizó en forma manual, el día 12 de noviembre de 1999. Las mazorcas cosechadas fueron tomadas de 10 plantas representativas en cada repetición, de los surcos centrales de la parcela útil, después de realizar el promedio para cada tratamiento, las mazorcas cosechadas fueron secadas en estufa, para proceder al desgrane.

Mediciones de Radiación

Se evaluó tanto la radiación solar total (directa más difusa) así como también la radiación fotosintética activa "PAR" (0.400 a 700 μm de longitud de onda) en una repetición de cada tratamiento. Para la medición de la radiación solar se utilizaron 2 piranómetros. Las mediciones se realizaron a diferentes horas del día a lo largo del ciclo del desarrollo del cultivo. El registro de datos se llevó a cabo con un datlogger modelo CR7 de la Campbell Sci. Los Silicon Pyranometers se ubicaron uno orientado hacia arriba, para medir la radiación incidente, y el otro hacia abajo para medir la radiación reflejada. De igual forma se midió la radiación fotosintética activa, utilizando 2 Quantum Sensors. Para la obtención de los índices de reflectancia e índice de absorción a la radiación solar total y a la radiación fotosintética activa fue necesario hacer lo siguiente: el índice de radiación reflejada se obtuvo dividiendo la radiación reflejada por la radiación incidente mientras que los índices de absorción del sistema suelo- cobertura se obtuvieron como el resultado de restar la unidad a los índices de reflectividad. Estos índices de radiación se obtuvieron tanto para la radiación solar total, como para la radiación fotosintética activa.

Mediación de Fotosíntesis

Con la finalidad de observar la relación entre la tasa de fotosíntesis y la magnitud de radiación que llega al follaje del cultivo, se realizaron mediciones de fotosíntesis tomando cuatro hojas por tratamiento, las lecturas se tomaron el 16 de octubre de 1999

(114 días después de siembra). El equipo utilizado para tomar las lecturas de fotosíntesis fue un Sistema de Medición Portátil LI-COR modelo LI 6000.

Mediciones Agronómicas

Las variables agronómicas evaluadas fueron:

Altura de planta, altura a la primera mazorca, peso de follaje, peso de la planta, peso de mazorca, peso de grano o rendimiento e índice de área foliar. Las lecturas de las dos primeras variables se tomaron a los 103 días después de la siembra. El peso de planta, follaje, peso de mazorca y rendimiento, fueron evaluado a los 140 días después de la siembra. Para la medición de estas variables, se tomaron 10 plantas de los surcos centrales de cada parcela útil.

Para la medición del índice de área foliar se realizó un muestreo el día 5 de octubre de 1999, a los 103 después de siembra, para esto, se tomaron 5 plantas por parcela útil para la determinación del área foliar. El área foliar se determino sumando el área de cada una de las hojas de la planta. El área de cada hoja se obtuvo multiplicando la longitud y el ancho de la hoja, por un factor de 0.75. Una vez obtenida el área foliar por planta se extrapoló al número de plantas por metro cuadrado, para así obtener el índice de área foliar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este trabajo se relacionan directamente con la influencia de los índices de reflectividad y absorptividad a la radiación solar total y a la radiación fotosintética activa con diferentes densidades de población en el cultivo de maíz, así como el análisis de variables de respuesta del cultivo. Debido a problemas adversos al momento del establecimiento del cultivo, la fecha de siembra se retardo, lo cual resulto en algunos daños por heladas, repercutiendo o afectando el desarrollo y rendimiento del cultivo en los diferentes tratamientos.

Radiación Total y Radiación Fotosintética Activa

En las figuras 4.1, 4.2 y 4.3 se muestran los índice de reflectividad (r_{sw}) y absorptividad (a_{sw}) a la radiación solar en los tres diferentes tratamientos (50, 70 y 90 cm de espaciamento entre surcos), los cuales corresponden a los días 88, 95 y 109 días después de siembra. En los tres tratamientos se observa que el índice de reflectividad es menor entre las 12 y 15 horas y aumenta de valor por la mañana y por la tarde. Además se observa que los índices de r_{sw} y a_{sw} en el tratamiento de 50 cm de espaciamento entre surcos (Figura 4.1) son más uniformes a través del día que en los tratamientos de 70 y 90 cm. Note que en el lapso de tiempo de las 12 a las 15 horas, el r_{sw} en el mismo tratamiento de 50 cm de espaciamento entre surcos es ligeramente más pequeño que en

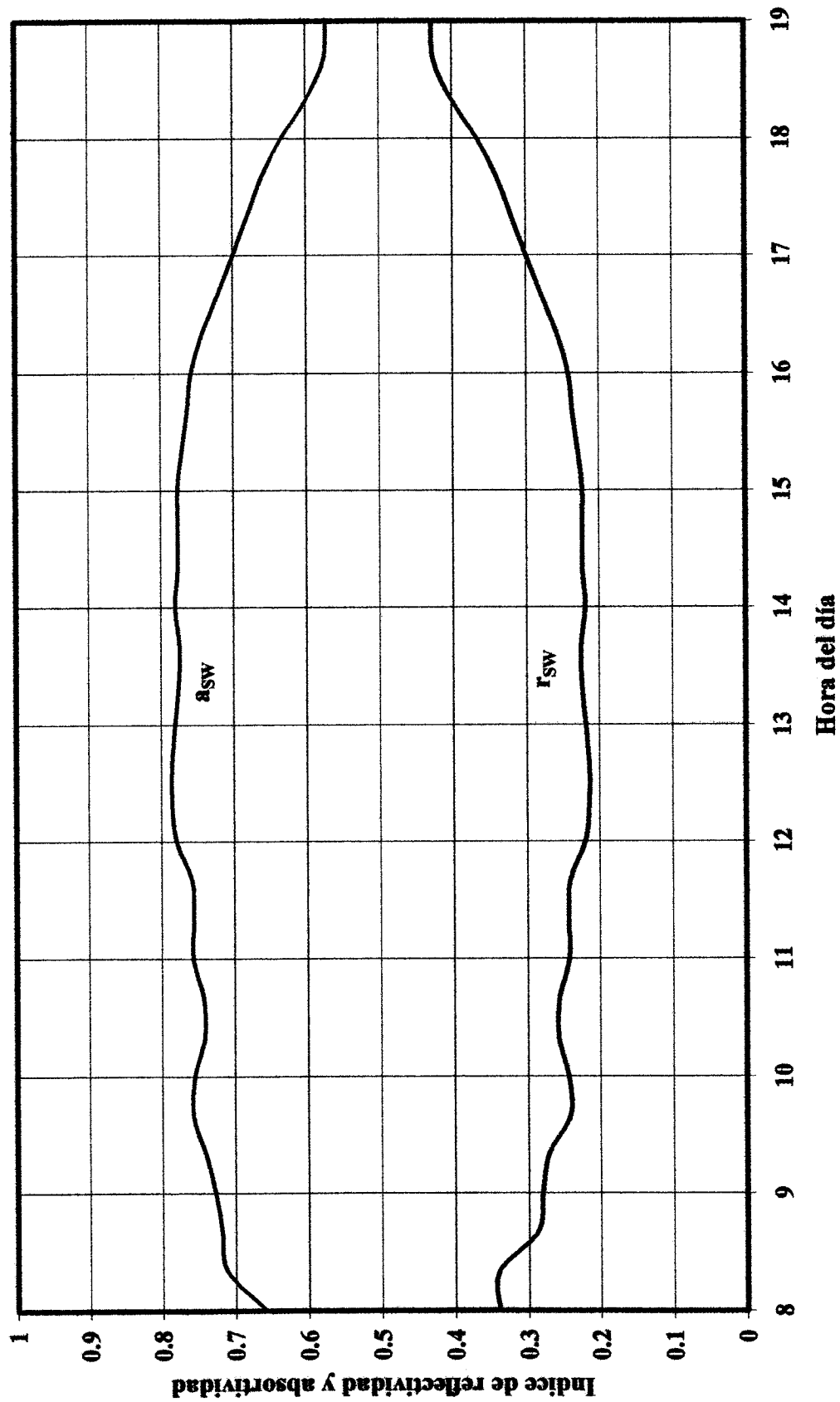


Figura 4.1. Evolución del índice de reflectividad (r_{sw}) y absorptividad (a_{sw}) a la radiación solar en el tratamiento de 50 cm de espaciamiento entre surcos, observados el día 263 del año, 88 días después de siembra.

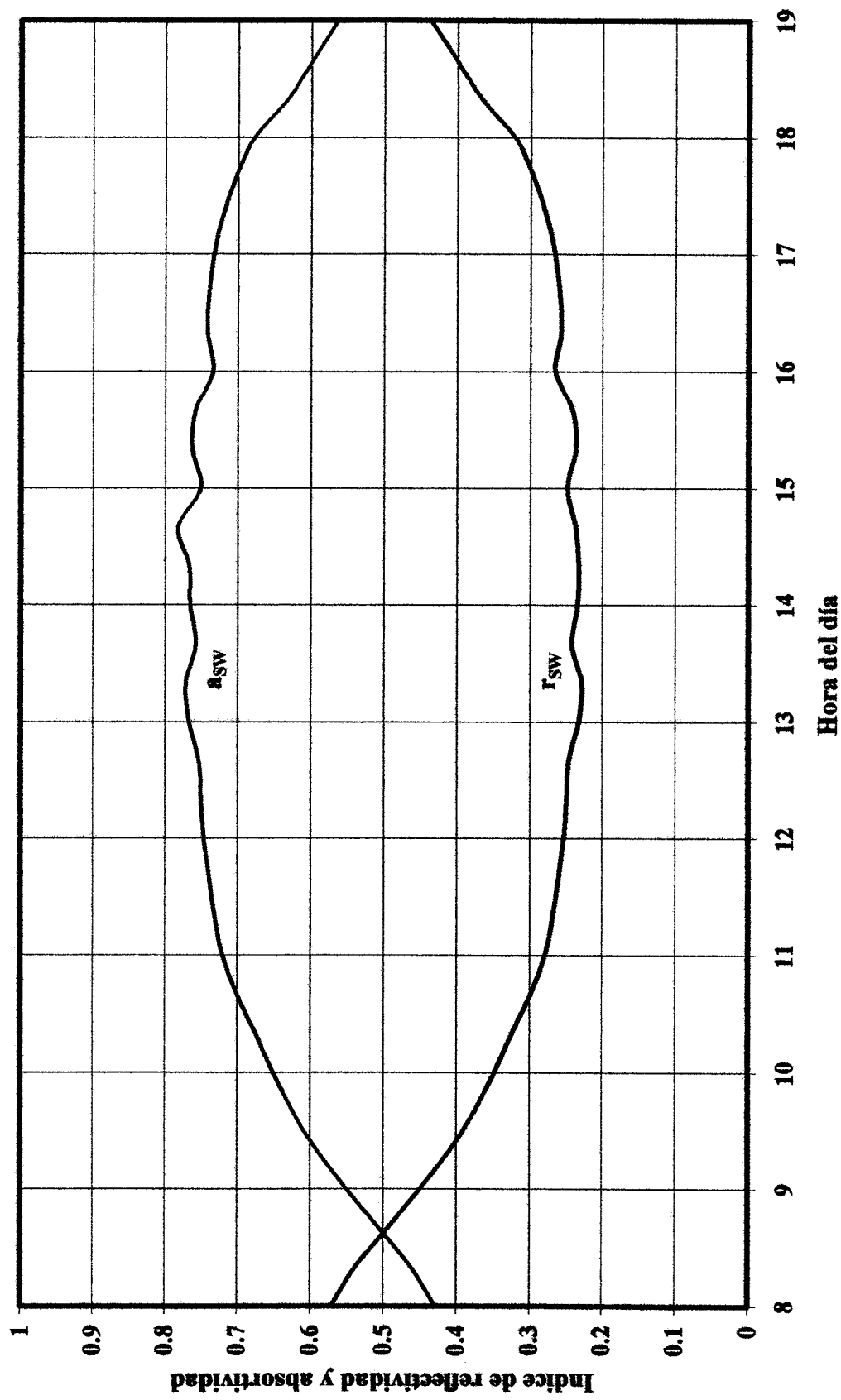


Figura 4.2. Evolución del índice de reflectividad (r_{sw}) y absorptividad (a_{sw}) a la radiación solar en el tratamiento de 70cm de espaciamiento entre surcos, observados el día 270 del año, 95 días después de siembra.

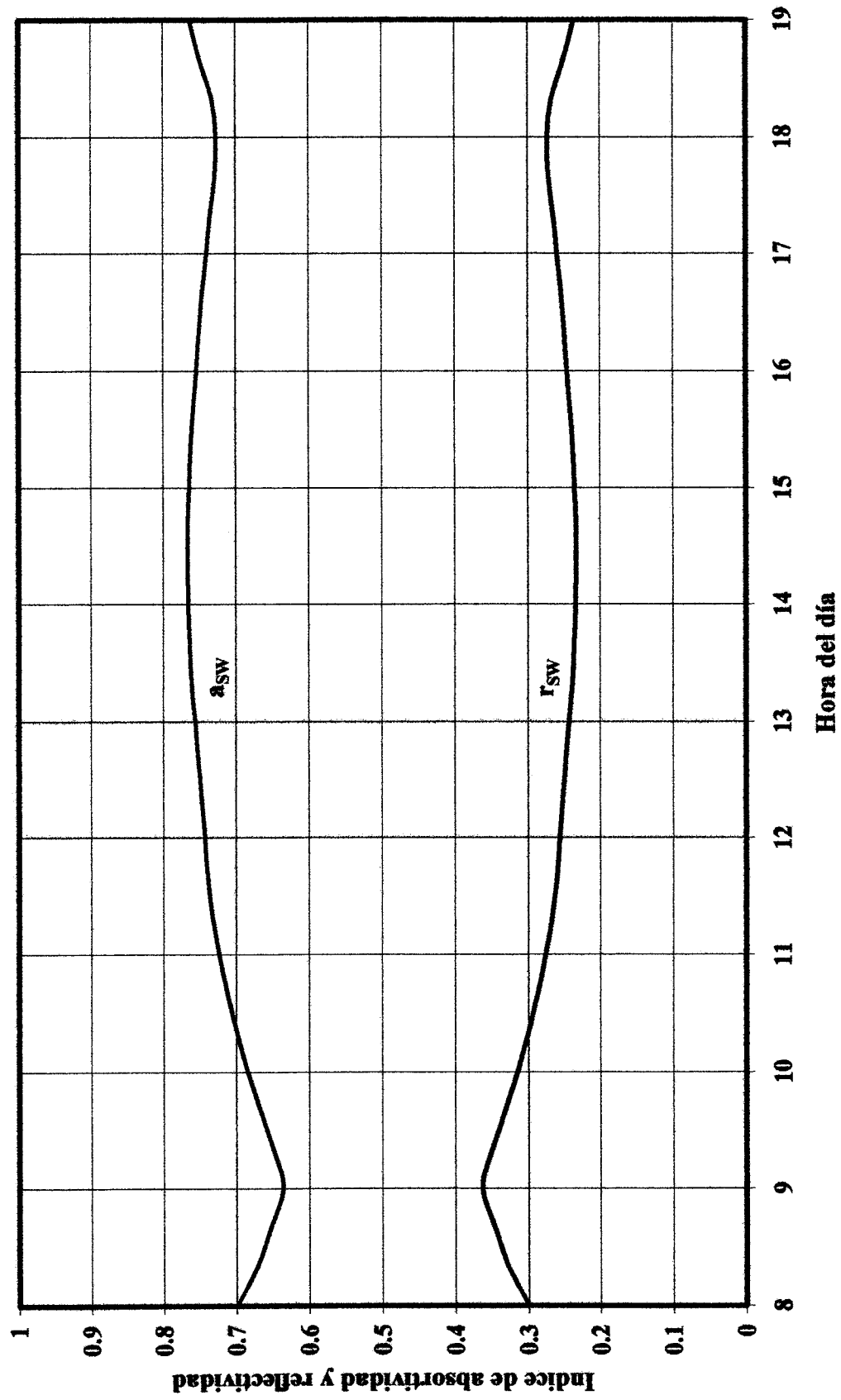


Figura 4.3. Evolución del índice de reflectividad (r_{sw}) y absorptividad (a_{sw}) a la radiación solar en el tratamiento de 90cm de espaciamiento entre surcos, observados el día 284 del año, 109 días después de siembra.

los otros tratamientos, lo cual corresponde con un índice de a_{sw} ligeramente mayor que en el resto de los tratamientos. El tratamiento de 70 cm de espaciamiento entre surcos, muestra un r_{sw} más alto en las primeras horas de la mañana que el que se observa en los tratamientos de 50 y 90cm.

Las figuras 4.4, 4.5 y 4.6 muestran la evolución a través del día de los índices de reflectividad (r_{PAR}) y absorptibilidad (a_{PAR}) a la radiación fotosintética activa en los tratamientos 50, 70 y 90 cm de espaciamiento entre surcos (284, 95, días después de siembra). A diferencia de los índices de reflectividad y absorptibilidad a la radiación solar total, los índices a la radiación fotosintética activa son más uniformes a través del día. Se observa que para los tres espaciamiento entre surcos, el r_{PAR} a través del día es menor de 0.10 y el a_{PAR} mayor de 0.90. En el lapso de tiempo de las 12 a 15 horas, el r_{PAR} en el espaciamiento entre surcos de 50 cm, es ligeramente mayor que en el espaciamiento de 70 y 90 cm.

En los cuadros 4.1 y 4.2 muestran los valores del índice de reflectividad y absorptibilidad a la radiación solar total (r_{sw} , a_{sw}) y a la radiación fotosintética activa (r_{PAR} , a_{PAR}) tomados en los tres tratamientos, a los 81 y 88 días después de siembra, los cuales corresponden a los días 257 y 264 del año. En estos cuadros se observa el comportamiento que siguieron los índices de reflectividad y absorptibilidad a la radiación solar total como a la radiación fotosintética activa con las diferentes densidades de población. Las lecturas fueron tomadas a una misma hora y en diferentes horas del día en los tres tratamientos.

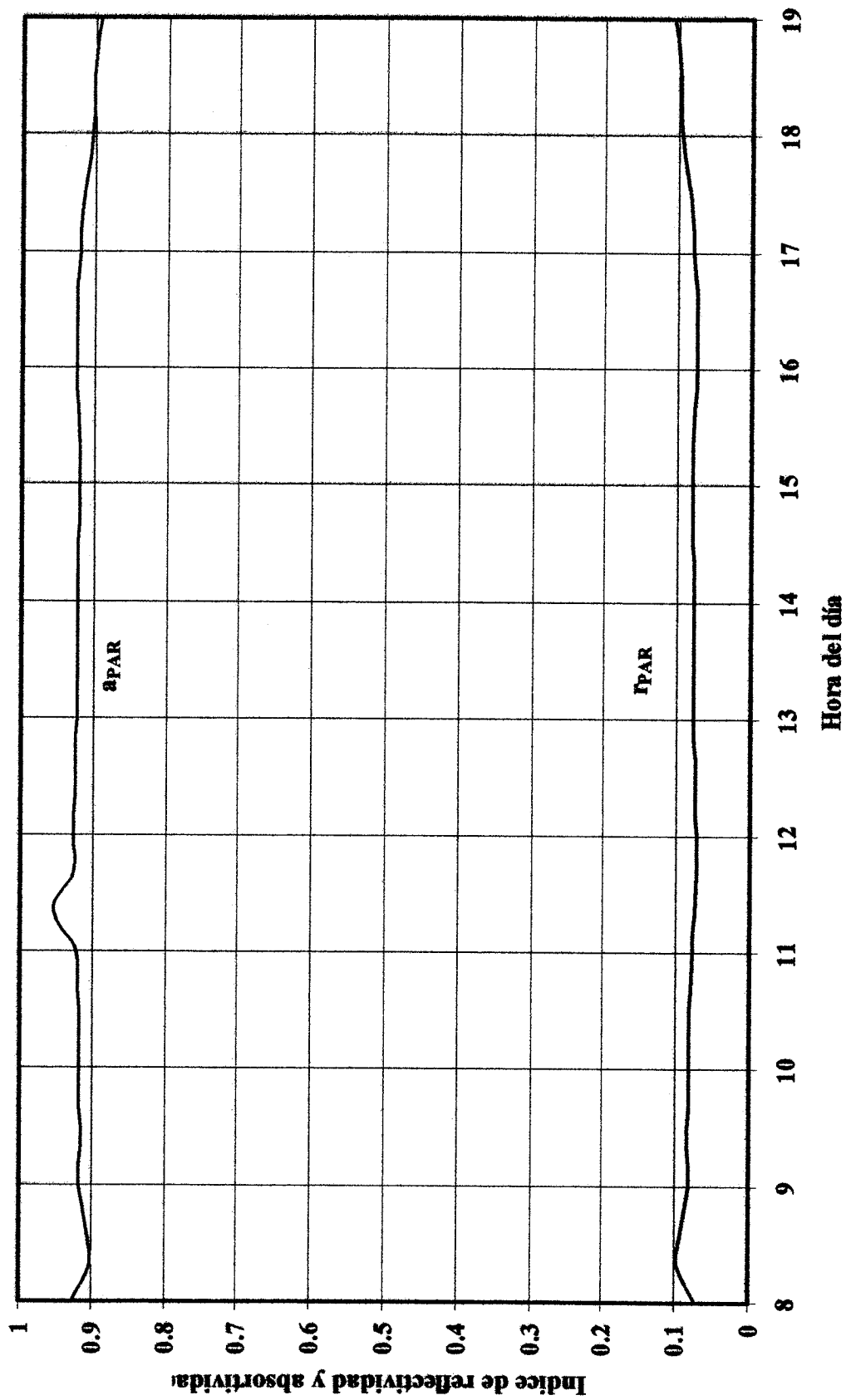


Figura 4.4. Evolución del índice de reflectividad (r_{PAR}) y absorptividad (a_{PAR}) a la radiación fotosintética activa en el tratamiento de 50 cm de espaciamiento entre surcos, observados el día 284 del año, 109 días después de siembra.

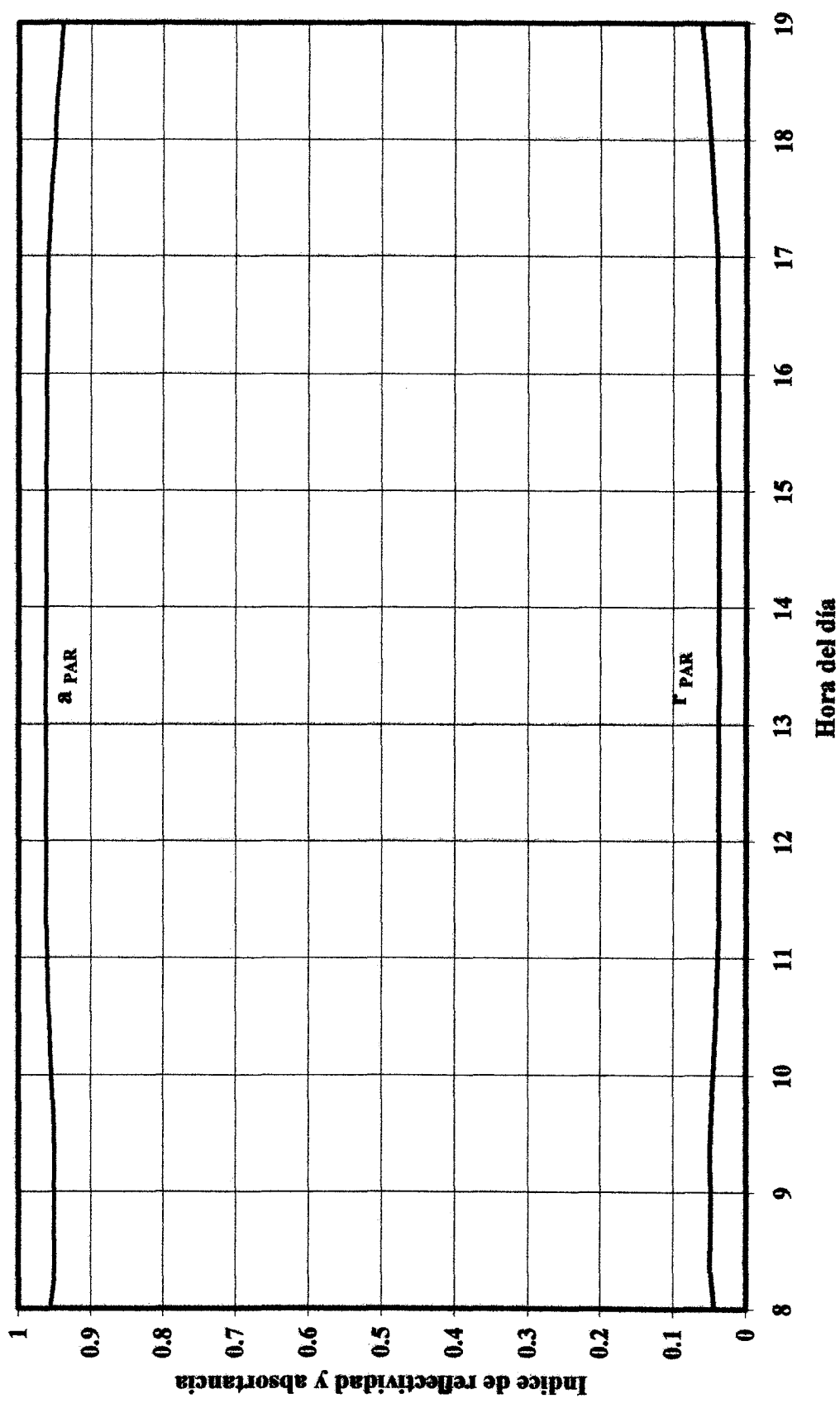
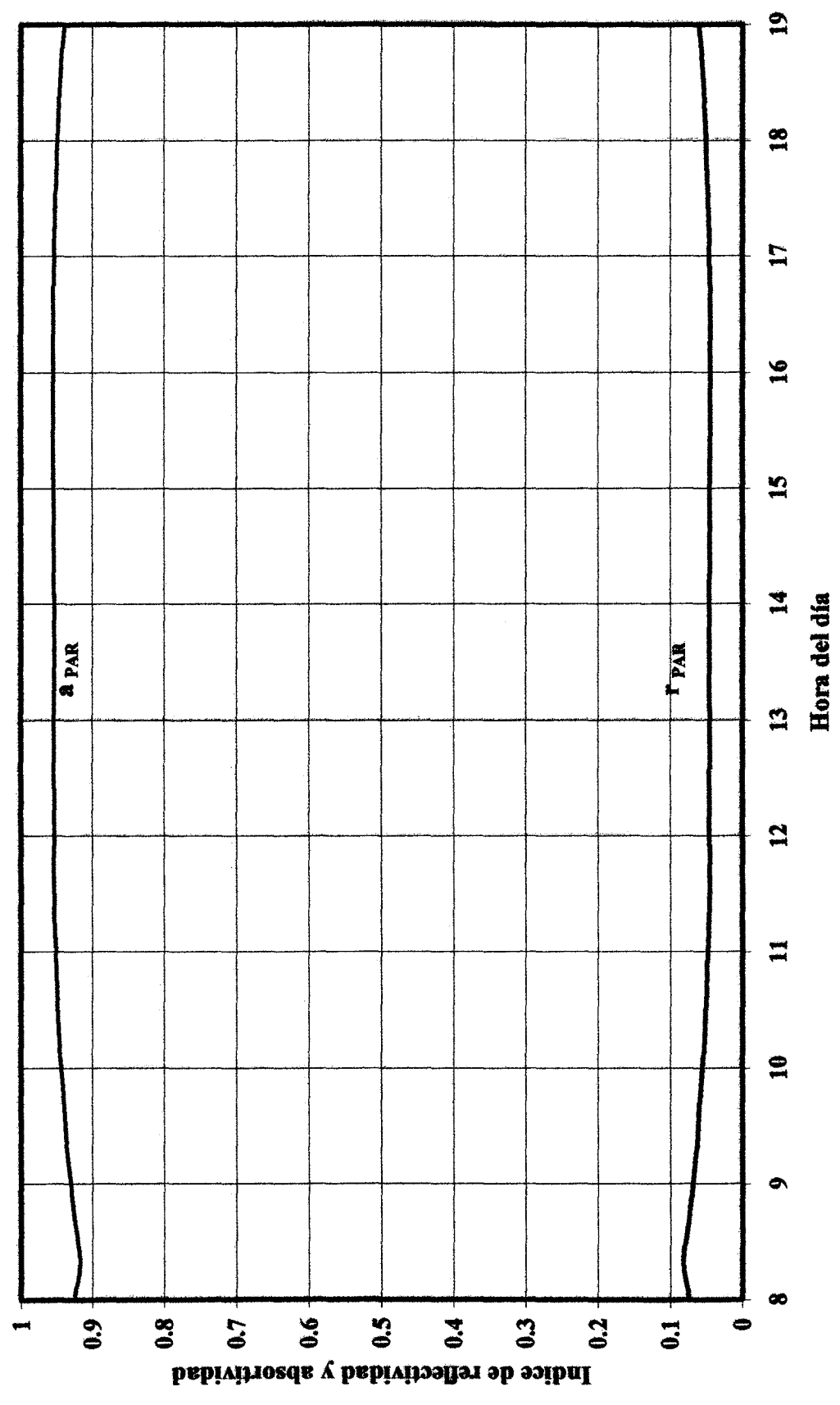


Figura 4.5 Evolución del índice de reflectividad (r_{PAR}) y absorptividad (I_{PAR}) a la radiación fotosintética activa en el tratamiento de 70 cm de espaciamiento entre surcos, observados el día 270 del año. 95 días después de siembra.



Cuadro 4.1 Valores del índice de reflectividad y absorptividad a la radiación solar total (r_{sw} , a_{sw}), y la radiación fotosintética activa (r_{PAR} , a_{PAR}), observadas en los tres tratamientos.

DIA	HORA	TRAT.	RS		PAR	
			r_{sw}	a_{sw}	R_{PAR}	a_{PAR}
257	13:20	50 cm	0.264	0.736	0.0374	0.9626
		70 cm	0.241	0.759	0.0382	0.9617
		90 cm	0.217	0.782	0.0439	0.9561
257	14:50	50 cm	0.262	0.737	0.0378	0.9621
		70 cm	0.277	0.723	0.0429	0.9570
		90 cm	0.237	0.763	0.0459	0.9541
257	16:20	50 cm	0.298	0.701	0.0403	0.9596
		70 cm	0.282	0.717	0.0444	0.9555
		90 cm	0.253	0.746	0.0485	0.9515

Cuadro 4.2 Valores del índice de reflectividad y absorptividad a la radiación solar total (r_{sw} , a_{sw}), y la radiación fotosintética activa (r_{PAR} , a_{PAR}), observadas en los tres tratamientos.

DIA	TIEMPO	TRAT.	RS		PAR	
			R_{sw}	a_{sw}	r_{PAR}	a_{PAR}
264	10:25	50 cm	0.248	0.752	0.0377	0.9622
		70 cm	0.255	0.744	0.0426	0.9573
		90 cm	0.242	0.758	0.0440	0.9559
264	11:55	50 cm	0.232	0.767	0.0414	0.9585
		70 cm	0.219	0.780	0.0402	0.9597
		90 cm	0.212	0.788	0.0427	0.9572

RS =Radiación solar total

PAR= radiación fotosintética activa

r = Índice de reflectancia

a =Índice de absorptancia

Como se puede ver en ambos cuadros, los valores de índice de reflectividad a la radiación solar total presentan un patrón de comportamiento similar, con tendencia a disminuir a medida que disminuye la densidad de población, ya que los tratamientos con 50 cm de espaciado entre surcos tienen un valor mayor, difiriendo a este comportamiento en el tratamiento de 70 cm de espaciado entre surcos en el horario

de 14:50 en el Cuadro 4.1 y en el horario 10:25 Cuadro 4.2 presentando un índice mayor reflectividad a la radiación solar total.

Con los valores de índice de absorción a la radiación solar total sucede lo contrario, generalmente los índices de absorción aumentan a medida que la densidad de población disminuye. En el horario de 14:50 (Cuadro 4. 1) y 10:25 (Cuadro 4. 2) el tratamiento de 70 cm de espaciamiento entre surcos tiene el valor menor, el tratamiento de 50 cm de espaciamiento entre surcos presenta un valor intermedio, y el tratamiento de 90 cm de espaciamiento entre surcos tiene el índice de absorción mayor.

El comportamiento de los índices de reflectividad a la radiación fotosintética activa en los diferentes tratamientos es el siguiente: en el horario de 16:20 (Cuadro 4.1), y en los horarios de 10:25 y 11:55 (Cuadro 4.2) el tratamiento de 90 cm de espaciamiento entre surcos presenta un índice de reflectividad mayor comparado con los otros dos tratamientos. Así mismo, este tratamiento presenta valores más pequeños de índice de absorción a la radiación fotosintética activa.

Fotosíntesis

El Cuadro 4.3 muestra los valores de fijación de dióxido de carbono y resistencia estomatal observados en los diferentes tratamientos a los 114 días después de siembra entre las 11:00 y 12:00 hrs. Los resultados obtenidos muestran un incremento de fijación de CO₂ conforme la densidad de población disminuye, mientras que los valores de

resistencia estomática, tienden a decrecer a medida que la densidad de población disminuye. Como se observa en este cuadro, existe una mayor fijación de CO₂ en el tratamiento con 90 cm de espaciamiento entre surco, en donde hay menor número de plantas por unidad de área, comparado con los otros dos tratamientos, la razón por la cual las plantas en este tratamiento hayan fijado más bióxido de carbono puede ser que al existir menos plantas se genere una mayor penetración de radiación solar, sucediendo lo contrario con las densidades mayores, donde se presenta mayor competencia en la captación de luz.

Cuadro. 4.3 valores de fijación de dióxido de carbono ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y resistencia estomatal (s m^{-1}) observados en los diferentes tratamientos el 16 de octubre (114 días después de siembra), entre las 11:00 y 12:00 hrs.

Tratamientos	Fijación de CO ₂ ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Resistencia Estomática (s m^{-1})
50cm	15.64	220
70cm	16.40	196.5
90cm	17.27	158.5

Variables Agronómicas

En las variables agronómicas se realizó el análisis de varianza, de acuerdo al modelo estadístico del diseño utilizado, de tal manera que cuando estas presentaron significancia se procedió a aplicar pruebas de rango múltiple de Tukey ($\alpha=0.05$) para identificar los tratamientos estadísticamente diferentes. Se detectaron diferencias significativas, en las variables: peso de la planta, peso del follaje, peso de grano y rendimiento e índice de área foliar, lo que infiere que estas características fueron

modificadas o alteradas por el efecto de las diferentes densidades de población utilizadas. No se observó efecto o no existió diferencia significativa en: altura a la primera mazorca, peso de mazorca y altura de planta.

Los cuadros 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 4.8, 4.9 y 4.10 muestran los análisis de varianza y comparación de medias para las variables de peso de planta, peso de follaje, peso de grano, índice de área foliar, altura a la primera mazorca, peso de mazorca y altura de la planta. El Cuadro 4.4 muestra que el peso de planta presenta diferencia estadística significativa entre tratamientos, en donde el tratamiento de 90 cm de espaciamiento entre surcos (370 gr) es diferente a los otros tratamientos, presentando el menor peso, los tratamientos de 50 cm (402 gr) y 70 cm, (382 gr) de espaciamiento entre surcos son estadísticamente iguales, aunque el tratamiento de 50 cm es ligeramente mayor que el tratamiento de 70 cm. El Cuadro 4.5 muestra que existió diferencia estadística significativa entre tratamientos para la variable peso de follaje, los tratamientos con 50 cm (302.66 gr.) y el de 70 cm (300.00gr.) de espaciamiento entre surcos son estadísticamente iguales y el tratamiento con 90 cm es diferente a ambos. El tratamiento de 90 cm tiene menor peso de follaje (277.66 gr).

El Cuadro 4.6 muestra la variable agronómica peso de grano, en esta variables se presenta diferencia estadística significativa entre tratamientos, en este cuadro se puede observar que el tratamiento de 50 cm de espaciamiento entre surcos es estadísticamente diferente con respecto a los tratamientos de 70 cm y 90cm de espaciamiento entre surcos, los cuales son estadísticamente iguales. El tratamiento de 50 cm tiene el rendimiento más alto (2890.50 kg/ha). De tal manera que a medida que la densidad de

población disminuye, el peso de grano igualmente, fue disminuyendo. En el Cuadro 4. se observa que los valores de índice de área foliar fueron diferentes entre tratamientos: Estadísticamente el tratamiento de 50 cm es diferente a los tratamientos 70 cm y 90 cm de espaciamiento entre surcos, asimismo el valor de este tratamiento es superior en relación a los dos restantes. Se observa una relación proporcional, ya que medida que disminuyó la densidad de población, disminuye el valor del IAF. Se recomienda que para aumentar la interceptación de la luz por todas las hojas, se deben realizar siembras espesas y uniformes como este caso (125, 200 plantas/ha). Existe un valor óptimo de IAF, que depende de los cultivos, pero que se acostumbra a ser aproximadamente de 4. A valores menores o mayores de este índice foliar, el rendimiento del cultivo decrece (Andrade *et al.*, 1993).

En el Cuadro 4.8 se muestra el efecto de las diferentes densidades en la altura a la primera mazorca en el cultivo de maíz. En esta variable, el resultado del análisis de varianza nos indica que no existe diferencia estadística significativa entre tratamientos resultando que los tratamientos tienen comportamiento similar, aunque se observa una ligera superioridad del tratamiento de 50 cm, es decir con la densidad de 125,20 plantas/ha con respecto a los tratamientos de 70 cm y 90 cm con 89,518 y 69,37 plantas/ha respectivamente. El Cuadro 4.9 muestra el efecto de las diferentes densidades en el peso de mazorca en el cultivo de maíz. Esta variable no presenta diferencia estadística significativa entre tratamientos, notándose una ligera superioridad en el tratamiento de 50 cm (102.67 gr). En el Cuadro 4.10 se observa el comportamiento que tuvieron los diferentes tratamientos al variar la densidad de siembra con respecto a la altura de la planta. Esta variable no presentó diferencia estadística significativa al variar

Cuadro 4.4. Análisis de varianza y comparación de medias para la variable peso de la planta en el cultivo de maíz.

F.V	GL	SC	CM	F	P>F	TRAT.	MEDIAS	D.E.S
TRAT.	2	3136	1568	5.99	0.0195	1 (50 cm.)	402 gr.	A
BLOQUES	5	4940.66	988.13	3.77	0.0352	2 (70cm.)	382.gr.	B
ERROR	10	2619.66	261.93			3 (90cm.)	370.gr.	B
TOTAL	17	10696						
C.V. = 4.20 %								

Cuadro 4 .5. Análisis de varianza y comparación de medias para la variable peso de follaje en el cultivo de maíz.

F.V	GL	SC	CM	F	P>F	TRAT.	MEDIAS	D.E.S
TRAT.	2	2261.77	1130.88	5.80	0.0212	1 (50 cm.)	302.66 gr.	A
BLOQUES	5	4959.77	991.95	5.09	0.0140	2 (70cm.)	300.00 gr.	A
ERROR	10	1948.88	194.88			3 (90cm.)	277.66 gr.	B
TOTAL	17	9170.44						
C.V. = 4.75 %								

Cuadro 4.6. Análisis de varianza y comparación de medias para la variable peso de grano (kg/ha) en el cultivo de maíz.

F.V	GL	SC	CM	F	P>F	TRAT.	MEDIAS	D.E.S
TRAT.	2	7133880.	356694.33	29.98	0.0008	1(50 cm.)	2890.50	A
BLOQUES	3	338948.	112982.88	0.95	0.4741	2(70cm.)	1512.50	B
ERROR	6	713843.	118973.88			3 (90cm.)	1083.00	B
TOTAL	11	8186672.						
C.V.=18.86 %								

Cuadro 4.7 Análisis de varianza y comparación de medias para la variable índice de área foliar en el cultivo de maíz.

F.V	GL	SC	CM	F	P>F	TRAT.	MEDIAS	D.E.S
TRAT.	2	13.50	6.75	63.81	0.0001	1 (50 cm.)	4.52	A
BLOQUES	5	1.26	0.25	2.39	0.113	2 (70cm.)	2.94	B
ERROR	10	1.05	0.10			3 (90cm.)	2.51	B
TOTAL	17							
C.V.=9.78 %								

Cuadro 4.8. Análisis de varianza y comparación de medias para la variable altura a la primera mazorca en el cultivo de maíz.

F.V	GL	SC	CM	F	P>F	TRAT.	MEDIAS	D.E.S
TRAT.	2	69.44	34.72	0.86	0.4513	1 (50 cm.)	91.16 cm.	A
BLOQUES	5	145.11	29.02	0.72	0.6227	2 (70cm.)	91.17 cm.	A
ERROR	10	402.55	40.25			3 (90cm.)	87.00 cm.	A
TOTAL	17	617.11						
C.V.=7.06 %								

Cuadro 4.9 Análisis de varianza y comparación de medias para la variable peso de mazorca en el cultivo de maíz.

F.V	GL	SC	CM	F	P>F	TRAT.	MEDIAS	D.E.S
TRAT.	2	176.77	88.38	1.03	0.3932	1 (50 cm.)	102.67 gr.	A
BLOQUES	5	34.44	6.88	0.08	0.9939	2 (70cm.)	97.50 gr.	A
ERROR	10	1.05	0.10			3 (90cm.)	95.17 gr.	A
TOTAL	17							
C.V.=9.42 %								

Cuadro 4.10 Análisis de varianza y comparación de medias para la variable altura de planta en el cultivo de maíz.

F.V	GL	SC	CM	F	P>F	TRAT.	MEDIAS	D.E.S
TRAT.	2	0.054	0.027	3.71	0.0624	1 (50 cm.)	171 cm.	A
BLOQUES	5	0.051	0.010	1.40	0.3041	2 (70cm.)	164 cm.	A
ERROR	10	0.073	0.007			3 (90cm.)	157 cm.	A
TOTAL	17	0.180						
C.V=5.22 %								

Trat.=tratamientos

D.E.S =Diferencia Estadística Significativa

Letras iguales denotan diferencia estadísticamente no significativa

Letras diferentes denotan diferencia estadísticamente significativa.

la densidad de población, aunque como sucedió en las anteriores variables agronómicas, el valor más alto lo presenta el tratamiento de 50 cm (171 cm.) con una densidad de siembra de 125,200 plantas/ha.

CONCLUSIONES

Con base a los resultados observados en esta investigación, las conclusiones que se derivan son:

- ◆ La evolución del índice de reflectividad a través del día, indica que a las horas de máxima incidencia de radiación solar (12 a las 15 horas), el tratamiento con mayor densidad de población (50cm de espaciamento entre surcos) muestra un menor índice de reflectividad a la radiación solar total, lo cual esta relacionado con un valor mayor del índice de absorptividad del sistema suelo-cobertura a la misma radiación. También se observa que el índice de reflectividad a través del día en los tres tratamientos (50, 70 y 90 de espaciamento entre surcos) es mayor por la mañana y por la tarde, presentando su valor más pequeño alrededor del medio día solar. El tratamiento con mayor densidad de población (50 cm de espaciamento entre surcos) presenta menores fluctuaciones a través del día en los valores de los índices mencionados, que la densidad de población menor.

- ◆ La evolución del índice de reflectividad y absorptividad a través del día de la radiación fotosintética activa indica que la reflectancia es menor del 10 por ciento y la absorptancia mayor del 90 por ciento en las densidades de población analizadas. También se observó que dichos índices son bastante uniformes a través del día en las tres densidades de población.

- ◆ Las mediciones simultaneas de radiación en las tres densidades muestran que a mayores densidades de población, se tiene mayores valores de reflectancia a la radiación solar total, lo cual corresponde a valores menores de absorción del sistema suelo-cobertura. Esto sugiere que la reflectancia de una mayor densidad de follaje a la radiación cercana al infra-rojo fue mayor que la reflectancia del suelo. Sin embargo, para la radiación fotosintética activa se observó que a mayor densidad de población, menor reflectancia, lo cual corresponde a una mayor absorción. Esto indica que a mayor densidad de follaje mayor consumo de la radiación fotosintética activa.

- ◆ Debido al sombreado y menor disponibilidad de luz, en altas densidades de follaje, se observó que a mayor densidad de población, menor fijación de bióxido de carbono a nivel hoja, esto correspondió a una mayor resistencia estomatosa.

- ◆ No se observó un efecto negativo en el desarrollo de la planta y el rendimiento de grano en las altas densidades de población.

RESUMEN

El maíz (*Zea mays* L.) es el principal cultivo de la alimentación en nuestro país representando de esta manera una gran importancia social y económica. Además, por la sorprendente capacidad de adaptación, por su importancia y arraigo dentro de la agricultura mexicana, su cultivo representa la principal fuente de trabajo y de subsistencia de los campesinos mexicanos. Este grano tiene amplio aprovechamiento en el consumo humano y animal, así como en la industria. Varios autores han encontrado que las plantas en general, presentan respuestas diferenciales en su crecimiento y rendimiento a los cambios de densidad de población, ya que las distancias entre plantas modifican las relaciones de competencia entre ellos. De igual manera también se ha observado que la mejor productividad de una cosecha se consigue aprovechando a máximo la luz. Se han realizado estudios en donde se reporta el efecto del número de plantas por hectárea en la distribución de la radiación y se ha visto que la densidad de siembra tiene efectos directos sobre esta, ya que deficiencias de iluminación pueden darse en plantaciones muy densas, donde las hojas inferiores reciben menos radiación. Pero, por otra parte, si hay pocas plantas, parte de la radiación solar no se intercepta por el follaje del cultivo y la productividad del cultivo disminuye. El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto de diferentes densidades de población de maíz y su relación con la absorptancia y rereflectancia de la radiación solar, y nivel de fotosíntesis del follaje.

además de analizar el efecto de diferentes densidades de población en el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo.

El trabajo se realizó en el Campo Experimental de Saltillo (CESAL) del INIFAP localizado en el ejido de Emiliano Zapata, Municipio de Arteaga Coah. El trabajo se estableció con un diseño en bloques al azar con 3 tratamientos y 6 repeticiones, las unidades experimentales consistieron en 8 surcos de 5 m de longitud. Las evaluaciones de desarrollo y rendimiento se realizaron en los tres surcos centrales. La siembra se llevó a cabo el 26 de julio de 1999, utilizando la variedad cafime, los tres tratamientos consistieron en 3 diferentes densidades de población, la distancia entre plantas fue la misma, variando la distancia entre surcos la cual fue: 50 cm de espaciamiento entre surcos dando una densidad de población de 125,200 plantas/ha, 70 cm de espaciamiento entre surcos con 89,518 plantas/ha y 90 cm de espaciamiento entre surcos con 69,37 plantas/ha.

Para medir la radiación solar total se instalaron 2 piranómetros (sobre el dosel uno orientado hacia arriba para medir la radiación incidente y el otro hacia abajo para medir la radiación reflejada. De igual forma se midió la radiación fotosintética activa utilizando 2 Quantum sensors, las mediciones se realizaron a diferentes horas del día a lo largo del desarrollo del cultivo. El registro de datos se llevó a cabo con un Datlogger modelo CR7 de la Campbell Sci. Los índices de reflectividad y absorptividad para la radiación solar total y radiación fotosintética activa se obtuvieron de la siguiente manera: el índice de radiación reflejada se obtuvo dividiendo la radiación reflejada entre la radiación incidente mientras que los índices de absorptividad del sistema se

cobertura se obtuvieron como el resultado de restar la unidad a los índices de reflectividad. Con la finalidad de observar la relación entre la tasa de fotosíntesis y la magnitud de radiación que llega al follaje del cultivo, se realizaron mediciones de fotosíntesis tomando cuatro hojas por tratamiento, las lecturas se tomaron el 16 de octubre de 1999 (114 días después de siembra). El equipo utilizado para tomar lecturas de fotosíntesis fue un Sistema de Medición Portátil LI-COR modelo LI 6000.

Los valores de índices de reflectividad y absorptibilidad tomados a través del tiempo generaron los siguientes resultados:

Los resultados del trabajo indican que los valores de índice de reflectividad y absorptibilidad de la radiación solar total son menores entre las 12 y 15 horas y aumentan su valor por la mañana y por la tarde, encontrándose también que el tratamiento con un espaciamiento de 50 cm entre surcos los valores de reflectividad y absorptibilidad son más uniforme al transcurrir el día a diferencia de los otros dos. También se encontró que el tratamiento de 70 cm de espaciamiento entre surcos muestra un índice de reflectividad más alto a las primeras horas de la mañana que el que se observa en los tratamientos de 50 y 90 cm de espaciamiento entre surcos.

Los valores de reflectividad y absorptibilidad a la radiación fotosintética activa son más uniformes a través del día que los valores de reflectividad y absorptibilidad a la radiación solar total. Las mediciones simultáneas de radiación en las tres densidades muestran que a mayores densidades de población, se tiene mayores valores de reflectancia a la radiación solar total, lo cual corresponde a valores menores

absortancia del sistema suelo-cobertura. Sin embargo, para la radiación fotosintética activa se observó que a mayor densidad de población, menor reflectancia, lo cual corresponde a una mayor absorción. Esto indica que a mayor densidad de follaje mayor consumo de la radiación fotosintética activa.

Los resultados obtenidos de fotosíntesis muestran que la fijación de CO_2 aumenta conforme la densidad de población disminuye, mientras que los valores de resistencia estomática, tienden a disminuir a medida que la densidad de población disminuye.

El desarrollo y rendimiento del cultivo se evaluó realizando mediciones de altura de planta, altura a la primera mazorca, peso de follaje, peso de planta, peso de mazorca, peso de grano e índice de área foliar a través del ciclo vegetativo del cultivo. Se realizó el análisis de varianza para cada una de las variables, de tal manera que cuando se presentó significancia entre tratamientos se aplicó la prueba de rango múltiple de Tukey ($\alpha = 0.05$). Se detectaron diferencias significativas entre tratamientos en las variables de peso de planta, peso de follaje, rendimiento de grano e índice de área foliar, en donde el tratamiento de 50 cm de espaciamiento entre surcos mostró los mejores resultados en esta investigación.

LITERATURA CITADA

- Aluko, G.K., and K.S Fischer. 1988. The effect of changes of assimilate supply at flowering on grain sink size and yield of maize (*Zea mays* L.) cultivars of tropical and temperature adaptation. *Aust. J. Agric. Res.* 39: 153-161.
- Brougham, R. 1956. *Ast. J. Agric. Res.* 7:377-387.
- Brown, R.H., E.R. Beaty, W.J. Ethredge and D.D. Hayes. 1980. Influence of row and population on yield of two varieties of corn (*Zea mays*). *Agron. Jour.* 6 USA.
- Buren, L.L., J.J. Mock, and I.C. Anderson. 1974. Morphological and physiological changes in maize associated with tolerance to high plant density. *Crop Sci.* 14: 428-431.
- Centro de Investigaciones Agrarias. 1980. *El Cultivo de Maíz*. Editorial, México.
- Collins W.K. 1965. Performance of two-ear type of corn belt maize. *Crop. Sci.* 5:13-14.
- Daughtry, C.S.T, Gallo, K.P and Bauer M.E. 1982. Spectral Estimates of Radiation Intercepted by Corn Canopies. *Agronomy, Purdue Univ. Journal Paper No. 47907*. Purdue Agric. Exp. West Lafayette, IN 47907.
- Daynard, T.B. and J.F. Mukdoon. 1983. Plant-to-plant variability of maize plants grown at different densities. *Can. J. Plant Sci.* 63: 45- 59.
- Delorit, A.R., Ahgren H.L. 1983. Producción Agrícola Edit. Continental México. 51- 68. Center, Utah State University. *Ambio*, 24:3, 166-173;77 ref. Logan 84322-5230, USA.
- Donald, C. M. 1986. The breeding of crop ideotypes. *Euphytica* 17:385-405.
- Dwyer, L.M. y Stewart, 1986. Leaf area development in field-grown maize. *Agron. J.* 78: 33-343
- Dwyer, L.M, Stewart, R.I and Houwing L. 1992. Ear Position and Vertical Distribution of Leaf Area in Corn. *Agric. Canada, Res. Branch, Centre for Land Biological Resources Research, Ottawa, Ontario KIA 0C6 (CLBRR Contribution No. 84: 430-438.*

- Early, F.B, W.O Mellarath, R.D. Seif, and R. H.Hageman. 1967. Effects of shade different stages of plant development on corn (*Zea mays* L.) production. *Crop Sci* 7:151-156.
- EL- Lankany, A.M. and W.a. Russell. 1971. Relations of maize characters with yield in test crossis of inbred at different plant densities. *Crop. Sci.* 11: 698- 701. USA.
- Enciclopedia Metódica. 1998. Ciencias de la vida. Primera Edición. Ediciones Larousse S.A. de C. V. Colombia.
- Biblioteca Práctica Agrícola y Ganadera. 1990. Los Fundamentos de la Agricultura Grupo Editorial Océano S.A. Barcelona España.
- Fischeck, G. W and W., Aufhammer. 1971. The significance of riping group time o sowing and crop density in grain maize cultivation. *Field crop. Abst.* 24:39-40.
- Fischer, R.A. 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *J. Agric. Sci. (Cambridge)* 105: 447-461.
- Hashemi-Dezfouly and S.J. Herbert. 1991. Intensifying Plant Density Responce of Corn with Artificial Shade. Collage of Agric., Shahid Chamran Univ. Published in *Agron. J.* 84:547-551.
- Hawkins, R.C. and P.J.M. Cooper. 1981. Growth, Development and grain yield o maize. *Exp. Agric.* 17:203-207.
- Iremiren, G.O. and G. M. Milbourn. 1980. Effects of plant density on ear barrenness in maize. *Expl. Agric.* 16: 321-326.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. Cuarta edición. U.N. A.M., México, D. F.
- Gordon, R.1 Camargo, J., y A. Golzález. 1993. Respuesta de dos cultivares de maíz a la densidad. Síntesis de resultados experimentales de PRM. 1993- 1995. CIMMYT PRM. México D.F.P. 101- 105.
- Grant, R.F. 1989. Simulation of carbon assimilation and partitioning in maize. *Agron.J* 81:563-571.
- Karlen, D.L. and C.R. Camp. 1985. Row spacing, plant population, and water management effects on corn in the Atlantic Coastal Plain. *Agron. J.* 77: 393-398.
- Kiniry, J. R. and J.T Ritchie. 1985. Shade sensitive interval of karnel number of Maize *Agron. J.* 77:711-715.

- Llanos, M. 1984. El Maíz. Editorial Mundi Prensa. Madrid. 3ª edición pp 15-25.
- Lieth, J.H. and F. Reynolds, 1984. A model of canopy irradiance in relation to changing leaf area in phytotron-grown snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Crop Int. Biometeor 25: 61-71.
- Ludlow, M., M. 1982. Microclima y Relaciones Planta - Agua. Desierto y Ciencia. Bioproductividad y Fotosíntesis. Edic. Especial. Centro de Investigación y Tecnología Química Aplicada. Saltillo, Coah. México. Pag. 33-35.
- Mock, J.J. and R.B. Pearce, 1975. An ideotype of maize. Euphytica 24: 613-623.
- Ortiz, C. J. Anthony, F. R., y Beratto M.E. 1974. Influencia de la longitud del ciclo sobre algunos parámetros fisiológicos y su relación en el rendimiento de trigo. Agrociencia. 16: 125-134. México.
- Pearce, R.B., R. H Brown and Blaser. 1967. Crop Sci. 5:553-556.
- Pendleton, J.W. and R.D. Seif. 1968. Plant Population and Row Spacing Studies with brachytic-2 dwarf corn. Crop Sci. 1:433-435.
- Robles S. R. 1990. Producción de Granos y Forrajes. Quinta edición. Editorial Limus S.A de C.V. México D.F.
- Robinson, D. L and L.S Murphy. 1972. Influence of nitrogen, phosphorus and plant population on yield and quality of forage corn. Agron, J. 64:349.
- Rutger, J.N. 1971. Effect of plant on yield of inbred lines and single crosses of maize (*Zea mays* L.) Crop. Science. Vol. 11: 475-477 USA.
- Shibles, R.M., and C.R. Weber. 1965. Crop Sci. 575-577.
- Serrano C., Z. 1990. Técnicas de Invernadero. PAO. Suministros Gráficos, S.A. Sevilla España.
- Tanaka A. y Yamaguchi, J. 1984. Producción de Materia Seca y Componentes del Rendimiento y rendimiento del grano de maíz. Colegio de Postgraduados Pag 15.
- Terranova. Enciclopedia Agropecuaria. 1995. Producción Agrícola 1. Santafé de Bogotá D.C. Colombia.
- Tetio-Kagho, F. and F.P. Gardner. 1988. Responses of maize to plant population density II, Reproductive development, yield, and yield adjustments. Agron. J. 80: 93-940.

- Tollenaar, M. and Bruusema, 1988. Efficiency of maize dry matter production during periods of complete leaf area expansion. *Agronomy Journal*. Vol 80. Pags. 580-585.
- Tollenaar, M., L.M. Dwyer, and D.W. Stewart. 1992. Ear and kernel formation in maize hybrids representing three decades of grain yield improvement in Ontario. *Cro Sci* 32:432-438
- Torres R., A. 1992. Estudio de Tres Densidades de Población en Diferentes Descriptores Varietales de Maíz (*Zea mays* L.). Tesis de Maestría. UAAAP Saltillo Coah. Méx.
- Torres R., E. 1984. *Agrometeorología*. Editorial. DIANA. S.A. Méx.
- Wilson, J.H. and J.C. Allison. 1988. Effect of plant population on ear differentiation and growth in maize. *Annals of Applied Biology*. 90(1) 127- 132. England.
- Zarca, Y. 1992. *Películas Fotoselectivas y Fluorescentes en Plásticultura*. CEPLA.