

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA
DEPARTAMENTO DE CULTIVOS Y SUELOS TROPICALES

CONDICIONES DE RADIACION SOLAR Y OTROS FACTORES
MICROCLIMATICOS DENTRO DE UN CULTIVO DE MAIZ
(Zea mays), A DIFERENTES DENSIDADES Y ORIENTACIONES
DE SURCO

TESIS SOMETIDA A CONSIDERACION DE LA COMISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
DEL PROGRAMA CONJUNTO UCR—CATIE PARA OPTAR AL GRADO DE

Magister Scientiae

JOSE A. ARZE BORDA

Turrialba, Costa Rica

1975

DEDICATORIA

A María del Carmen
mi esposa

A María del Carmen, José Carlos,
Luis Alberto y Juan Fernando
mis hijos

AGRADECIMIENTO

Deseo dejar expresa constancia de mi gratitud:

- Al Dr. José Fargas, Consejero Principal, a quien pertenecen muchas de las ideas originales de este trabajo, por brindarme desinteresadamente su amistad, ayuda y orientación invalorable.
- A los Doctores Jorge Soria, Rufo Bazán e Ing. Víctor Quiroga, miembros del comité, por sus atinadas sugerencias.
- Al personal de la Unidad de Estadística y Computación del IICA, en particular al Ing. Víctor Quiroga por su ayuda en el procesamiento estadístico de los datos.
- Al personal de campo del Experimento Central del Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales del CATIE, por su colaboración en la recolección de la información básica.
- Al Gobierno de Holanda, la Universidad Nacional Técnica del Altiplano, Puno, Perú, la Universidad de Costa Rica y al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza de Turrialba, porque me dieron la oportunidad de superarme.
- A todas aquellas personas que con gentileza me prestaron colaboración.

BIOGRAFIA

El autor nació en Puno, Perú. Realizó sus estudios primarios y secundarios en los Colegios San Ambrosio y San Carlos de su ciudad natal y los profesionales en la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cuzco, graduándose como Ingeniero Agrónomo en 1964.

De 1964 a 1966, trabajó en los Centros Experimentales de la Universidad Nacional Técnica del Altiplano, Puno y colaboró con la docencia de la Normal Superior San Juan Bosco-Salcedo, Puno.

A partir de 1966, ingresa a la Universidad Nacional Técnica del Altiplano como profesor a tiempo completo, en donde fue: Jefe del Departamento Académico de Agricultura, Director del Programa Académico de Ingeniería Agrícola, Encargado de las Direcciones Universitarias de Evaluación Pedagógica y Servicios Académicos, y de Planificación Universitaria.

En Enero de 1974, ingresó al Programa de Graduados de la Universidad de Costa Rica-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (UCR-CATIE), en Turrialba, para realizar sus estudios de postgrado en el Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales, área de Ecofisiología, graduándose de Magister Scientiae en octubre de 1975.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	3
2.1 Generalidades	3
2.2 Factores microclimáticos	3
2.3 Factores biológicos	7
2.4 Factores agronómicos	9
3. MATERIALES Y METODOS	11
3.1 Localización del experimento	11
3.2 Establecimiento del experimento	11
3.3 Material empleado	12
3.4 Manejo del material	12
3.5 Tratamientos	17
3.6 Dosis de fertilizantes	18
3.7 Información climática	18
3.8 Información biológica	21
3.9 Análisis de la información	24
4. RESULTADOS	29
4.1 Análisis de las variables climáticas	29
4.1.1 Radiación solar	29
4.1.2 Temperatura	34
4.1.3 Humedad relativa	39
4.1.4 Lluvia y evaporación	41
4.2 Análisis de las variables biológicas	44
4.3 Análisis de correlación entre variables biológicas e índices de crecimiento	54
4.4 Análisis de correlación y regresión entre variables climáticas y biológicas	57
4.4.1 Análisis de correlación	57
4.4.2 Análisis de regresión entre radiación solar total no interceptada por el cul- tivo con la edad y otras variables	60

	<u>Página</u>
5.	DISCUSION 64
5.1	Radiación solar 64
5.2	Temperatura 66
5.3	Humedad relativa 66
5.4	Lluvia y evaporación 67
5.5	Variables biológicas 67
5.6	Asociación entre variables biológicas 71
5.7	Asociación entre variables climáticas y biológicas 72
5.8	Asociación entre la gradiente vertical de radiación solar no interceptada por el cul- tivo y otras variables 74
6.	CONCLUSIONES 76
7.	RESUMEN 77
7a.	SUMMARY 79
8.	RECOMENDACIONES 80
9.	LITERATURA CITADA 81
10.	APENDICE 87

LISTA DE CUADROS

<u>Cuadro N°</u>		<u>Página</u>
A1	Orden cronológico de las principales labores de cultivo y actividades realizadas durante el experimento	88
A2	Condiciones externas de radiación solar diaria promedio y acumulada que ocurrieron durante el cultivo del maíz	89
A3	Radiación solar promedio, acumulada y porcentaje no interceptado a tres alturas sobre el suelo, dentro de un cultivo de maíz a dos densidades de siembra y tres orientaciones de surco	90
A4	Análisis de variancia de regresión para radiación solar no interceptada dentro de un cultivo de maíz ..	92
A5	Coefficiente de regresión y significación de la radiación solar no interceptada dentro de un cultivo de maíz a dos densidades de siembra y tres orientaciones de surco	92
A6	Estimación estadística de los promedios de radiación solar a 0,20 m del suelo, dentro y fuera de un cultivo de maíz a dos densidades de siembra y tres orientaciones de surco	93
A7	Estimación estadística de los promedios de radiación solar a 0,70 m del suelo, dentro y fuera de un cultivo de maíz a dos densidades de siembra y tres orientaciones de surco	93
A8	Estimación estadística de los promedios de radiación solar a 1,20 m del suelo, dentro y fuera de un cultivo de maíz a dos densidades de siembra y tres orientaciones de surco	94
A9	Significación de las pruebas de diferencias de medias entre radiación solar total fuera del cultivo y radiación solar no interceptada, por alturas, dentro de un cultivo de maíz a dos densidades de siembra y tres orientaciones de surco	94
A10	Promedio diario de las condiciones externas de temperatura, oscilación térmica y grados día que ocurrieron durante el ciclo de vida del maíz por períodos del crecimiento (C)	95

<u>Cuadro II°</u>	<u>Página</u>
A11 Promedio de temperaturas diarias y grados día acumulados por períodos dentro de un cultivo de maíz a dos densidades de siembra y tres orientaciones de surco	96
A12 Análisis de variancia de las regresiones entre temperatura, y densidades de siembra, orientaciones de surco y períodos de muestreo dentro de un cultivo de maíz	97
A13 Coeficientes de las curvas de regresión para polinómios cuadráticos de temperatura	98
A14 Significación de los efectos de densidad, orientación y períodos de muestreo en las temperaturas dentro de un cultivo de maíz a dos densidades de siembra y tres orientaciones de surco	98
A15 Significación de la diferencia de medias entre las temperaturas del exterior e interior del cultivo	99
A16 Condiciones externas de humedad relativa mínima (%) y horas al 100%. Promedios diarios y valores acumulados por período	99
A17 Promedios diarios y valores porcentuales de humedad relativa mínima y horas al 100% que ocurrieron dentro de un cultivo de maíz por densidades de siembra, orientaciones de surco y períodos	100
A18 Análisis de variancia para regresiones entre las condiciones de humedad y densidad de siembra, orientaciones de surco y períodos de muestreo dentro de un cultivo de maíz	101
A19 Coeficientes de regresión para polinómios cuadráticos y significación de densidades, orientaciones y períodos de muestreo para humedad relativa dentro de un cultivo de maíz	101
A20 Significación de las diferencias de medias entre humedad relativa exterior y humedad relativa dentro de un cultivo de maíz	102

<u>Cuadro N°</u>	<u>Página</u>
A21	Condiciones externas de lluvia y evaporación por períodos y acumulada durante el ciclo de vida del maíz 102
A22	Tamaño de muestra por tratamiento y por períodos de muestreo para un cultivo de maíz a dos densidades de siembra y tres orientaciones de surco 103
A23	Valores de las variables biológicas básicas e índices de crecimiento calculados por planta, durante el ciclo de un cultivo de maíz a dos densidades de siembra y tres orientaciones de surco 104
A24	Resumen de los análisis de variancia entre tratamientos para algunas variables biológicas 105
A25	Pruebas de diferencias de medias para biomasa total de la parte aérea por planta y por metro cuadrado de un cultivo de maíz a dos densidades de siembra y tres orientaciones de surco 105
A26	Rendimiento de grano seco por planta y por mazorca de un cultivo de maíz a dos densidades de siembra y tres orientaciones de surco 106
A27	Significación de las diferencias de medias del rendimiento promedio por planta y por metro cuadrado entre orientaciones y densidades 106
A28	Matriz de correlación para variables biológicas e índices de crecimiento de un cultivo de maíz a dos densidades de siembra y tres orientaciones de surco 107
A29	Matriz de correlación para variables biológicas y climáticas de un cultivo de maíz var. Tuxpeño, a dos densidades de siembra y tres orientaciones de surco 108
A30	Ecuaciones que dan las distintas relaciones entre variables estudiadas 109

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura N°</u>		<u>Página</u>
1	Distribución de parcelas e instrumentos meteorológicos fuera y dentro de un cultivo de maíz var. Tuxpeño, a dos densidades de siembra y tres orientaciones de surco	19
2	Variaciones con la edad de la radiación solar total fuera y dentro de un cultivo de maíz var. Tuxpeño, a tres alturas sobre el suelo. Densidad 40.000 pl/ha	30
3	Variaciones con la edad de la radiación solar total fuera y dentro de un cultivo de maíz var. Tuxpeño, a tres alturas sobre el suelo. Densidad 80.000 pl/ha	30
4	Tendencia de la radiación solar acumulada con la edad a 0,20 m del suelo, fuera y dentro de un cultivo de maíz, a dos densidades de siembra	32
5	Tendencia de la radiación solar acumulada con la edad a 0,70 m del suelo, fuera y dentro de un cultivo de maíz, a dos densidades de siembra	32
6	Tendencia de la radiación solar acumulada con la edad a 1,20 m del suelo, fuera y dentro de un cultivo de maíz, a dos densidades de siembra	33
7	Temperatura máxima fuera y dentro de un cultivo de maíz var. Tuxpeño, en relación con la edad	35
8	Temperatura mínima fuera y dentro de un cultivo de maíz var. Tuxpeño, en relación con la edad	35
9	Temperatura media fuera y dentro de un cultivo de maíz var. Tuxpeño, en relación con la edad	37
10	Oscilación térmica fuera y dentro de un cultivo de maíz var. Tuxpeño, en relación con la edad	37
11	Promedio diario de grados día fuera y dentro de un cultivo de maíz var. Tuxpeño, en relación con la edad	38

<u>Figura N°</u>	<u>Página</u>
12	Grados día acumulados fuera y dentro de un cultivo de maíz var. Tuxpeño, por períodos 38
13	Variaciones de la humedad relativa mínima fuera y dentro de un cultivo con la edad del maíz var. Tuxpeño 40
14	Variaciones del número de horas al 100% de humedad relativa fuera y dentro de un cultivo con la edad del maíz var. Tuxpeño 40
15	Regresión de la evaporación en ml del evaporímetro de Piche con la evaporación en mm del tanque 42
16	Lluvia y evaporación medida que ocurrieron durante el ciclo de vida del cultivo de maíz. Totales por período 43
17	Lluvia y evaporación medida acumuladas durante el cultivo de maíz 43
18	Variaciones de la altura de plantas con la edad del maíz var. Tuxpeño, a dos densidades de siembra ... 46
19	Variaciones del área foliar por planta con la edad del maíz var. Tuxpeño, a dos densidades de cultivo ... 46
20	Variaciones del índice de área foliar con la edad del maíz var. Tuxpeño, a dos densidades de cultivo ... 47
21	Variaciones de la biomasa total de la parte aérea por planta y por m ² con la edad del cultivo del maíz var. Tuxpeño, a dos densidades de siembra 47
22	Variaciones del peso seco de hojas, tallos, inflorescencias y biomasa total de la parte aérea por planta con la edad del maíz var. Tuxpeño 49
23	Variación de la razón peso foliar por períodos en un cultivo de maíz var. Tuxpeño 49
24	Variaciones de la razón área foliar por períodos de un cultivo de maíz var. Tuxpeño 50
25	Variaciones del área foliar específica con la edad de un cultivo de maíz var. Tuxpeño 50

<u>Figura N°</u>		<u>Página</u>
26	Variaciones del índice de crecimiento relativo por períodos durante el ciclo de vida del maíz var. Tuxpeño	52
27	Variación del índice de crecimiento relativo foliar por períodos durante el ciclo de vida del maíz var. Tuxpeño	52
28	Variaciones del índice de asimilación neta por períodos durante el ciclo de vida del maíz var. Tuxpeño	53
29	Variaciones de la tasa de producción de materia seca de un cultivo de maíz var. Tuxpeño, por períodos y densidades de cultivo	55
30	Variaciones de la eficiencia fotosintética de un cultivo de maíz var. Tuxpeño, por períodos y densidades de cultivo	55
31	Radiación solar total relativa dentro de un cultivo de maíz var. Tuxpeño, a tres alturas sobre el suelo en relación a la edad y algunas variables biológicas. Densidad: 40.000 pl/ha	61
32	Radiación solar relativa dentro de un cultivo de maíz var. Tuxpeño, a tres alturas sobre el suelo en relación a la edad y algunas variables biológicas. Densidad: 80.000 pl/ha	63

1. INTRODUCCION

Entre los factores meteorológicos, uno de los que tiene gran influencia en la vida del hombre es la radiación solar, ya que parte de ella constituye la fuente primaria de energía que utilizan las plantas para transformar el CO_2 atmosférico en alimento, mediante el proceso fotosintético.

En los trópicos, generalmente la radiación solar no es utilizada eficientemente por la agricultura, existiendo un desequilibrio entre la abundante y constante cantidad de radiación disponible y la producción de alimentos. Actualmente se trata de aumentar la eficiencia de uso de la energía solar en los trópicos, mediante el empleo de cultivos múltiples, que promueven una utilización continua del suelo y de la energía solar incidente.

Cuando dos cultivos de hábitos y portes diferentes crecen juntos, la intercepción de radiación por el cultivo dominante debe tener gran influencia en el crecimiento y rendimiento de los cultivos de menor tamaño, que crece asociado a él. Por esta razón es de gran importancia evaluar las condiciones de radiación solar que existen en el microclima producido dentro del cultivo dominante y estudiar los factores que pueden producir variaciones de intercepción, como la arquitectura, la densidad de siembra, la orientación de surcos y otros de menor importancia.

Debido a lo generalizado del uso del maíz como cultivo dominante en asociación con especies de menor tamaño, es de gran interés realizar ese tipo de estudios con esta gramínea. Existen pocos trabajos de investigación en los trópicos que muestran las condiciones de radiación

dentro del cultivo de maíz y la influencia de dichas condiciones sobre los cultivos con los que se los asocia.

Teniendo en cuenta los aspectos mencionados, se consideran los siguientes objetivos generales:

1. Estudiar las condiciones de radiación solar, temperatura y humedad relativa entre hileras de maíz.
2. Relacionar densidad de siembra, orientación de surco, altura de planta, área foliar y otros índices biométricos con las condiciones de radiación solar.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Generalidades

Aunque se considera grande la influencia del clima en las relaciones ecológicas entre la planta, el suelo y el clima, generalmente no se dá a este último factor la importancia que le corresponde (51). Los datos climáticos sirven para describir el clima de una región, pero en agricultura lo importante es el conocimiento de las condiciones del tiempo reinante durante la permanencia del cultivo en el campo, las cuales pueden alejarse mucho de los promedios climáticos a través del año.

Los estudios climatológicos, tuvieron sus mayores progresos en las últimas décadas de este siglo (56), y solamente en tiempos recientes se dió importancia a los estudios básicos de microclima dentro los cultivos, lo cual permite aclarar su influencia en los procesos fisiológicos de las plantas.

2.2 Factores microclimáticos

Son pocos los estudios sobre condiciones microclimáticas dentro del cultivo del maíz (23, 30, 31, 32, 38, 60). La información disponible se refiere generalmente a la influencia de los factores ambientales en el crecimiento y producción del cultivo.

Prácticamente toda la energía de un ecosistema se origina de la radiación del sol, aunque cantidades menores de alta energía provienen de radiación cósmica y de otras fuentes locales; sin embargo, éstas no son importantes (14), porque es la radiación solar la que proporciona la

energía necesaria para calentar el ambiente y conducir al ecosistema por medio de energía almacenada durante la fotosíntesis.

Desde el punto de vista económico, la radiación solar es el factor ecológico más importante, porque afecta directamente los procesos fisiológicos de las plantas que influyen en la producción; sin embargo, sobre ella y consecuentemente la temperatura, la acción del hombre es relativamente limitada y de pequeña significación económica (4, 5).

Watson, citado por Stewart (55), indica que la eficiencia de la utilización de la radiación visible, ha sido ampliamente utilizada en la literatura, pero su cálculo implica suposiciones sobre la cantidad de luz visible medida y sobre la equivalencia de energía de la materia seca de la planta.

Alvim y Alvim (7), en un estudio realizado en Brasil, sobre aprovechamiento de la energía luminosa en maíz y frijol, utilizaron la tasa de producción de materia seca, para expresar el mejor aprovechamiento de la energía lumínica. El promedio de radiación solar durante el período experimental fue de $451 \text{ cal/cm}^2/\text{día}$. La tasa de producción de materia seca y el índice de área foliar, aumentaron con la mayor densidad, mientras que el peso seco y el área foliar por planta disminuyeron. En todos los casos estudiados el frijol alcanzó apenas un tercio de la productividad y eficiencia del maíz.

En maíz, para una superficie que recibe $500 \text{ cal/cm}^2/\text{día}$, Loomis y Williams (36), estiman una producción de 71 gramos (peso seco) de materia orgánica por metro cuadrado al día. Si los constituyentes inorgánicos representan el 8 por ciento del peso seco, el potencial de productividad

será de $77 \text{ g/m}^2/\text{día}$, o sea, de 770 kilos por hectárea día.

La distribución foliar de un cultivo de caña (40), parece indicar que el límite lumínico de supervivencia de la superficie asimilatoria es de $50 \text{ cal/cm}^2/\text{día}$. A pesar de la existencia de otros factores, es probable que la disminución de la luz sea el fenómeno desencadenante del amarillamiento de las hojas.

En *Vigna sinensis* (53), la influencia más notable de la sombra parece ser una disminución en la actividad fotosintética, en el transporte de metabolitos y en la respiración. Este resultado hace pensar que el envejecimiento prematuro de las hojas es sobre todo causado por falta de luz. La sombra tiende a aumentar la superficie foliar mediante el incremento en número de células epidérmica, mientras que la densidad estomática disminuye, tanto en el haz como en el envés de las hojas.

Rocha et al. (50), encontraron en soya (*Glycine max*), que la fijación simbiótica del nitrógeno aumenta en proporción directa con la intensidad de radiación solar, este aumento se debe al mayor crecimiento individual de cada nódulo y no a un aumento del número de ellos.

En un trabajo realizado en frijol (*Phaseolus vulgaris*), durante las épocas seca y lluviosa, Brandes et al. (16) encontraron una intercepción de luz inferior al 40 por ciento, cuando el índice de área foliar estuvo cerca a cuatro.

En trabajos ecofisiológicos, la medición de la radiación solar total se ha efectuado generalmente mediante actinógrafos de Kipp & Zonen (7, 16, 29, 50, 54), basados en la diferencia de dilatación de láminas metálicas pintadas de blanco y negro. Se ha empleado también el radiómetro

integrador Gunn-Bellani (13), conocido como destilómetro (54), ó lucímetro (4), basado en la destilación del alcohol evaporado por efecto del calor de radiación.

En la determinación de la radiación neta se han utilizado radiómetros económicos, descritos por Suomi y Kuhn, citados por Denmead (27) y Platt (47), basados en fenómenos fotoquímicos. También Allen et al. (9), midieron la radiación neta usando radiómetros de Fritschen, basados en transductores térmicos.

Para estimar el índice de fotolepsis (porcentaje de luz del día que alcanza el interior de una plantación), se han usado células fotoeléctricas tipo Lange (40), ó luxímetros AEG* mod UM (29). Friend (24), sugiere el empleo del papel tipo Sepia Ozalit n. 33 NT, como un método simple para estimar la luz en el campo. En el conocimiento de la intensidad de luz los métodos fotoquímicos son generalmente sensibles a longitudes de onda menores a 400 nm, algunas de las sustancias empleadas son: Acetona, Azul de Metileno, Acido Oxálico, Antraceno (47).

La temperatura promedio ideal para el cultivo del maíz en los Estados Unidos (3), está entre 23,9 a 29,4 C. Loría, citado por Murillo (43), indica que el maíz requiere durante su ciclo vegetativo de 2.500 a 3.800 °C. Aldrich y Leng (3), para el cálculo de grados día utilizan como temperatura básica 12,8 C y como límite superior 29,4 C, mientras que Gilmore y Roger (27), y Newman et al. (44), consideran una temperatura básica para maíz de 10 C y como límites superiores los dos primeros dan 30 C y los últimos 32 C.

*Allgemeine Electricitätsgesellschaft.

2.3 Factores biológicos

La acumulación de materia seca en las plantas depende en gran parte del balance entre los procesos de fotosíntesis y respiración. Los fenómenos que afectan este balance, se traducen en última instancia en la eficiencia de la planta para acumular materia seca. Un estimado de este incremento se hace mediante el análisis de crecimiento de los cultivos, cuantificando los factores responsables del mismo en un período de tiempo determinado. Los componentes básicos en el análisis de crecimiento son: la ganancia neta en peso seco y el área foliar (62).

Existen diferentes métodos para medir el área foliar. Mckee (39) sugiere para el maíz el uso de la ecuación: $Y = E (L \times W) (0,73)$, donde: Y = área foliar total; E = sumatoria; L = largo de hoja; W = ancho máximo de hoja; y $0,73$ = constante. Esta ecuación fue utilizada con alto grado de ajuste por Sanabria de Mojica (52). En otros casos se emplean métodos geométricos (7), o fotoeléctricos (51).

La capacidad fotosintética de un cultivo está determinada por su área foliar total, la que puede variar para un mismo cultivo con la densidad de siembra. Watson en 1947, citado por Watson (62), introdujo el término Índice de Área foliar (IAF), para expresar la relación superficie foliar y la superficie del suelo ocupada por la planta. Williams, citado por Loomis y Williams (37), y Brougham (18), definen el Índice de área foliar crítica, como la superficie foliar necesaria para interceptar el 95 por ciento de la radiación solar incidente a medio día, y representa el área foliar mínima necesaria para alcanzar un índice de crecimiento relativo máximo. Este índice de área foliar crítico corresponde

al que Watson llama Índice óptimo de área foliar (61). En general, el aumento del IAF lleva a un incremento de la productividad vegetal hasta un óptimo, por encima del cual el autosombreamiento afecta negativamente el balance fotosintético (5, 6, 40).

La eficiencia fotosintética para maíz, frijol y café, fue calculada por Alvim y Alvim (7), Huertas y Alvim (29), según la fórmula siguiente:

$$EF = \frac{TPMS \times 3.700}{R \times 0,45} \times 100$$

donde: EF = Eficiencia fotosintética

TPMS = Tasa de producción de materia seca en $g/m^2/día$

R = Valor medio de la radiación solar total en $cal/m^2/día$

3.700 = Constante fotosintética (3.700 cal por gramo de carbohidrato elaborado)

0,45 = Factor para transformar la radiación total en radiación visible utilizada por la fotosíntesis

Alvim y Alvim (7), al estudiar varias densidades de sembrío del maíz durante el primer mes de crecimiento, encontraron que el índice de área foliar alcanzó valores de 2,8 y 21,7 en cultivos de baja y alta densidad, respectivamente. La tasa de producción de materia seca, varió en el mismo sentido que el índice de área foliar, encontrándose valores de $57,7 g/m^2/día$ para mayores densidades. El porcentaje de energía lumínica aprovechada también varió en proporción directa a la densidad de cultivo, los valores obtenidos variaron entre 1,7 y 10,5 por ciento.

Sanabria de Mojica (52), bajo condiciones de invernadero y

cultivo hidropónico, reporta para maíz, entre 146 y 137 dm² de área foliar por planta, con una eficiencia fotosintética de 7,23 g ly*⁻¹ x 10⁻².

Kreh, citado por San José y Medina (51), reporta valores máximos de Tasa de Asimilación Neta para maíz de 80,5 g/m²/semana.

2.4 Factores agronómicos

Las densidades de siembra del maíz varían entre 20.000 y 80.000 plantas por hectárea. Salas, citado por Vidaurre (59), en Alajuela, Costa Rica, consiguió altos rendimientos usando distancias de 0,15 y 0,25 m entre plantas con separación de 0,75 m entre surcos. En Guanacaste (Costa Rica) Vidaurre (59), obtuvo altos rendimientos de maíz con 0,75 y 0,35 entre hileras y plantas, respectivamente. Aldrich y Leng (4), reportan para la parte central y oeste de la zona del maíz de Estados Unidos, un breve período de popularidad del maíz sembrado en hileras muy separadas (1,52 a 2,03 m), cuando se realizaron estudios dirigidos a la utilización del maíz como cultivo asociado con leguminosas y gramíneas. Linvill y Dale (35), reportan densidades de 42.000 a 62.000 plantas por hectárea, como típicas en Indiana para cultivos comerciales.

La densidad de siembra utilizada para el maíz en el Proyecto de Sistemas de Producción para el Trópico del CATIE, es de 40.000 pl/ha en surcos a 1,00 m de distancia y a 0,50 entre golpes, y dos plantas por golpe (19, 41). En un trabajo realizado en México sobre asociaciones

*ly = Langley = 1 cal cm⁻²

de maíz y frijol a diferentes densidades, se concluyó que para lograr un alto rendimiento total, es necesario tener una población arriba de 65.000 pl/ha de frijol y 40.000 pl/ha de maíz con buena fertilización.

Allen (8), desarrollando modelos para la penetración de la luz en surcos anchos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) predice que en un día, la orientación de surco E-O podría interceptar solamente el 37 por ciento de la radiación, mientras que la orientación de surco N-S interceptaría el 44 por ciento. Las orientaciones NE-SO y NO-SE dan el 42 por ciento de intercepción y un arreglo al azar de las plantas interceptaría el 54 por ciento de la radiación.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización del experimento

El trabajo se realizó bajo condiciones de campo, en el área experimental del Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales del CATIE, en Turrialba, a 9°53' Latitud Norte, 83°39' Longitud Oeste y a 602 m s.n.m. Según la clasificación de zonas de vida de Holdridge (26, 27), el área experimental se encuentra en Bosque muy húmedo premontano. El clima es húmedo caliente, con temperaturas promedio: máximas de 27 C, mínima 17,6 C y media 22,3 C. La precipitación pluvial anual promedio llega a 2662,8 mm y la radiación solar total promedio diario a 415,12 cal cm⁻² (19). Los suelos son de origen aluvial fluvio lacustre, de la serie Instituto arcilloso (Inseptisol Typic Distropepts) (2), con drenaje normal a impedido y fertilidad media a baja (41).

3.2 Establecimiento del experimento

Se estableció en un terreno de 12 m de ancho y 35 m de largo. La preparación del suelo fue mediante tres pasadas de Roto-vator, llegando a una profundidad de labranza de 15 a 20 cm.

Una vez preparado el terreno se procedió a la delimitación de las parcelas y orientación de los surcos. La orientación E-0 fue paralela al eje mayor del campo y las otras dos orientaciones a 45° grados de ésta, NE-SO y NO-SE.

Se sembró después de abonar en bandas y se instaló un juego de instrumentos meteorológicos fuera del cultivo.

3.3 Material empleado

a) Material vegetal

Se utilizó maíz cultivar Tuxpeño semilla crema, planta baja, proporcionado por el Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales del CATIE.

b) Instrumentos meteorológicos

Se dispuso de siete juegos de instrumentos meteorológicos, parte de ellos montados sobre una mesa de 0,40 m de ancho; 0,30 de alto y 1,50 m de largo, pintada de color plateado.

Seis juegos fueron instalados dentro del cultivo, entre las hileras de maíz. El otro fuera del cultivo, suficientemente alejado para evitar que la sombra de las plantas de maíz influyan sobre él.

Cada juego de instrumentos dentro del cultivo tenía: Un radiómetro integrador Gunn-Bellani de lectura directa, un higrotermógrafo protegido por abrigo meteorológico, hecho de láminas de poliestirene.

Los instrumentos fuera del cultivo fueron: Un pluviómetro montado sobre base metálica a 1,50 m del suelo. Un evaporímetro de Piche a 1,20 m de altura. Un radiómetro integrador Gunn-Bellani de lectura directa. Un higrotermógrafo dentro de abrigo meteorológico y un higrómetro.

3.4 Manejo del material

a) Material vegetal

Cada kilo de semilla fue tratado con una mezcla de 43 gramos de aldrín al 2,5 por ciento y 22 gramos de ortocide al 50 por ciento. La siembra fue manual, colocando tres semillas por golpe, para eliminar una plantita y dejar las dos mejores. Se proporcionó todos los insumos y manejos requeridos para un cultivo normal, en el cuadro A1*, se dan a conocer

* Todos los cuadros con la letra A significa que están en el Apéndice.

en orden cronológico las principales labores de cultivo y actividades realizadas durante el experimento.

Para realizar un estudio comparativo de la variación de las plantas con la edad, se hicieron cinco muestreos y la cosecha. El intervalo entre períodos de muestreo varió de 24 a 21 días, contados a partir del momento en que las plantitas se habían implantado, e iniciaron su actividad fotosintética con tres o cuatro hojas (4).

Los períodos de muestreo fueron:

Período	días		
0	Siembra	-	Implantación (8 días)
1	1	-	24
2	25	-	45
3	46	-	66
4	67	-	87
5	88	-	108
6	108	-	129 (cosecha)

b) Instrumentos meteorológicos

Antes de iniciar el trabajo, todos los instrumentos fueron calibrados y estandarizados. Los radiómetros Gunn-Bellani, fueron estandarizados utilizando dos factores para cada instrumento. Uno cuando el bástago del radiómetro se encontraba sobre la superficie del suelo y el otro cuando las lecturas a 0,20 m obligaban a introducir el bástago del radiómetro en un tubo de plástico dentro del suelo. Estas diferencias son debidas a la influencia de la temperatura que circunda el bástago del radiómetro en la condensación del alcohol evaporado por la radiación solar (47).

Los factores K usados fueron:

N de radiómetro	Factor a 0,20 m	Factor a 0,70 y 1,20 m
1	23,51	20,9
2	21,15	18,8
3	21,15	18,8
4	21,15	18,8
5	20,25	18,0
6	23,17	20,6
7	21,15	18,8

De tal manera que a igualdad de radiación solar, las lecturas de los instrumentos multiplicadas por sus factores daban cifras iguales.

La radiación solar total fuera del cultivo fue registrada diariamente desde la siembra hasta la cosecha, a 1,20 m de altura.

La radiación solar total dentro del cultivo fue medida diariamente de manera alternativa a tres alturas: 0,20 m; 0,70 m; y 1,20 m sobre el suelo. Los radiómetros se montaron sobre un doble tubo de plástico que permitía variar la altura de exposición del instrumento de 0,70 m a 1,20 m. Para los registros de radiación a 0,20 m de altura se utilizó un tubo de plástico de una pulgada de diámetro por 0,80 m de largo, con el extremo tapado. Este tubo se introdujo al suelo a pocos centímetros del doble tubo anteriormente indicado, dejando cinco centímetros sobre la superficie. El vástago del radiómetro entraba al suelo protegido por el tubo de plástico, manteniendo la esfera del radiómetro a 0,20 m del suelo mediante una pinza de laboratorio, de tal manera que entre la parte superior del tubo y la esfera quedaban 0,10 m libres de vástago, para refrigeración.

Dentro del cultivo las observaciones de la radiación solar por alturas, se iniciaron de acuerdo al tamaño de las plantas con la edad:

Altura de observación (m)	Inicio de las lecturas (días de la implantación)
0,20	24
0,70	32
1,20	40

Después de los 40 días un radiómetro permaneció en la misma parcela durante tres días seguidos, midiendo la radiación solar de una altura cada día en forma sucesiva. De esta manera, la radiación de cada nivel fue registrada una vez en tres días. Después de los tres días los radiómetros rotaron a otra parcela, cambiando de lugar dentro de ellas. A los 21 días todos los radiómetros registraban todas las condiciones del ensayo, cumpliendo un ciclo rotacional.

Todos los instrumentos fueron puestos en cero diariamente, y con el dato de la altura de la columna de alcohol después de 24 horas, se calculó la radiación total mediante la siguiente fórmula:

$$Q = h \times k$$

donde: $Q =$ radiación solar total en $\text{cal cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$

$h =$ altura de la columna de alcohol en cm

$k =$ constante instrumental

Cada uno de los higrotermógrafos fueron calibrados independientemente para temperatura y humedad relativa con los instrumentos de la estación de meteorología del CATIE.

Los registradores de temperatura están basados en la diferencia

de dilatación dada por el órgano sensible bimetalico, y los registradores de humedad en la extensión o contracción de un haz de cabellos por presencia de humedad ambiental.

Con cada higrotermógrafo se colocó un higrómetro, construido con dos termómetros de mercurio, uno con bulbo seco y el otro con bulbo húmedo. Las lecturas instantáneas de temperatura y humedad dadas por este instrumento, sirvieron para controlar las mediciones graficadas por los higrotermógrafos. De tal manera, que se mantuvo un continuo chequeo de los registradores de humedad y temperatura.

Fuera del cultivo el higrotermógrafo e higrómetro se instalaron sobre una mesa a 0,50 m del suelo y se tomaron datos desde la siembra hasta la cosecha.

Los seis juegos de instrumentos que se instalaron dentro del cultivo fueron colocados sobre mesas entre hileras de maíz a 0,50 m del suelo. Las lecturas se iniciaron cuando las plantas tuvieron 0,80 m de altura, a los 36 días después de la implantación.

Semanalmente los instrumentos fueron cambiando de parcela y dentro de cada una de ellas cambiando de lugar. De esta manera estuvieron moviéndose continuamente entre y dentro parcelas, para evitar sesgos instrumentales y conseguir una estimación promedio de las condiciones de temperatura y humedad dentro del cultivo.

Cada semana se cambiaron las bandas de registro de todos los instrumentos para su procesamiento.

Las lecturas del pluviómetro se realizaron diariamente mediante una regla graduada que expresaba la precipitación caída en milímetros.

El evaporímetro de piché fue leído diariamente, y su información expresada en mililitros transformada posteriormente a milímetros de evaporación del tanque mediante regresión. Los datos de evaporación constituyen la evaporación medida.

3.5 Tratamientos

Los tratamientos fueron:

a) Orientaciones

Se eligieron tres orientaciones de surco, tomando como base el movimiento aparente del sol y sus inclinaciones a 45 grados a cada lado:

Orientación de surco	clave
Este-Oeste	E - O
Noreste-Suroeste	NE-SO
Noroeste-Sureste	NO-SE

b) Densidades

Las densidades de siembra fueron:

40.000 pl/ha

80.000 pl/ha

La variación del número de plantas por unidad de superficie se consiguió manteniendo constante el distanciamiento entre surcos y modificando el número de plantas sobre el surco. Los surcos tuvieron 1,00 m de separación y la distancia de sembrío sobre ellos varió de 0,25 a 0,50 m, de tal forma que el número de plantas de una densidad fue el doble de la otra, manteniendo en todos los casos dos plantas por golpe.

Las orientaciones de surco estuvieron en parcelas de 225 m² cada una. Dentro de cada orientación se pusieron poblaciones de 40.000 y

80.000 pl/ha en donde se instalaron los instrumentos meteorológicos para realizar las observaciones dentro de cultivo (Fig. 1)

3.6 Dosis de fertilizantes

La aplicación de fertilizantes se realizó en dos fechas empleando fórmulas de uso comercial.

La primera aplicación fue antes de la siembra, empleando 300 kilos por hectárea de la fórmula 15-30-8, equivalente a 45 kilos de N; 90 kilos de P_2O_5 y 24 kilos de K_2O .

La segunda aplicación fue en bandas, a 0,20 m de pie de las plantas, treinta días después de la siembra. Se usaron 500 kilos por hectárea de la fórmula 20-10-6-5, correspondiente a 100 kilos de N; 50 kilos de P_2O_5 ; 30 kilos de K_2O y 25 kilos de MgO .

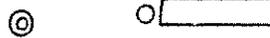
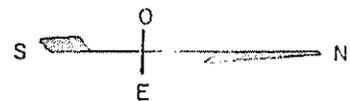
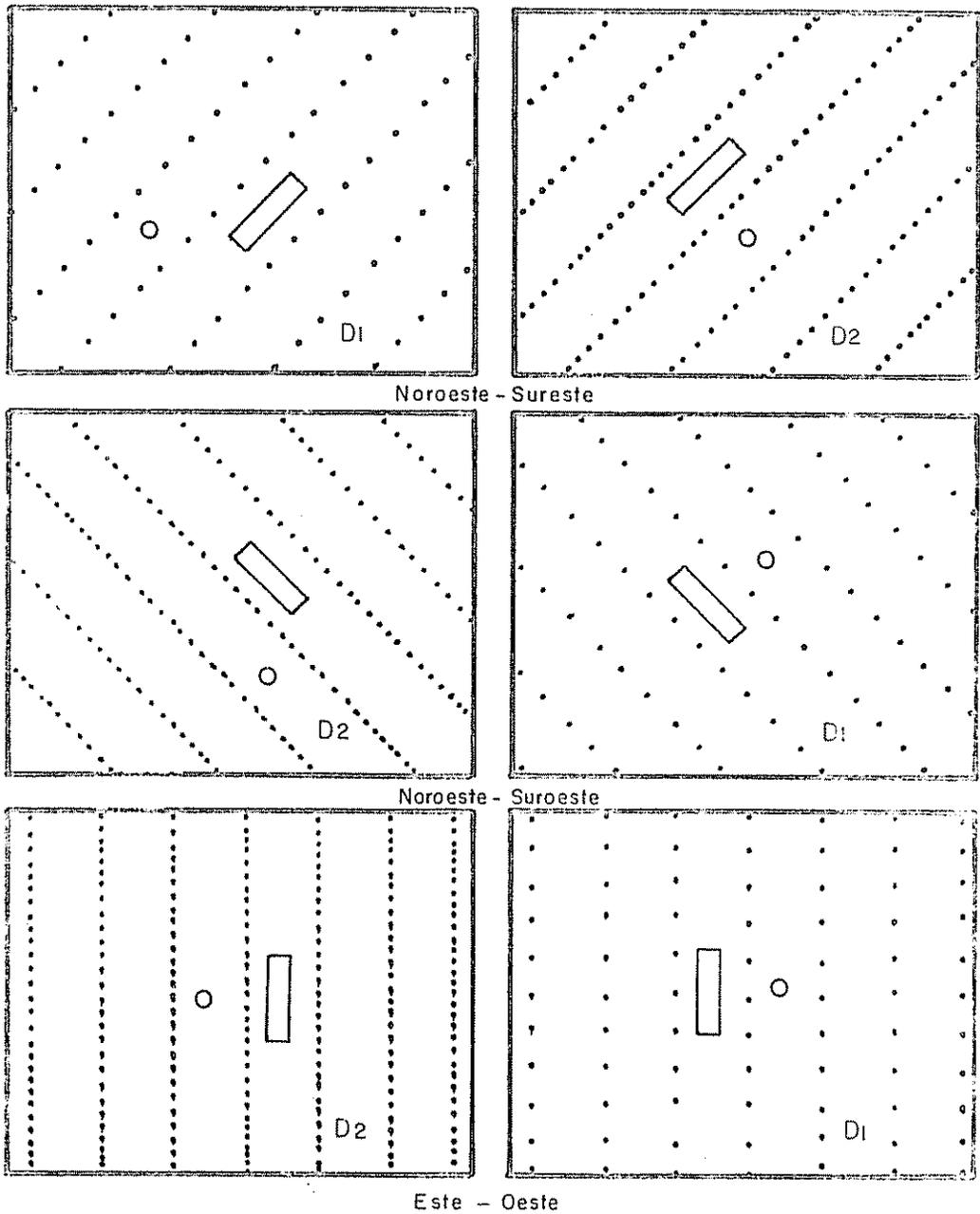
3.7 Información climática

Los datos dentro del cultivo constituyen la variable de respuesta microclimática. Esta información es agrupada en promedios diarios por períodos de muestreo.

La comparación de datos microclimáticos se realiza a partir del segundo período (24 días de la implantación), porque anteriormente las condiciones, se estima, fueron similares al exterior del cultivo.

Para comparar la radiación solar por alturas dentro y fuera del cultivo, se promediaron los días de observación a una misma altura dentro del cultivo. Fuera del cultivo se promedió la radiación solar de los mismos días para hacerlas comparables.

Las variables analizadas fueron las siguientes:



▭ Mesas de instrumentos

○ Radiómetros

⊙ Pluviómetro

D1 = 40 000 pl/ha

D2 = 80 000 pl/ha

Fig. 1 Distribución de parcelas e instrumentos meteorológicos dentro de un cultivo de maíz var. Tuxpeño a dos densidades de siembra y tres orientaciones de surco

- 1) Radiación solar total fuera del cultivo
- 2) Radiación solar total dentro del cultivo a 0,20; 0,70 y 1,20 m del suelo, por tratamiento
- 3) Temperatura fuera del cultivo:
 - a. Máxima
 - b. Mínima
 - c. Media
 - d. Oscilación
 - e. Grados día
- 4) Temperatura dentro del cultivo por tratamiento:
 - a. Máxima
 - b. Mínima
 - c. Media
 - d. Oscilación
 - e. Grados día
- 5) Humedad relativa fuera del cultivo:
 - a. Mínima
 - b. Horas al 100% de ambiente saturado de humedad
- 6) Humedad relativa dentro del cultivo por tratamiento:
 - a. Mínima
 - b. Horas al 100% de ambiente saturado de humedad
- 7) Precipitación pluvial fuera del cultivo
- 8) Evaporación medida fuera del cultivo

La oscilación térmica se consigue restando de la temperatura máxima la temperatura mínima del mismo día.

La fórmula empleada para el cálculo de las unidades calóricas efectivas (25, 44) o grados día es la siguiente (43):

$$\text{G.D.} = \frac{T_M + T_m}{2} - (10 + E)$$

donde:

G.D. = Grados día

T_M = Temperatura máxima

T_m = Temperatura mínima

10 = Temperatura básica para el maíz, en C.

E = Número de grados C sobre el máximo 32 C.

3.8 Información biológica

Para conocer las variaciones de los componentes biológicos con la edad del cultivo, se realizaron muestreos irrestrictos al azar cada 21 días. El tamaño de la muestra fue determinado por período y tratamiento, mediante muestreos previos, tomando como referencia la variabilidad de la altura de planta. Se utilizó la siguiente fórmula:

$$n = \frac{1}{\frac{d^2}{s^2 t^2} + \frac{1}{N}}$$

donde: n = tamaño de muestra

d = precisión

s² = varianza

t = nivel de confiabilidad

N = tamaño de la población

Los componentes biológicos observados por muestreo y tratamiento fueron:

- a) Altura de planta
- b) Area foliar
- c) Peso seco de hojas
- d) Peso seco de tallos
- e) Peso seco de inflorescencias
- f) Peso seco de granos
- g) Biomasa total de la parte aérea

La altura de la planta fue medida del suelo al ángulo superior formado por la curvatura de la última hoja, cuando las plantas no tenían inflorescencias, y a la inserción de la última hoja cuando se desarrolló la inflorescencia.

El área foliar fue calculada según la fórmula (39):

$$Y = E (L \times W) (0,73)$$

donde: Y = Area foliar

E = Sumatoria

L = Largo de hoja

W = Ancho máximo de hoja

0,73 = Constante

Para determinar los pesos secos se separó en cada muestra hojas, tallos e inflorescencias y se picaron para un mejor secado. Las muestras fueron colocadas en estufa a 70 C. por 73 horas.

De los componentes biológicos básicos se generó:

a) Componentes morfológicos del crecimiento (34):

1. Índice de Area Foliar (IAF), según la siguiente fórmula (62):

$$\text{IAF} = \frac{\text{Area foliar por planta}}{\text{Area de suelo por planta}} \quad \text{dm}^2/\text{dm}^2$$

2. Razón Peso Foliar (RPF) (33):

$$\text{RPF} = \frac{\text{Peso seco de hojas}}{\text{Peso seco total}} \quad \text{g/g}$$

3. Razón Area Foliar (RAF) (15, 48):

$$\text{RAF} = \frac{\text{Area foliar total}}{\text{Peso seco total}} \quad \text{dm}^2/\text{g}$$

4. Area Foliar Específica (AFE) (10):

$$\text{AFE} = \frac{\text{Area foliar total}}{\text{Peso seco foliar total}} \quad \text{dm}^2/\text{g}$$

b) Componentes fisiológicos del crecimiento (34):

1. Índice de Crecimiento Relativo (ICR) (48):

$$\text{ICR} = \frac{\text{Log}_e W_2 - \text{Log}_e W_1}{t_2 - t_1} \quad \text{g/g/semana}$$

donde: W_1 = Peso seco inicial

W_2 = Peso seco final

$t_2 - t_1$ = Intervalo de tiempo

2. Índice de Crecimiento Relativo del Area Foliar (ICRF) (64):

$$\text{ICRF} = \frac{\text{Log}_e A_2 - \text{Log}_e A_1}{t_2 - t_1} \quad \text{dm}^2/\text{dm}^2/\text{semana}$$

donde: A_1 = Area foliar inicial

A_2 = Area foliar final

3. Índice de Asimilación Neta (IAN) (48):

$$IAN = \frac{W_2 - W_1}{A_2 - A_1} \cdot \frac{\text{Log}_e A_2 - \text{Log}_e A_1}{t_2 - t_1} \quad \text{g/dm}^2/\text{semana}$$

c) Componentes Agronómicos:

1. Tasa de Producción de Materia Seca (TPMS):

$$TPMS = \frac{W_2 - W_1}{S(t_2 - t_1)} \quad \text{g/m}^2/\text{día}$$

donde: S = Area de terreno por planta en m^2

2. Eficiencia fotosintética (EF) (7):

$$EF = \frac{TPMS \times 3.700}{R \times 0,45}$$

donde: R = Radiación solar promedio diario en cal cm^{-2}

0,45 = Constante

3.700 = Constante fotosintética

3. Índice de Cosecha (K):

$$K = \frac{\text{Peso seco bruto comercial}}{\text{Peso seco total de la planta a edad de cosecha}}$$

3.9 Análisis de la información

Con los datos climáticos y biológicos observados y las variables generadas a partir de éstos, se realizaron los siguientes análisis estadísticos:

1. Pruebas de diferencias de medias

a) Para variables climáticas:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2, \mu_3, \dots \mu_n$$

$$H_a : \mu_1 \neq \mu_2, \mu_3, \dots \mu_n$$

donde: H_0 = Hipótesis nula H_1 = Hipótesis alterna μ_1 = Promedios de las variables climáticas fuera del cultivo (radiación solar, temperatura...) $\mu_2, \mu_3, \dots \mu_n$ = Promedio de las variables climáticas dentro del cultivo por tratamiento

b) Para variables biológicas:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots \mu_n$$

$$H_a : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \dots \mu_n$$

donde: $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots \mu_n$ = Promedio de las variables biológicas por densidades u orientación

2. Polinomios de segundo orden

Las variables climáticas observadas y generadas dentro del cultivo fueron analizadas por polinomios cuadráticos, según el siguiente modelo:

$$\begin{aligned}
 Y_{ijkl} = & B_0 + B_1 X_i + B_2 X_j + B_3 X_k + B_4 X_l + B_{22} X_j^2 + B_{33} X_k^2 + B_{44} X_l^2 \\
 & + B_{12} X_i X_j + B_{13} X_i X_k + B_{14} X_i X_l + B_{23} X_j X_k + B_{24} X_j X_l \\
 & + B_{34} X_k X_l + E_{ijkl}
 \end{aligned}$$

donde: Y_{ijkl} = Variable de respuesta (una observación de una variable climática)

VARIABLES ALEATORIAS:

X_i = Densidad $i = \{1, 2\}$

X_j = Orientación $j = \{1, 2, 3\}$

X_k = Períodos de muestreo $k = \{24, 45, 66, 87, 108, 129\}$

X_l = Alturas de registro $l = \{1, 2, 3\}$

X_j^2, X_k^2, X_l^2 = Efectos cuadráticos

$X_i X_j \dots X_k X_l$ = Efectos cruzados

COEFICIENTES:

B_0 = Intercepto de Y

B_1 = Efecto simple de densidad

B_2 = Efecto simple de orientación

B_3 = Efecto simple de períodos

B_4 = Efecto simple de alturas de registro

$B_{22} \dots B_{44}$ = Efectos cuadráticos

$B_{12} \dots B_{32}$ = Efectos cruzados

E_{ijkl} = Error experimental

3. ANÁLISIS DE VARIANCIA

La información de altura de planta, área foliar e índice de área foliar son analizadas como factoriales según el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + \tau_j + \lambda_k + (\beta\tau)_{ij} + (\beta\lambda)_{ik} + (\tau\lambda)_{jk} + (\beta\tau\lambda)_{ijk} + \epsilon_{ijk}$$

donde: Y_{ijk} = Variable de respuesta
 μ = Media común
 β_i = i ésimo período de muestreo
 τ_j = j ésima orientación
 λ_k = k ésima densidad
 ϵ_{ijk} = Error experimental

4. Correlaciones

Se realizan correlaciones entre las variables biológicas y entre las variables climáticas y biológicas. El coeficiente de correlación se puede considerar como un estimador de la asociación entre dos variables. La fórmula general es:

$$R = D_{sii}^{-1/2} (X'X) D_{sii}^{-1/2}$$

donde:

R = Matriz de correlación

$X'X$ = Matriz de la suma de productos y cuadrados corregidos

$D_{sii}^{-1/2}$ = Matriz diagonal cuyos elementos son inversos de la raíz cuadrada de la diagonal $X'X$

Se formaron dos matrices de correlación:

- a. Variables biológicas básicas y generadas de 16×16 con 24 observaciones.
- b. Variables climáticas observadas y generadas, y variables biológicas observadas, de 23×23 con 24 observaciones.

5. Regresiones

Se efectuaron regresiones entre variables biológicas y climáticas con la edad. Las regresiones se ajustaron a las

siguientes funciones:

Lineal: $y_i = b_0 + b_1 x_i$

Cuadrática: $y_i = b_0 + b_1 x_i + b_2 x_i^2$

Logarítmica: $y_i = b_0 x_i^{b_1}$

Geométrica: $y_i = b_0 b_1^{x_i}$

Raíz cuadrática: $y_i = b_0 + b_1 x_i + b_2 x_i^{0,5}$

Gamma: $y_i = b_0 e^{-b_1 x_i} x_i^{b_2}$

donde:

y_i = Variable de respuesta

x_i = Variable aleatoria

b_0, e = Constantes

b_1 = Tasa lineal

b_2 = Tasa logarítmica o cuadrática

Los coeficientes de las funciones sigmoidea y gamma fueron estimados por proceso iterativo por tratarse de funciones no lineales.

4. RESULTADOS

4.1 Análisis de las variables climáticas

4.1.1 Radiación solar

En los Cuadros A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8 y A9, y las Figuras 2, 3, 4, 5, y 6 se encuentra la información pertinente a los aspectos de radiación solar fuera y dentro del cultivo.

Radiación solar fuera del cultivo

En el Cuadro A2 se muestran los datos básicos de radiación solar diaria promedio y acumulada por períodos fuera del cultivo. En él se nota que el promedio diario por período tiende a aumentar con el tiempo, lo cual puede verse mejor en las Figuras 2 y 3. La radiación total acumulada llegó a $56.281 \text{ cal cm}^{-2}$.

Radiación solar dentro del cultivo

En el Cuadro A3 aparecen los datos básicos de radiación solar dentro del cultivo por densidades, orientaciones, períodos y alturas sobre el suelo en promedios diarios, acumulados y en forma relativa en relación al exterior. A partir de estos datos se hicieron análisis de variancia de regresión para radiación solar (Cuadro A4). Se calcularon los coeficientes de regresión y su significación (Cuadro A5).

Del Cuadro A4 se concluye que existió alta significación para la fuente de variabilidad atribuida a regresión, lo cual determina que las curvas de regresión representan la variación de la radiación solar dentro del cultivo (Figs. 2 y 3). En igual forma, del Cuadro A5 se desprende que no hay efecto de orientaciones de surco sobre la radiación no interceptada dentro del cultivo. Contrariamente se nota efecto de tendencia lineal de las densidades

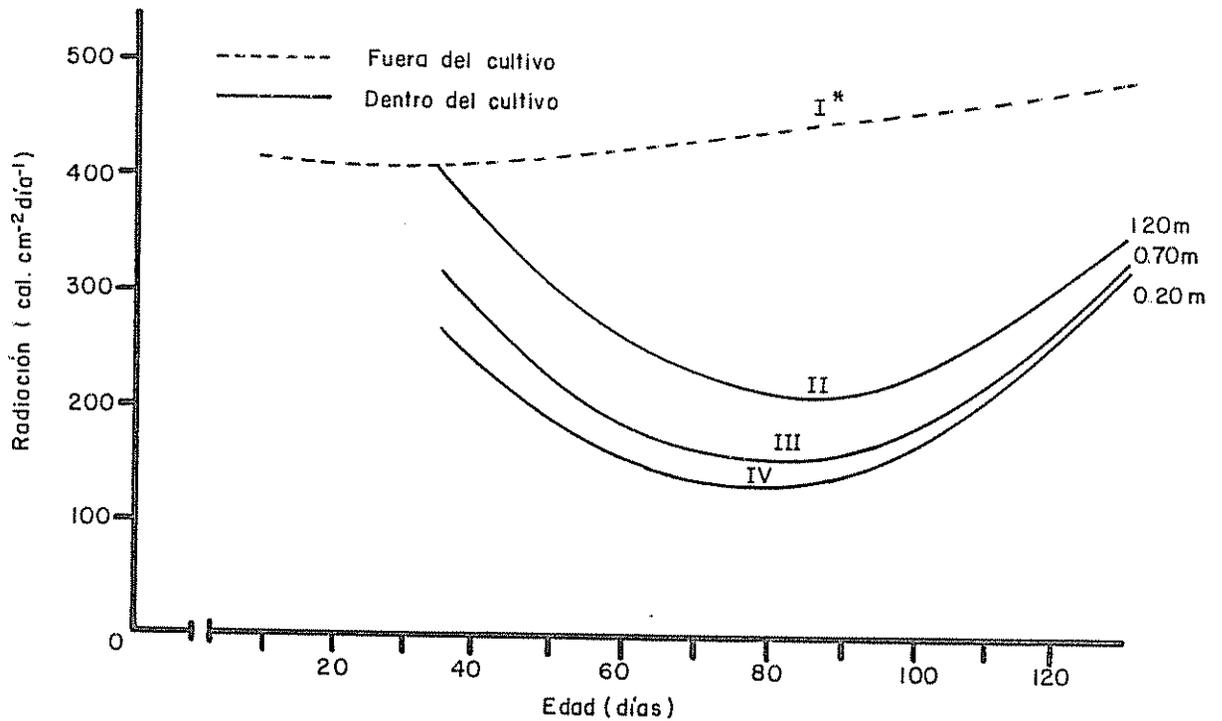


Fig 2 Variación con la edad de la radiación solar total fuera y dentro de un cultivo de maíz var Tuxpeño a tres alturas sobre el suelo. Densidad: 40000 pl/ha
* La ecuación se encuentra en el cuadro A30

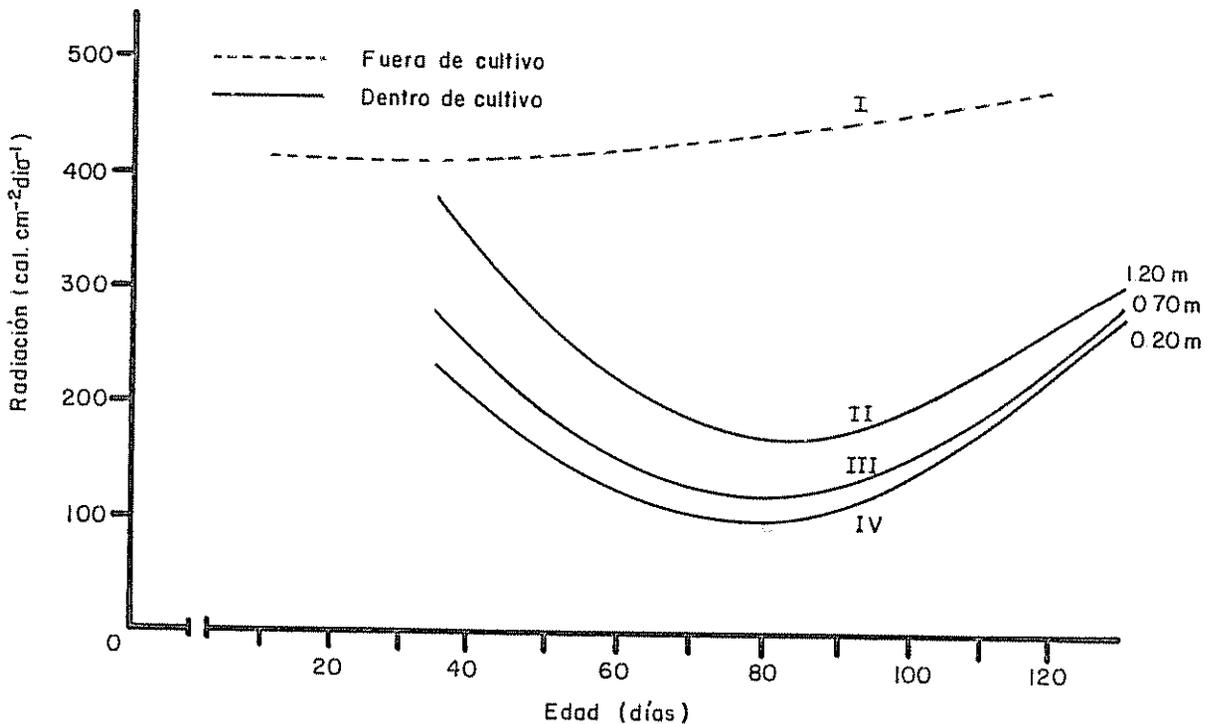


Fig 3 Variación con la edad de la radiación solar total fuera y dentro de un cultivo de maíz var. Tuxpeño a tres alturas sobre el suelo Densidad: 80.000 pl/ha

sobre dicha radiación. La interacción altamente significativa de períodos de muestreo (edad de las plantas) y radiación a diferentes alturas (PA), demuestra que conforme el cultivo va avanzando en edad, las diferencias de radiación por alturas se hacen más manifiestas (Figs. 2 y 3).

En las Figs. 2 y 3 puede notarse que:

- a) Hay tendencias similares en cada densidad para igual altura;
- b) En ambas densidades, las diferencias de radiación solar a 0,20 y 0,70 m van disminuyendo con el desarrollo de las plantas;
- c) Entre ambas densidades se nota el efecto del mayor número de plantas por unidad de área en la intercepción de radiación solar. La diferencia entre densidades para un mismo período y altura se mantiene constante con un promedio de $36 \text{ cal cm}^{-2} \text{ día}$

En las Figs. 4, 5 y 6, se muestran las tendencias, por alturas de la radiación solar acumulada por período y densidad. En las tres figuras se observa la intercepción de la radiación solar por densidades de cultivo, en comparación con la radiación exterior, disminuyendo las diferencias entre ambas conforme aumenta la altura sobre el suelo.

Comparaciones en radiación solar fuera y dentro del cultivo

En los Cuadros A6, A7 y A8, se muestran los promedios, varianzas y coeficientes de variabilidad que caracterizan a la radiación solar exterior al cultivo y a la radiación no interceptada por alturas dentro del mismo. En ellos se encuentra que el coeficiente de variabilidad de la radiación solar dentro del cultivo es mayor al de fuera del cultivo. Con la

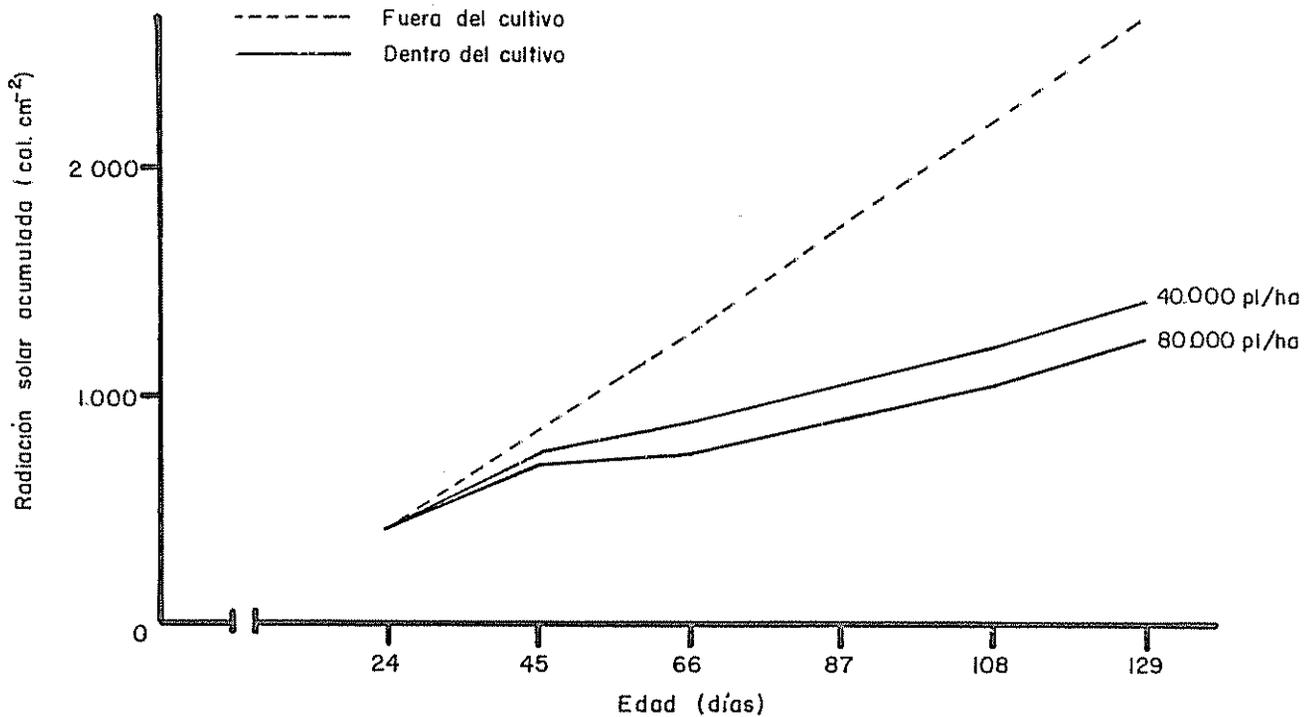


Fig 4 Tendencia de la radiación solar acumulada con la edad a 0.20m del suelo, fuera y dentro de un cultivo de maíz a dos densidades de siembra

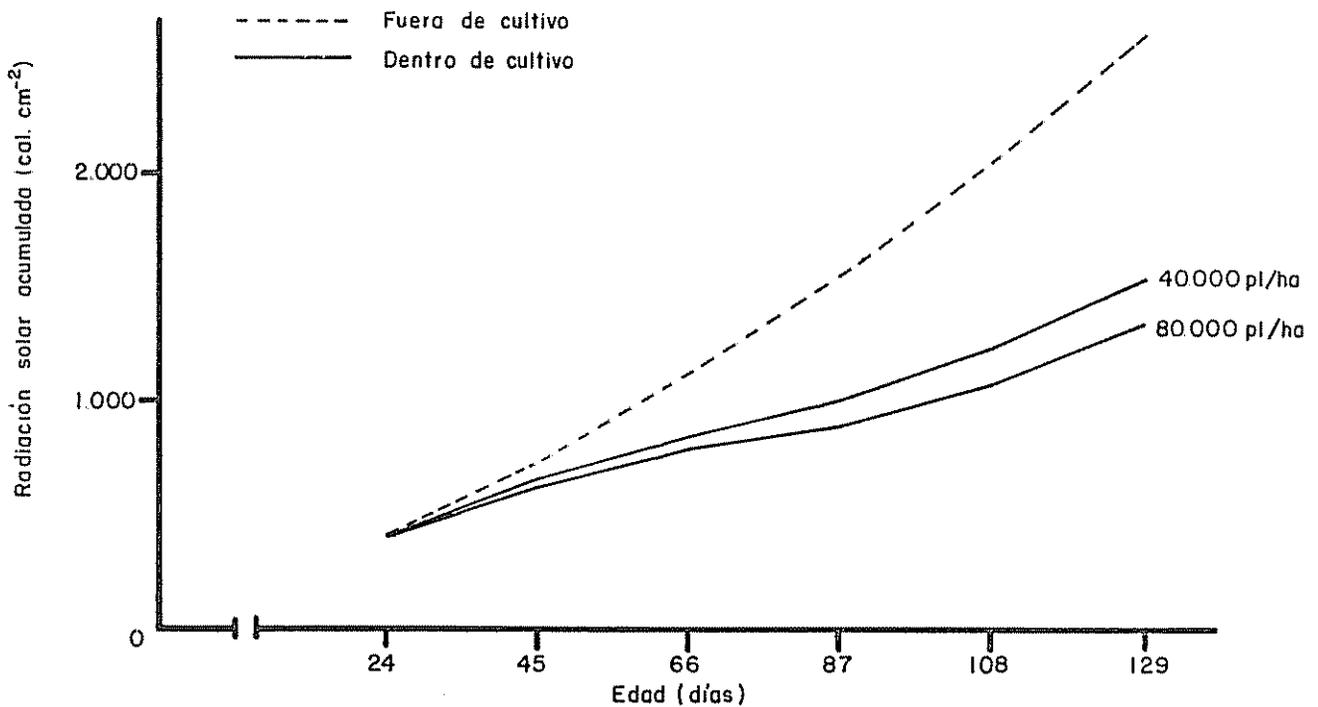


Fig 5 Tendencia de la radiación solar acumulada con la edad a 0.70m del suelo, fuera y dentro de un cultivo de maíz a dos densidades de siembra

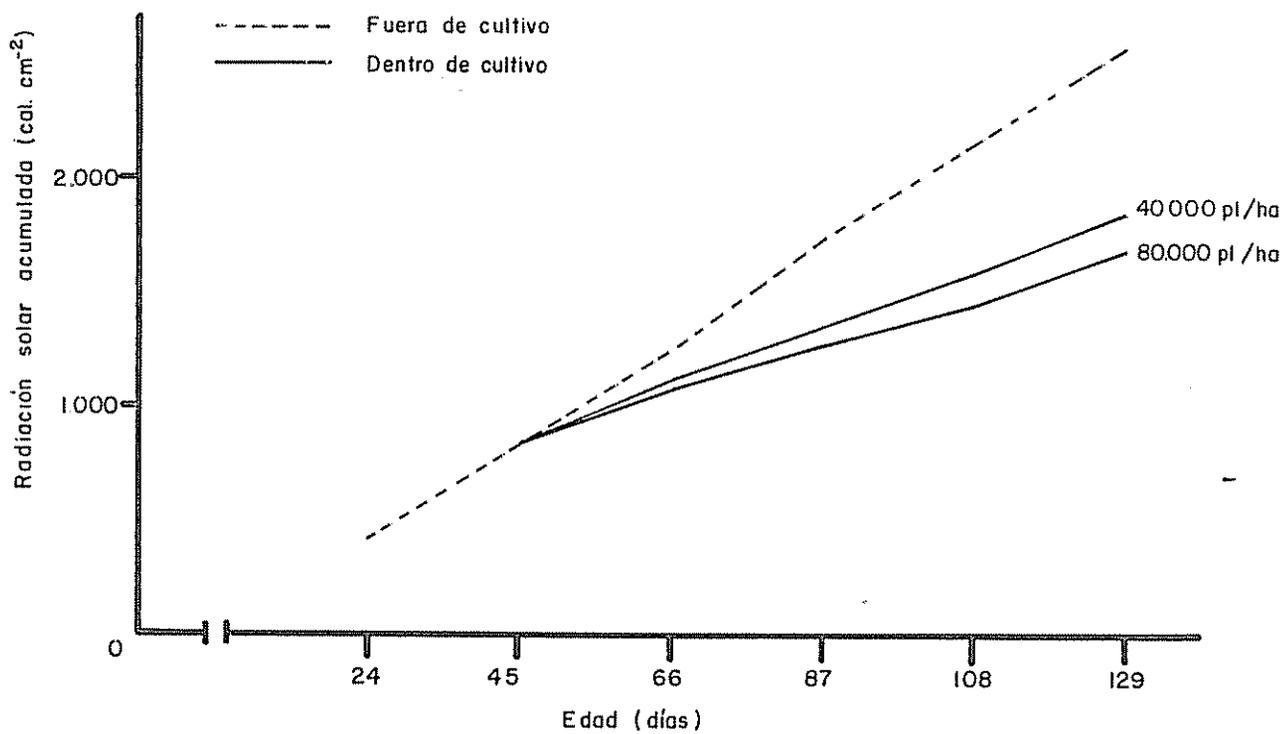


Fig 6 Tendencia de la radiación solar acumulada con la edad a 120 m del suelo, fuera y dentro de un cultivo de maíz a dos densidades de siembra

información de estos cuadros, se realizaron pruebas de diferencias de medias entre radiación solar fuera de' cultivo y radiación solar no interceptada dentro del cultivo, por alturas, densidades y orientaciones. Los resultados de estas pruebas se encuentran en el Cuadro A9, donde puede observarse que en ningún caso la radiación solar dentro del cultivo fue superior a la exterior. Para hacer las pruebas de diferencias de medias, previamente se efectuaron pruebas complementarias de homogeneidad de variancias para cada caso.

4.1.2 Temperatura

En los Cuadros A10, A11, A12, A13, A14 y A15 y las Figuras 7, 8, 9, 10, 11 y 12, se dan a conocer los datos relacionados a las temperaturas fuera y dentro del cultivo.

Temperatura fuera del cultivo

En el Cuadro A10 se presenta la información básica de la temperatura máxima, mínima, media, oscilación térmica y grados día que ocurrieron durante el ciclo de vida del maíz, en promedios diarios por períodos del crecimiento. En este cuadro se puede notar un aumento progresivo de la temperatura con el tiempo, debido principalmente al incremento de las máximas y en menor grado por las mínimas, como puede observarse también en las Figs. 7 y 8.

Temperatura dentro del cultivo

En el Cuadro A11 se muestran los datos básicos de las temperaturas en promedios diarios y grados día acumulados por períodos dentro de un cultivo de maíz a dos densidades de siembra y tres orientaciones de surco. A partir de estos datos se hacen análisis de variancia de las regresiones

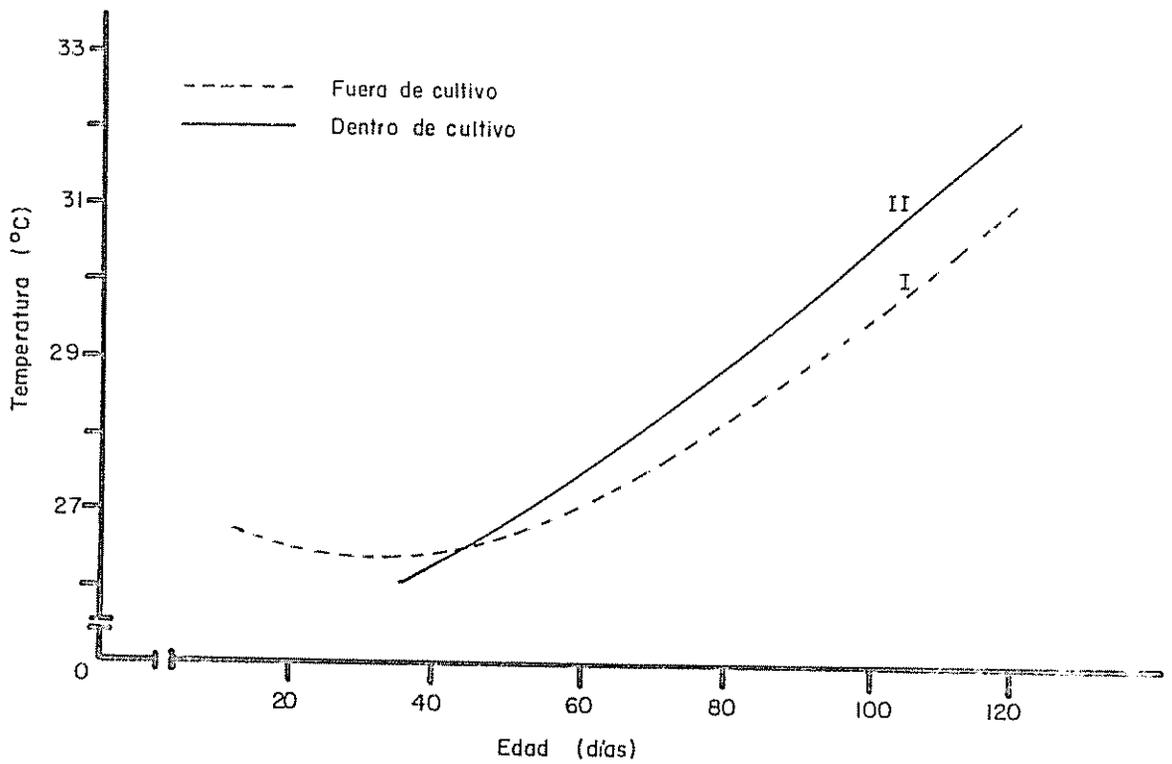


Fig.7 Temperatura máxima fuera y dentro de un cultivo de maíz var. Tuxpeño en relación con la edad

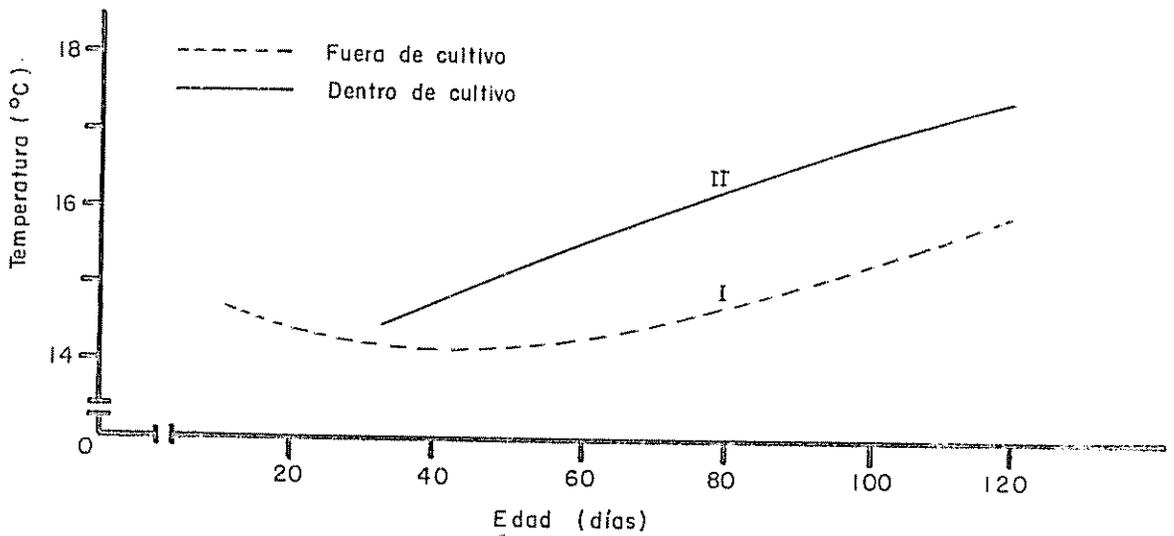


Fig 8 Temperatura mínima fuera y dentro de un cultivo de maíz var. Tuxpeño en relación con la edad

entre temperaturas y densidades de siembra, orientaciones de surco y períodos de muestreo, de donde se deduce que existió alta significación de las fuentes de variabilidad atribuida a regresión para todas las formas en que son expresadas las temperaturas. Luego se calcularon los coeficientes de los polinomios cuadráticos de las curvas de regresión para temperaturas; estos coeficientes son presentados en el Cuadro A13, el cual a su vez sirvió para conocer la significación de los efectos de densidades, orientaciones y períodos de muestreo sobre las temperaturas (Cuadro A14). El Cuadro A14 sintetiza los análisis de las temperaturas dentro del cultivo, notándose lo siguiente:

- a) Las densidades (D) y las orientaciones (O) produjeron variaciones en las temperaturas que no llegaron a ser significativas;
- b) Los períodos (P) produjeron variaciones significativas en las temperaturas medias y grados día; en este último caso se detectó también significación en efectos cuadráticos (Figs. 9 y 11).

Comparaciones entre temperaturas fuera y dentro del cultivo

En el Cuadro A15, se encuentran los resultados y la significación de las pruebas de diferencias de medias entre las temperaturas del exterior e interior del cultivo. De los datos de este cuadro, se establece que existieron diferencias significativas entre las medias de temperatura media, mínima y grados día (Figs. 9, 10, 11 y 12).

Previamente a la elaboración del Cuadro A15, se hicieron pruebas de homogeneidad de varianzas para poder emplear las pruebas de t adecuadas para cada caso.

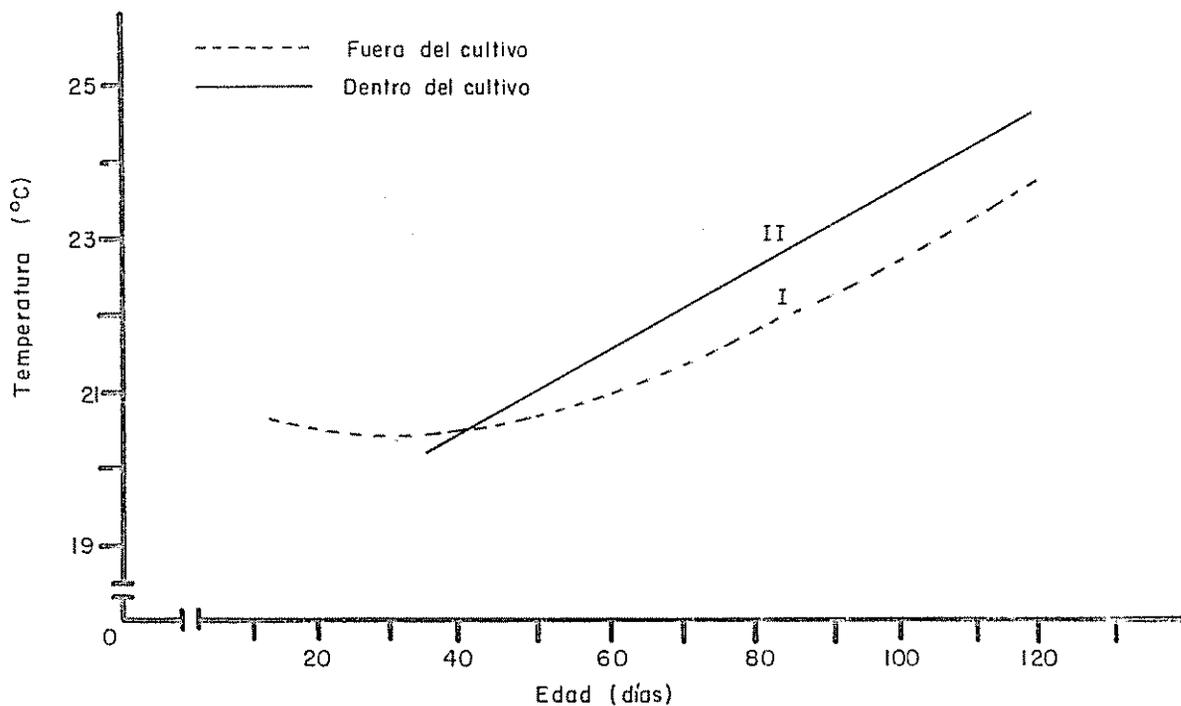


Fig 9 Temperatura media fuera y dentro de un cultivo de maíz var. Tuxpeño en relación con la edad

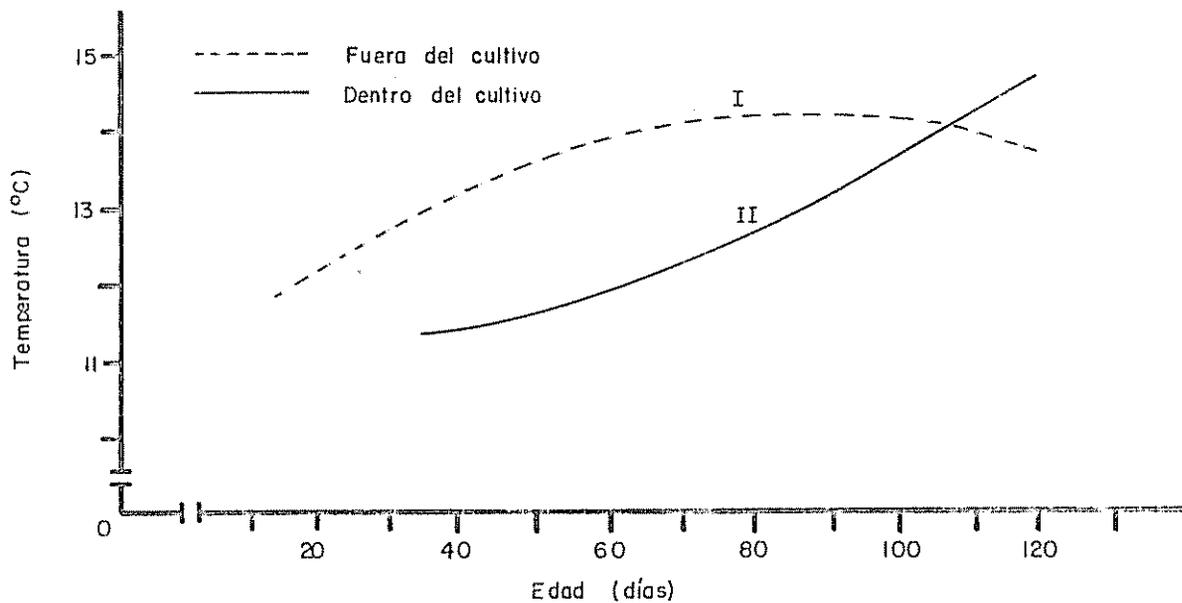


Fig 10 Oscilación térmica fuera y dentro de un cultivo de maíz var. Tuxpeño en relación con la edad

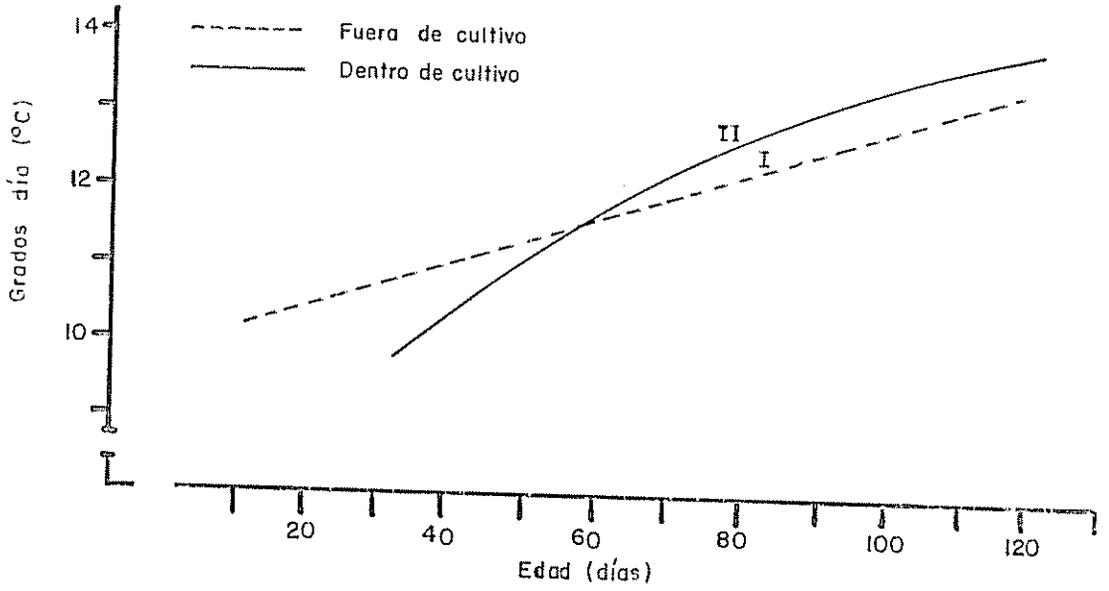


Fig. 11 Promedio diario de grados día fuera y dentro de un cultivo de maíz var. Tuxpeño en relación con la edad

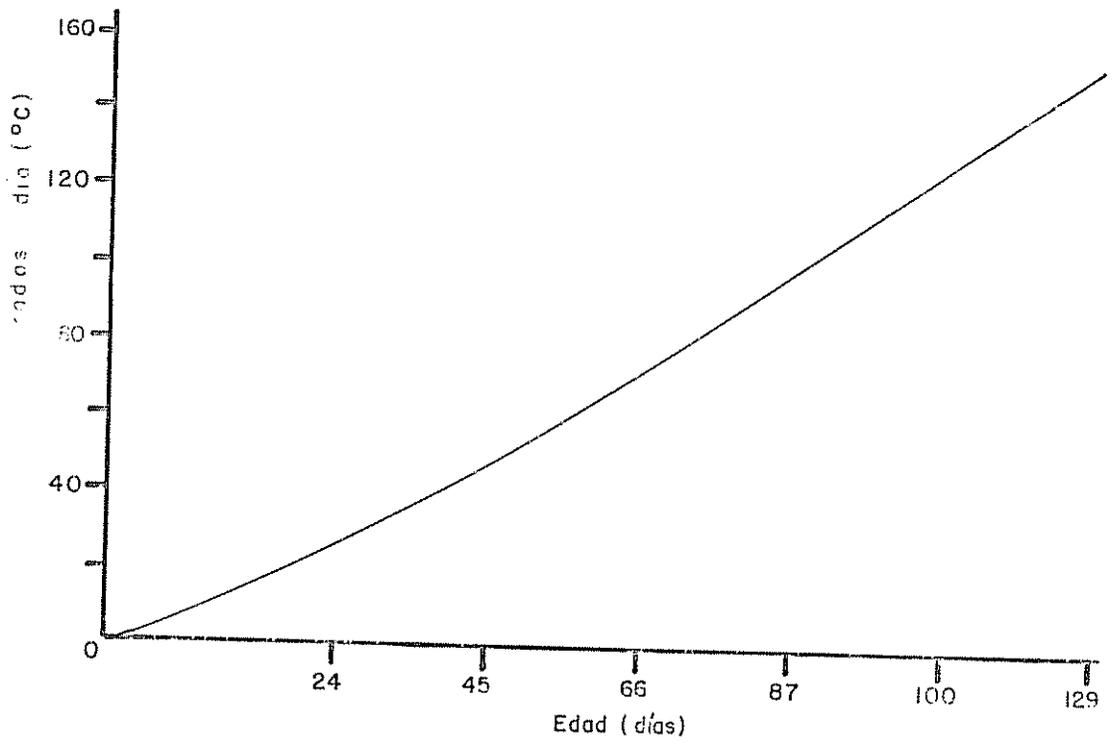


Fig. 12 Grados día acumulados fuera y dentro de un cultivo de maíz var. Tuxpeño por períodos

4.1.3 Humedad relativa

En los Cuadros A16, A17, A18, A19 y A20 y en las Figs. 13 y 14 se encuentran los datos relacionados con la humedad relativa.

Humedad relativa fuera del cultivo

El Cuadro A16 muestra los datos básicos de las condiciones externas de humedad relativa mínima y horas al 100 por ciento de humedad, en valores promedio diarios y acumulados por período. En este cuadro se nota, de manera general, la tendencia de la humedad relativa mínima y horas al 100 por ciento a disminuir con el tiempo, como puede observarse también en las Figs. 13 y 14.

Humedad relativa dentro del cultivo

En el Cuadro A17, se encuentran los promedios diarios y valores porcentuales de la humedad relativa mínima y horas al 100 por ciento que ocurrieron dentro del cultivo de maíz, por densidades de siembra y orientaciones de surco durante el período de cultivo. Con la información de este cuadro se realizaron análisis de variancia para regresión (Cuadro A18), en donde se encontró alta significación de la fuente de variabilidad debida a regresión, para humedad relativa mínima y horas al 100 por ciento. Luego se calcularon los coeficientes de regresión del polinomio cuadrático y la significación de densidades, orientaciones y períodos de muestreo de la humedad relativa dentro del cultivo de maíz (Cuadro A19), por medio de lo cual se encontró que existe efecto cuadrático de períodos de muestreo sobre humedad relativa mínima.

Comparación de humedad relativa fuera y dentro del cultivo

En el Cuadro A20 se encuentran los resultados de las pruebas de

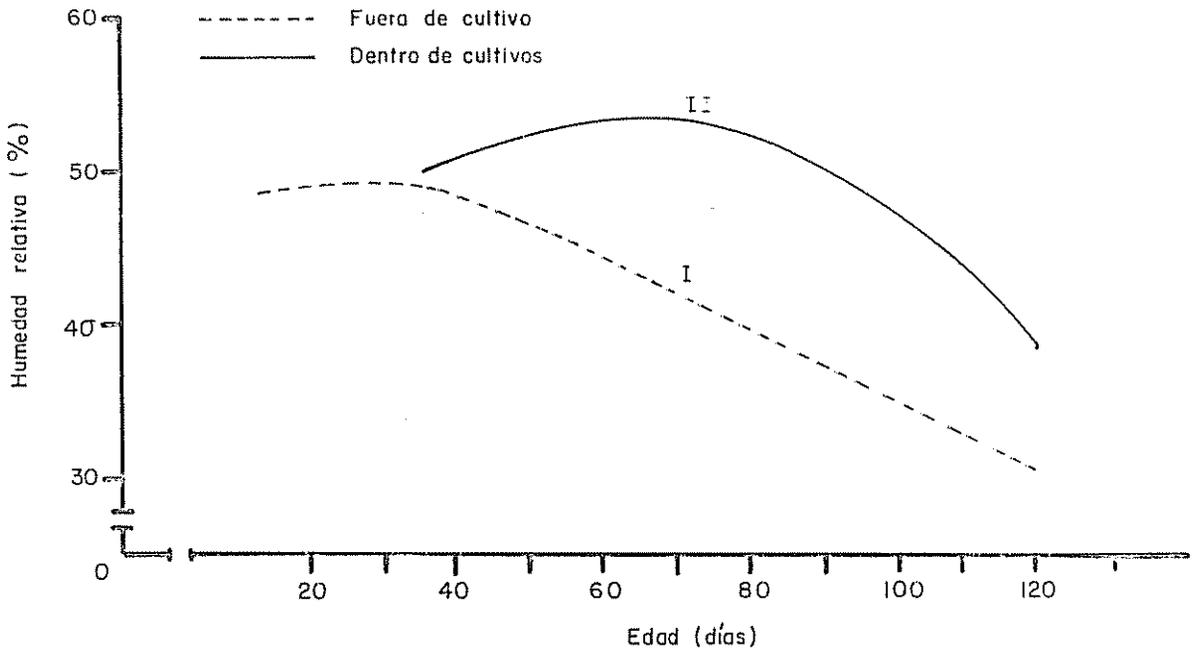


Fig. 13 Variaciones de la humedad relativa mínima fuera y dentro de un cultivo con la edad del maíz var. Tuxpeño

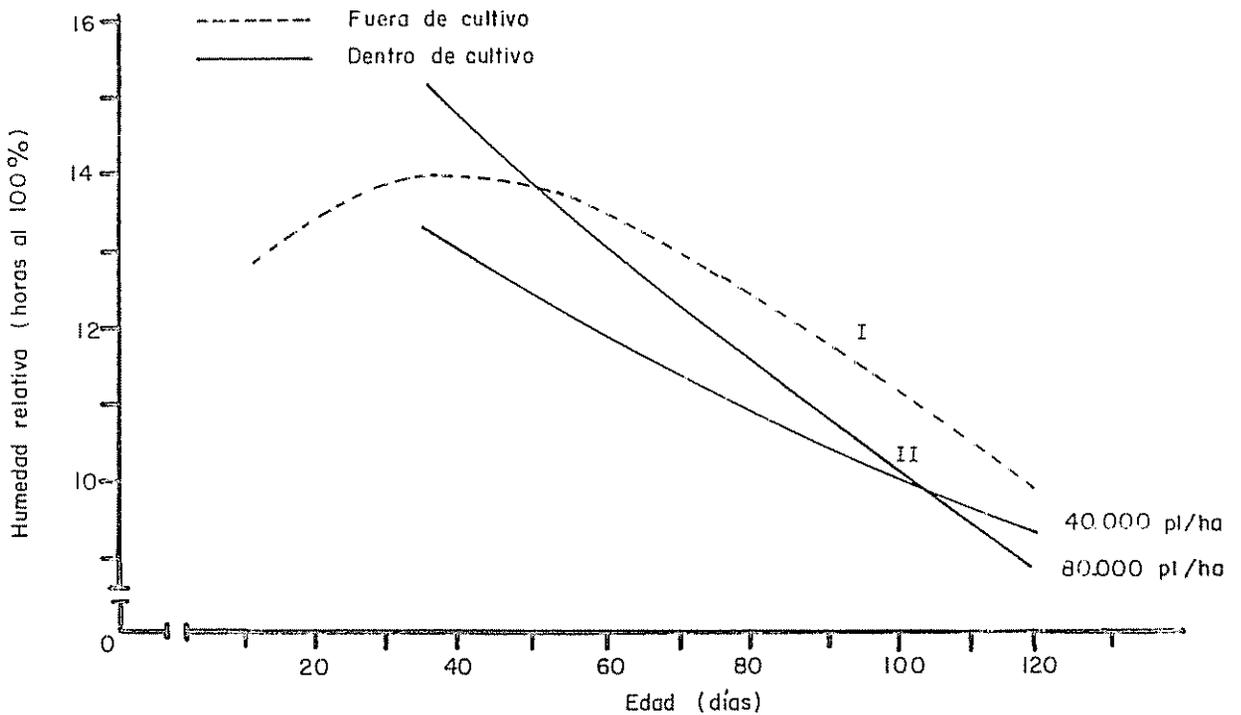


Fig. 14 Variación del número de horas al 100% de humedad relativa fuera y dentro de un cultivo con la edad del maíz var Tuxpeño

significación de las diferencias de medias entre la humedad relativa exterior y la humedad relativa dentro de un cultivo de maíz. Se encontró que la humedad relativa mínima dentro del cultivo es significativamente superior a la del exterior; esta diferencia puede notarse también en la Fig. 13. Contrariamente no existen diferencias en horas al 100 por ciento dentro y fuera del cultivo (Fig. 14).

4.1.4 Lluvia y evaporación

En el Cuadro A21 y las Figs. 16 y 17, se encuentra la información pertinente a las condiciones externas de lluvia y evaporación por períodos y acumulada durante el ciclo de vida del maíz.

Para expresar los ml de evaporación medidos por el evaporímetro de Piche en mm del tanque, se realizó una regresión utilizando la información dada por estos instrumentos en el observatorio meteorológico del CATIE. Se tomaron los datos de 80 días seleccionados entre los meses de octubre a abril de los últimos cuatro años. Esta curva de regresión se presenta en la Fig. 15.

En el Cuadro A21 se puede notar que más de la mitad de la lluvia de todo el período cayó en los primeros ocho días; se observa también que:

- a) El balance hídrico-atmosférico (L-E), fue negativo en todos los períodos excepto en el correspondiente a siembra-implantación;
- b) Expresando la lluvia y evaporación en forma acumulada, el saldo fue negativo en los últimos períodos.

Estas variaciones se pueden notar mejor en las Figs. 16 y 17.

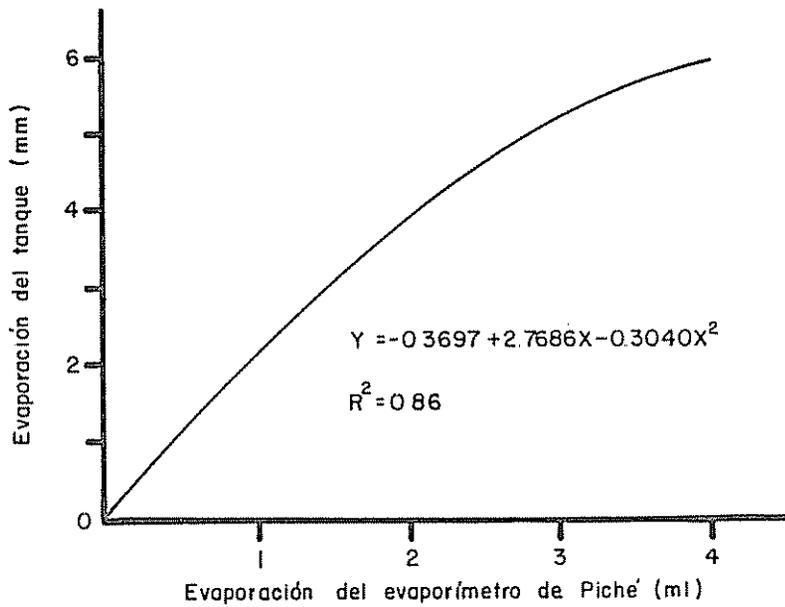


Fig. 15 Regresión de la evaporación en ml del evaporímetro de Piché con la evaporación en mm del tanque

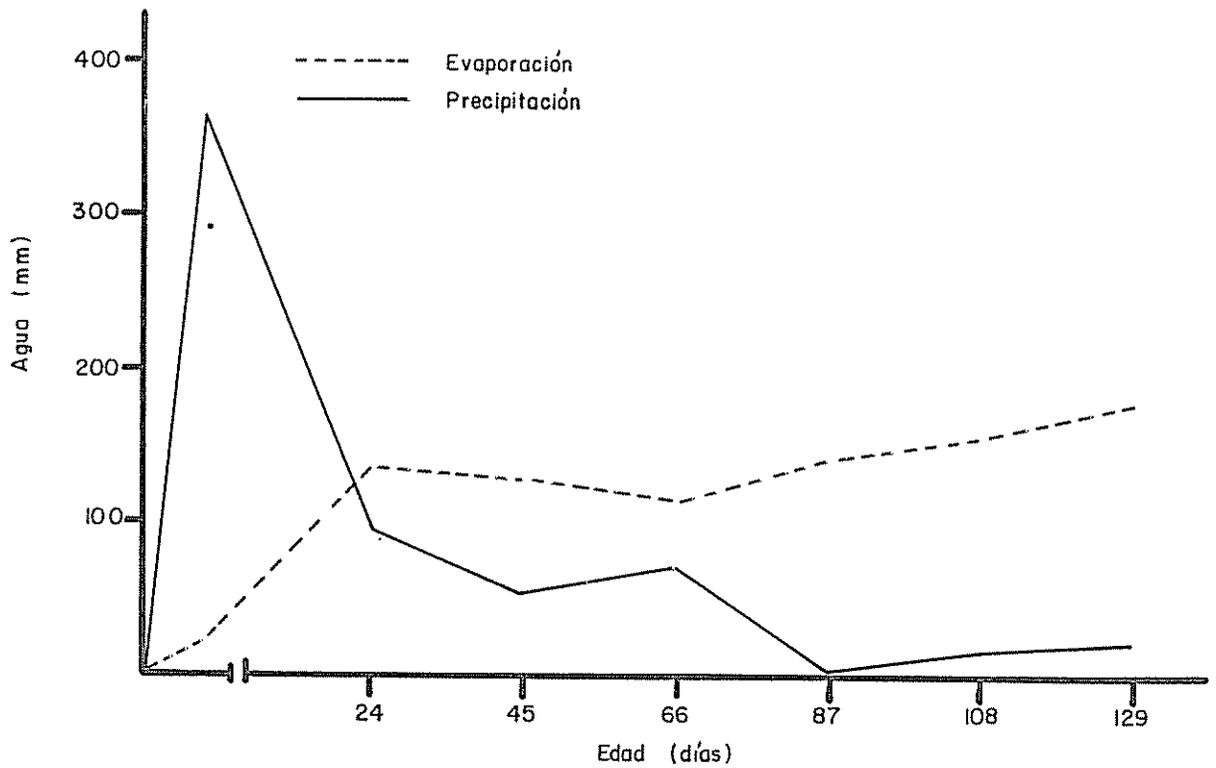


Fig. 16 Lluvia y evaporación media que ocurrieron durante el ciclo de vida del cultivo de maíz. Totales por período

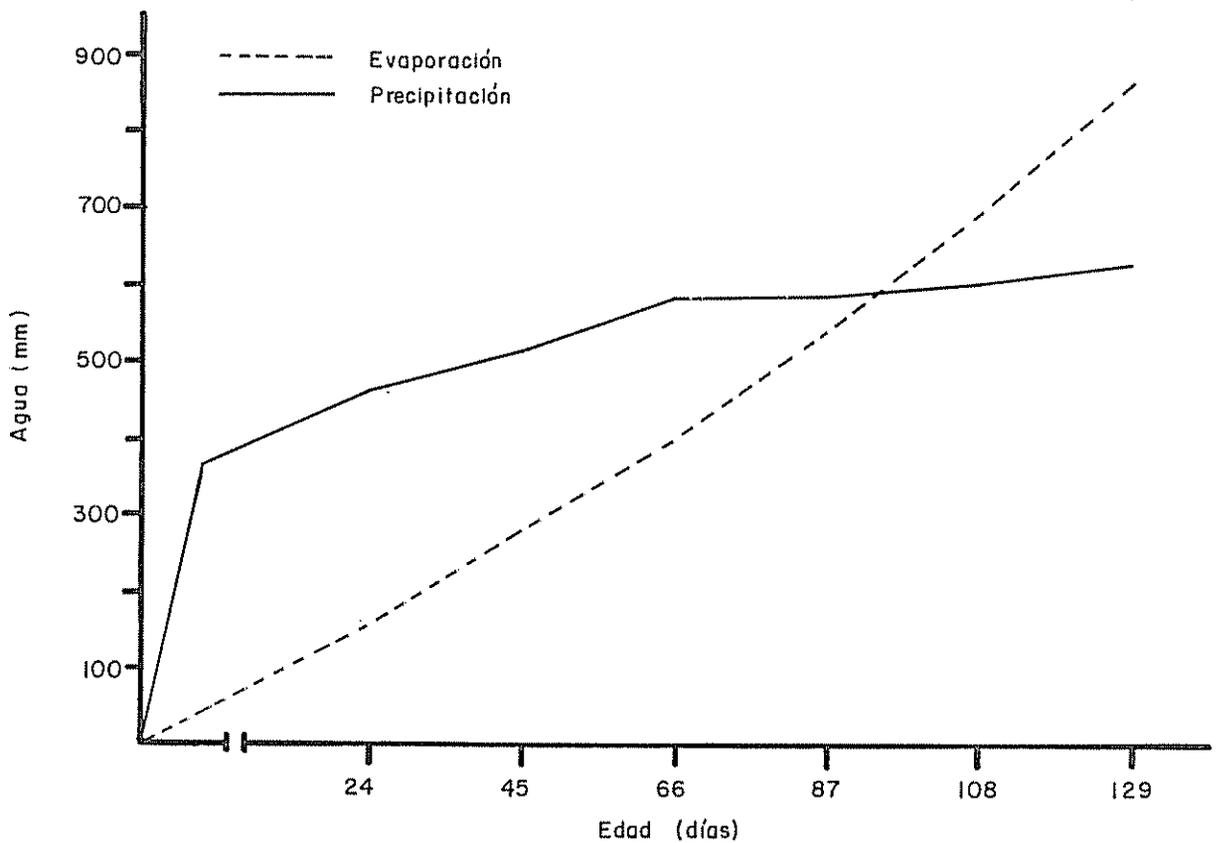


Fig. 17 Lluvia y evaporación media acumuladas durante el cultivo de maíz

4.2 Análisis de las variables biológicas

Para conseguir la información de las variables biológicas, se realizaron muestreos al azar dentro los tratamientos. La estimación del tamaño de la muestra, fue determinada por muestreos previos dentro de cada parcela y para cada período, considerando la altura de planta como la variable de referencia. En el Cuadro A22, se aprecia que el tamaño de muestra en ningún caso fue superior a dos plantas por tratamiento, con un error aceptable de 10 por ciento.

En el Cuadro A23, se presentan los promedios de las variables biológicas e índices de crecimiento por densidades de siembra, orientaciones de surco y períodos de observación.

La información de las variables biológicas básicas se regresionó con la edad para conocer su variación mediante una expresión matemática. De las distintas funciones matemáticas probadas, se eligieron aquellas que representan mejor la variación biológica y que a su vez tuvieron un coeficiente de ajuste elevado.

De los datos del Cuadro A23 se eligieron, por influir más sobre las condiciones microclimáticas, los correspondientes a altura de planta (AP), área foliar (AF), índice de área foliar (IAF) y biomasa aérea (BA), para realizar análisis de variancia y pruebas de t, con el objeto de conocer cómo influyen sobre ellos las orientaciones, períodos, densidades del cultivo y otras fuentes de variación (Cuadros A24 y A25).

Altura de planta (AP)

En el análisis de variancia para altura de planta (Cuadro A24) se encontró diferencia significativa entre períodos y también entre densidades. No existió diferencia significativa entre orientaciones, ni en

efectos combinados. Estas variaciones se pueden ver mejor en la Fig. 18.

Area foliar (AF)

El análisis de variancia del área foliar por planta (Cuadro A24), detectó diferencias altamente significativas para períodos. Existió también diferencias significativas para densidades. Las plantas a la densidad de 40.000 por ha tuvieron siempre mayor área foliar que las plantas a 80.000 por ha, lo cual puede notarse en la Fig. 19.

Indice de área foliar (IAF)

Las diferencias del IAF en densidades fueron altamente significativas (Cuadro A24). El IAF de 80.000 pl/ha fue superior al de 40.000 (Fig. 20), situación inversa a lo que ocurrió con el área foliar por planta (Fig. 19). Se encontró también alta significación para períodos y para la interacción períodos por densidades.

Biomasa total de la parte aérea (BA)

Para conocer las diferencias de biomasa total de la parte aérea del maíz entre orientaciones y densidades, se realizaron pruebas de diferencia de medias por planta y por unidad de área. En el Cuadro A25, se presentan los valores de "t" y su significación para estas pruebas. La biomasa total de la parte aérea por metro cuadrado de las plantas a 80.000 por ha, fue superior estadísticamente a las sembradas a 40.000 plantas por ha (Fig. 21). No existió diferencias entre orientaciones por metro cuadrado, ni entre orientaciones y densidades en la biomasa por planta.

En la Fig. 22 se muestra la variación periódica del peso seco promedio de hojas, tallos, inflorescencias y biomasa total de la parte aérea por planta. No fue necesario hacer una figura para cada densidad

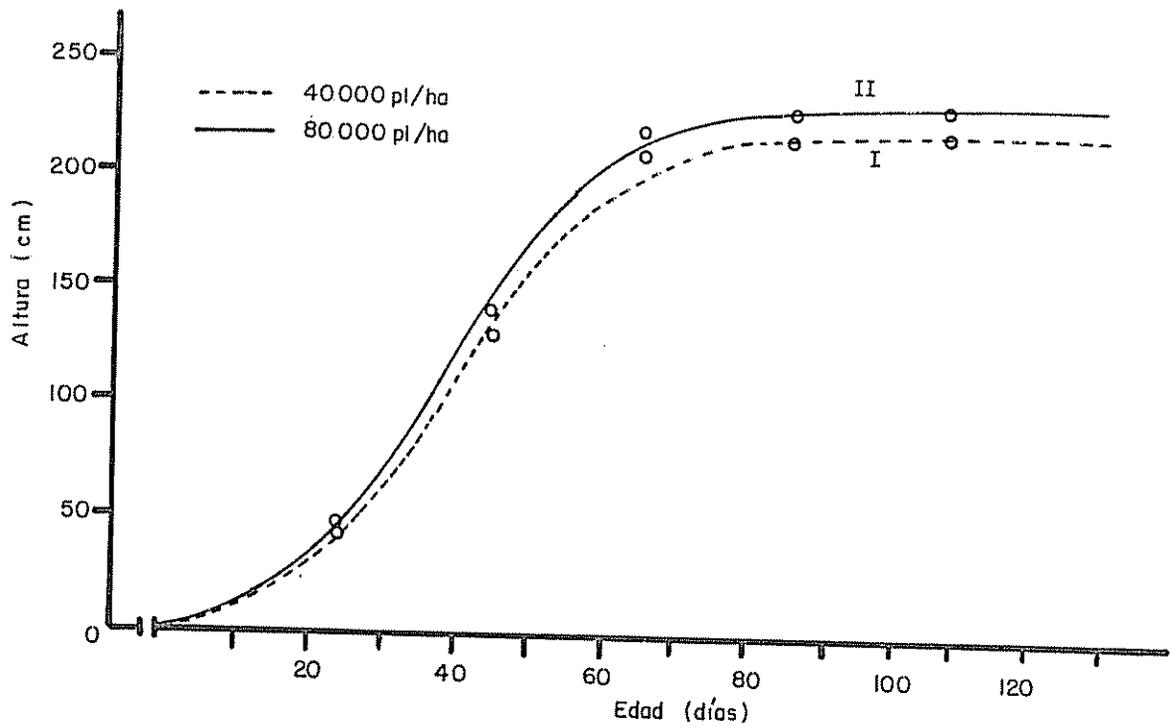


Fig. 18 Variaciones de la altura de plantas con la edad del maíz var. Tuxpeño a dos densidades de siembra

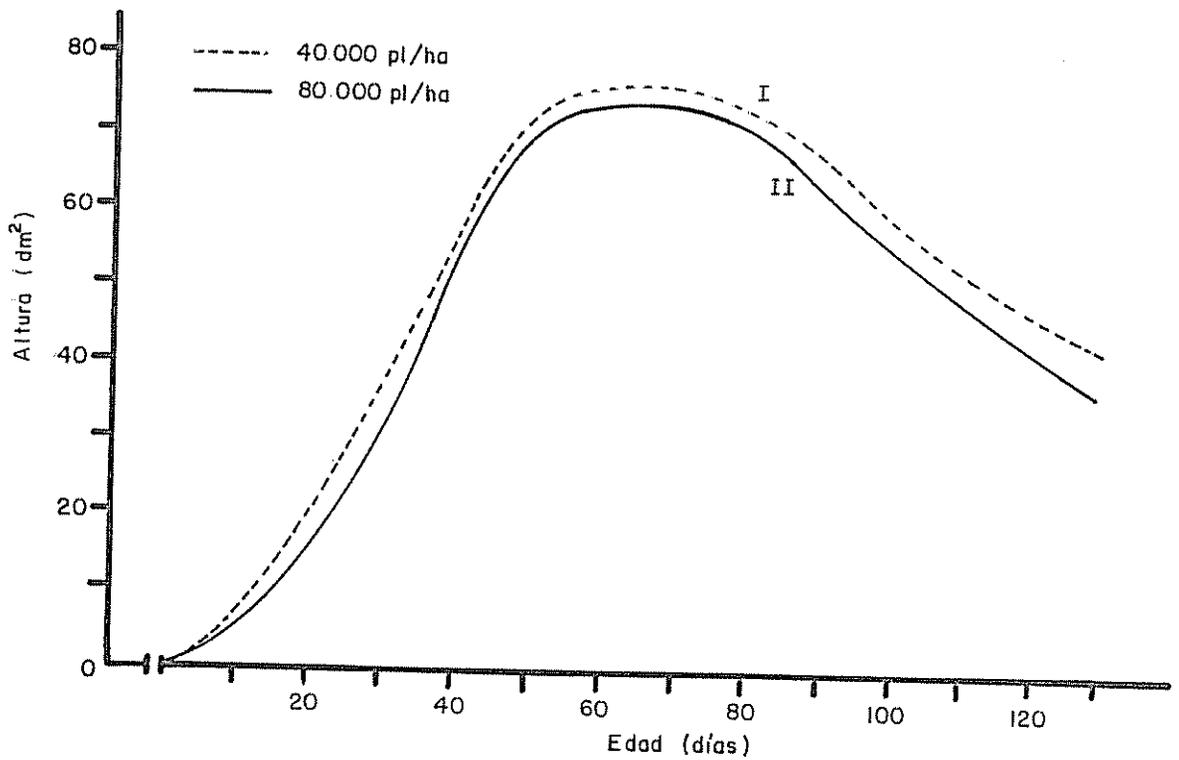


Fig. 19 Variaciones del área foliar por planta con la edad del maíz var. Tuxpeño a dos densidades de cultivo

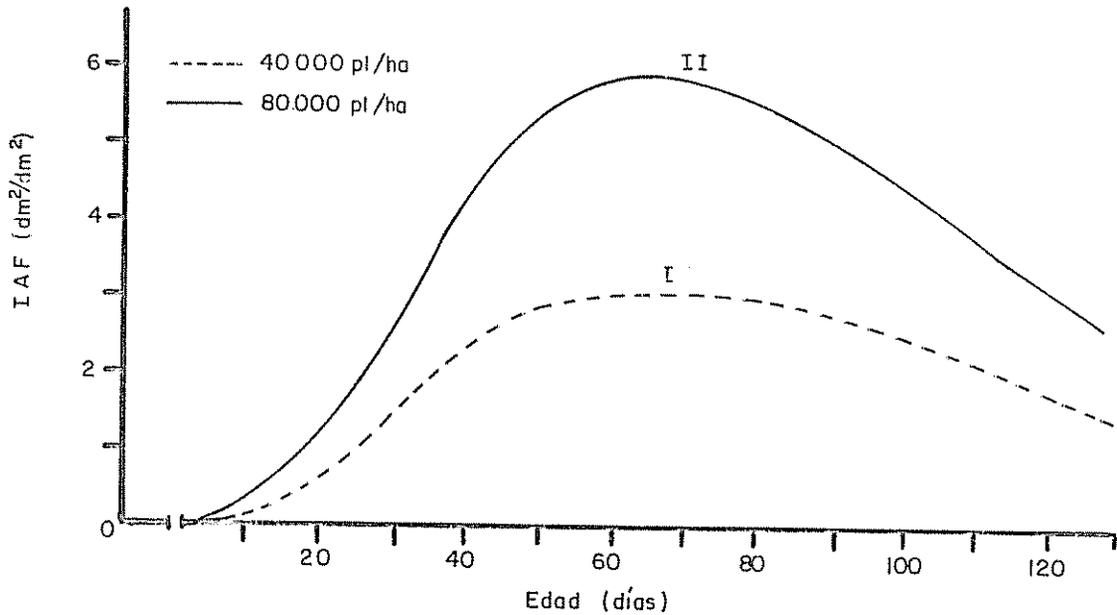


Fig. 20 Variaciones del índice de área foliar con la edad del maíz var. Tuxpeño a dos densidades de cultivo

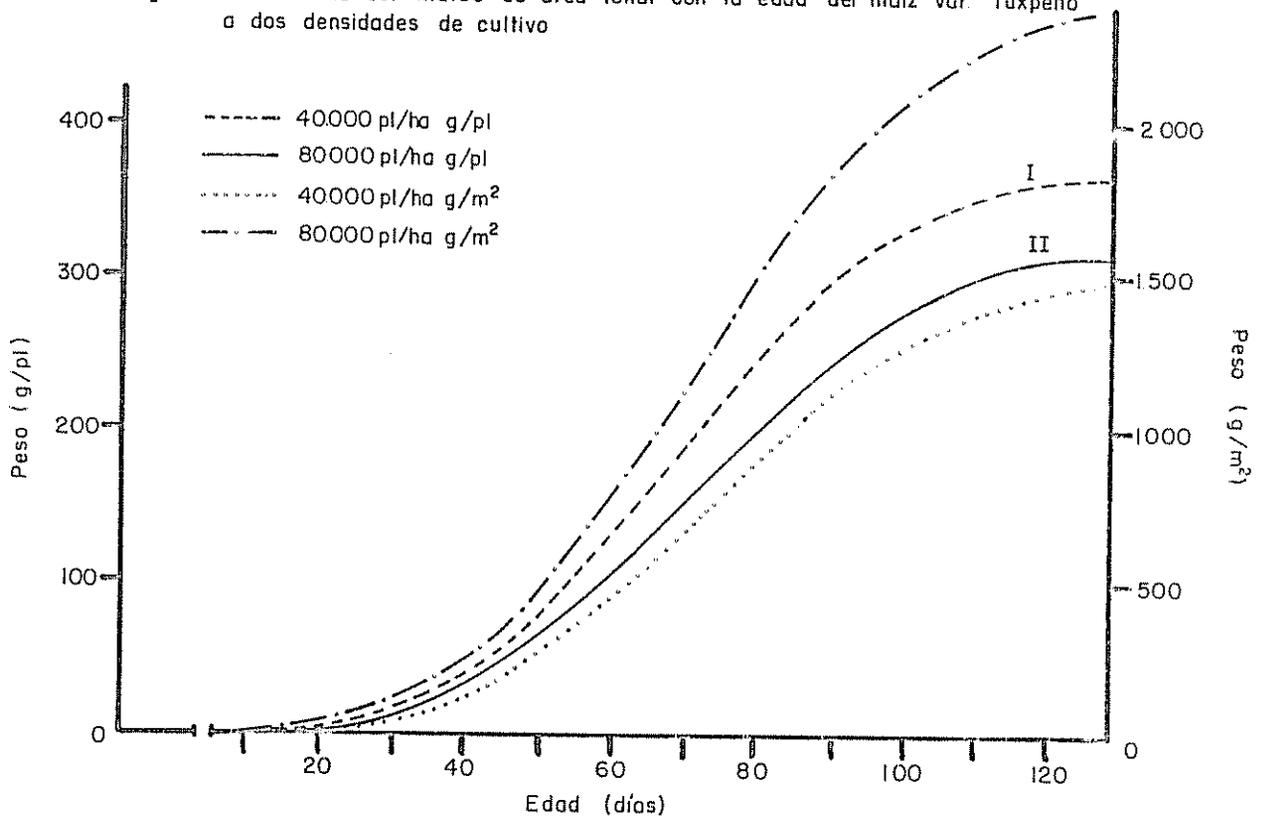


Fig. 21 Variaciones de la biomasa total de la parte aérea por planta y por m² con la edad del cultivo de maíz var Tuxpeño a dos densidades de siembra

u orientación en vista de que estadísticamente la biomasa aérea fue igual (Cuadro A25). Lo mismo puede decirse de sus componentes.

Los índices de crecimiento calculados y referidos por planta, serán analizados posteriormente como promedios para todo el cultivo, ya que no estuvieron asociados significativamente con orientaciones y densidades. Por otra parte, los índices referidos a unidad de área (TPMS y EF), serán analizados por densidades de siembra, porque presentaron correlación significativa con éstas.

Razón de peso foliar (RPF)

Las variaciones en el peso seco de las hojas (g) en relación con el peso seco total de las plantas (g) con la edad, es una expresión de la utilización de biomasa en la producción de hojas. Los datos básicos con respecto a este índice se dan en el Cuadro A23 y se representan propiamente en la Fig. 23. En esta figura se ve que la RPF desciende progresivamente con la edad de la planta, tendiendo a estabilizarse luego de ocurrir la floración aproximadamente 70 días.

Razón área foliar (RAF)

Los datos básicos de la superficie asimilatoria (dm^2) por unidad de peso seco total (g) para el maíz, se muestran en el Cuadro A23 y en la Fig. 24, en la cual puede observarse una disminución de la RAF intensa entre los 24 y 66 días después de la implantación (8 días de la siembra), período en que las plantas forman su estructura aérea (tallos y hojas). La RAF es menor que la unidad a partir de los 50 días.

Área foliar relativa (AFR)

El peso de la hoja por unidad de área foliar varía con la edad de la planta. En la Fig. 25 se observa que a igual peso foliar (g) el

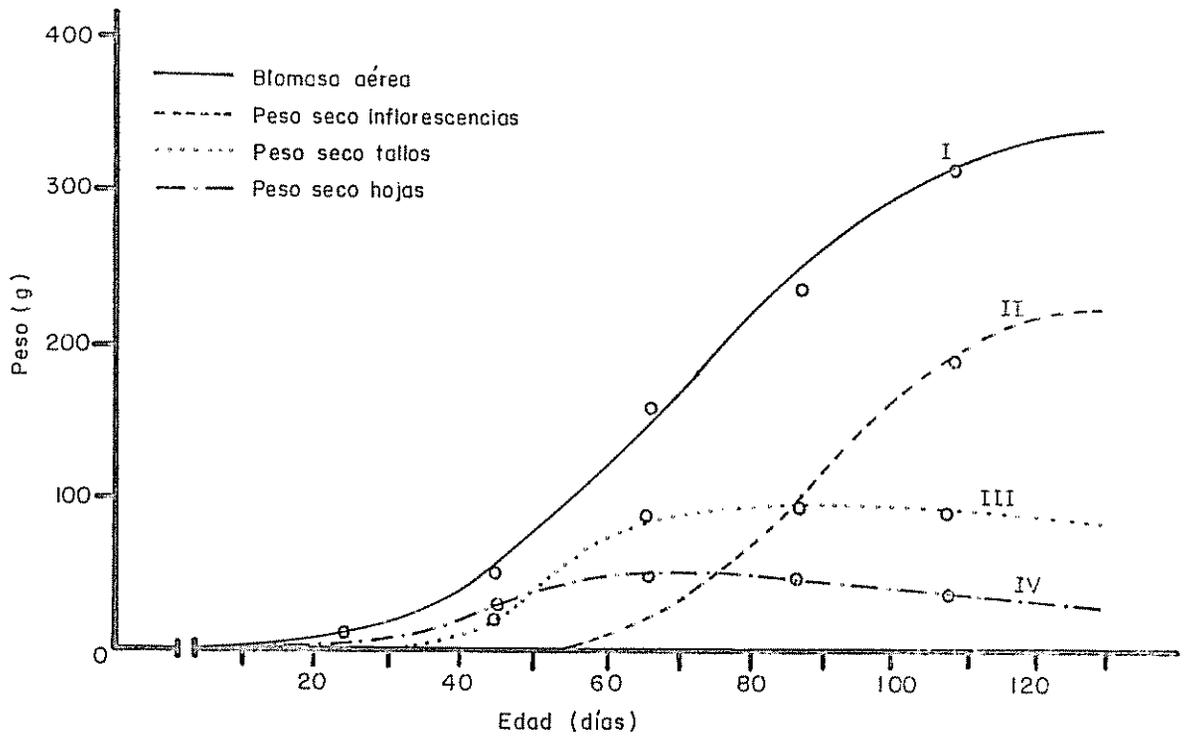


Fig 22 Variaciones del peso seco de hojas, tallos, inflorescencias y biomasa total de la parte aérea por planta con la edad del maíz var Tuxpeño

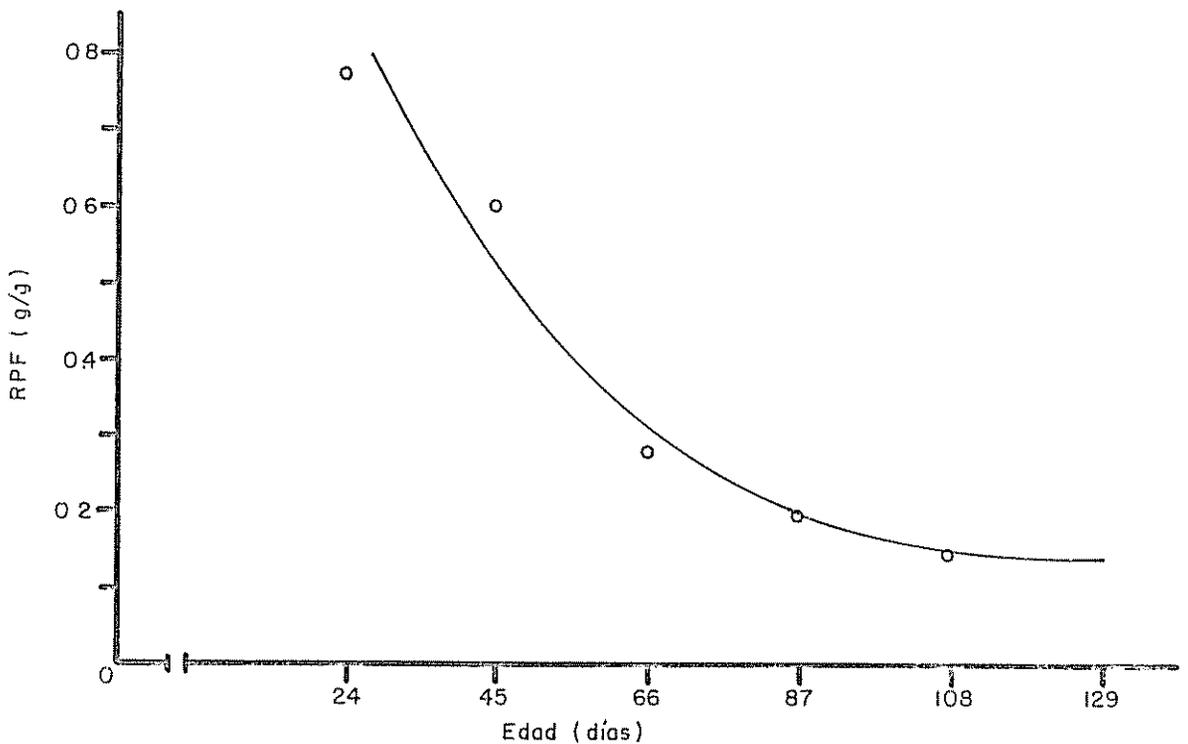


Fig 23 Variación de la razón peso foliar por periodos en un cultivo de maíz var. Tuxpeño

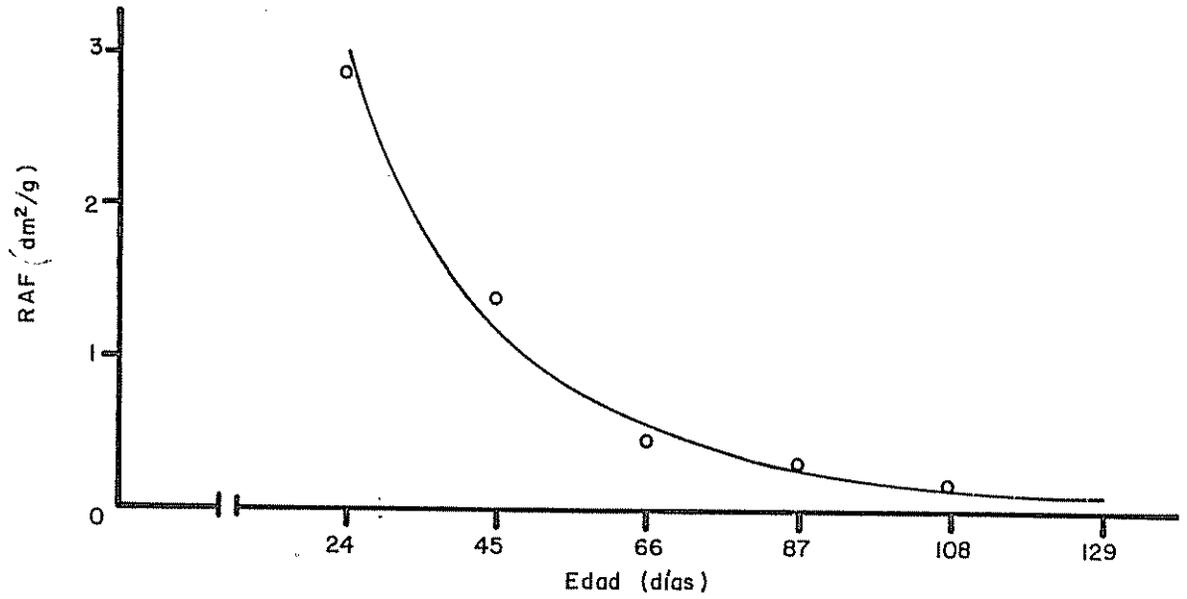


Fig. 24 Variación de la razón área foliar por períodos en un cultivo de maíz var. Tuxpeño

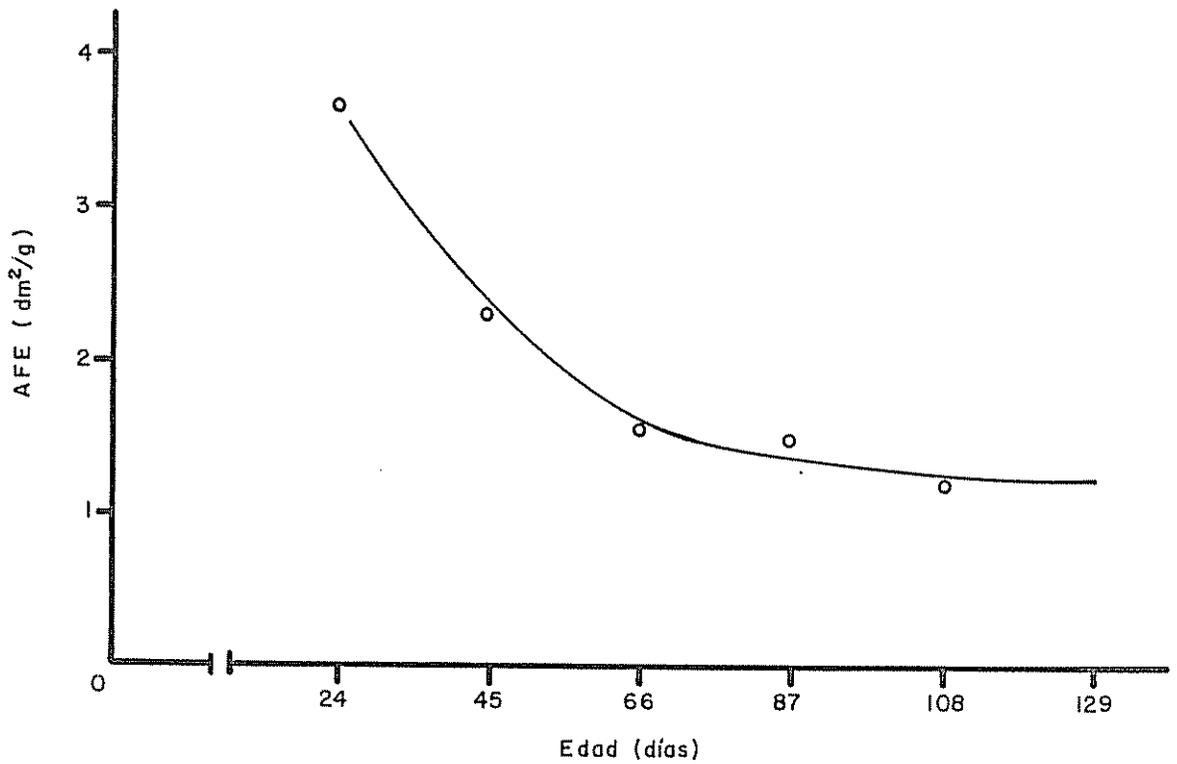


Fig. 25 Variación del área foliar específica con la edad en un cultivo de maíz var. Tuxpeño

área de la hoja disminuye, porque su materia seca por unidad de área aumenta con la edad.

Índice de crecimiento relativo (ICR)

El aumento de materia seca por unidad de materia seca inicial, por planta y por período, se presenta en la Fig. 26. El ICR llega a su máximo a los 45 días de la implantación, disminuyendo posteriormente en forma lineal hasta los 90 días donde se estabiliza. A los 45 días las plantas iniciaron la producción de las mayores tasas de incremento de materia seca, que es mantenida hasta aproximadamente los 90 días (Fig. 22).

Índice de crecimiento relativo foliar (ICRF)

En la Fig. 27 se grafican los datos del aumento de superficie de hoja por unidad de área inicial; en esta figura se ve que a partir de la emergencia se produce una continua disminución del ICRF hasta los 75 días. A partir de esta edad el índice se vuelve negativo.

Índice de asimilación neta (IAN)

La razón de incremento en peso seco de la planta por unidad de superficie fotosintetizante, presenta un máximo a los 66 días (Fig. 28), cuando las hojas y tallos han alcanzado su máximo peso seco, luego baja hasta la edad en que inicia la floración para volver a aumentar en la época en que los frutos están en crecimiento activo (Fig. 22).

Tasa de producción de materia seca (TPMS)

La producción de materia seca por metro cuadrado y por día en ambas densidades de siembra (Fig. 29), aumentó rápidamente hasta los 66 días. A esta edad la TPMS de las plantas a la densidad 80.000 por ha fue un 30 por ciento superior a las sembradas a 40.000 pl/ha. La TPMS en ambos

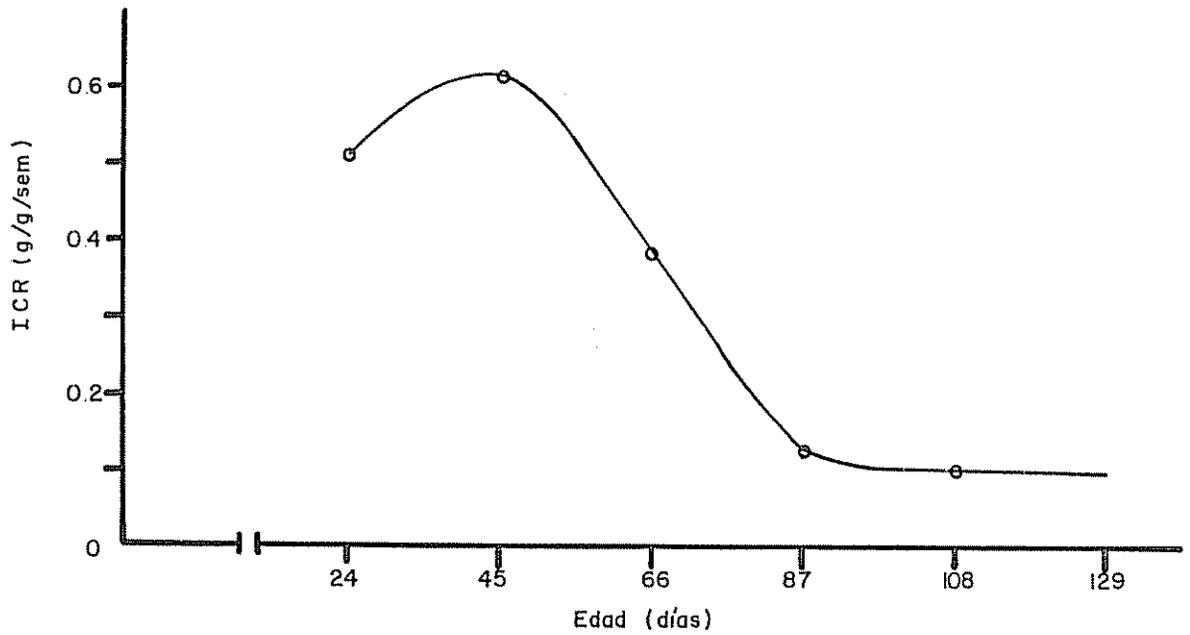


Fig. 26 Variación del índice de crecimiento relativo por períodos durante el ciclo de vida del maíz var. Tuxpeño

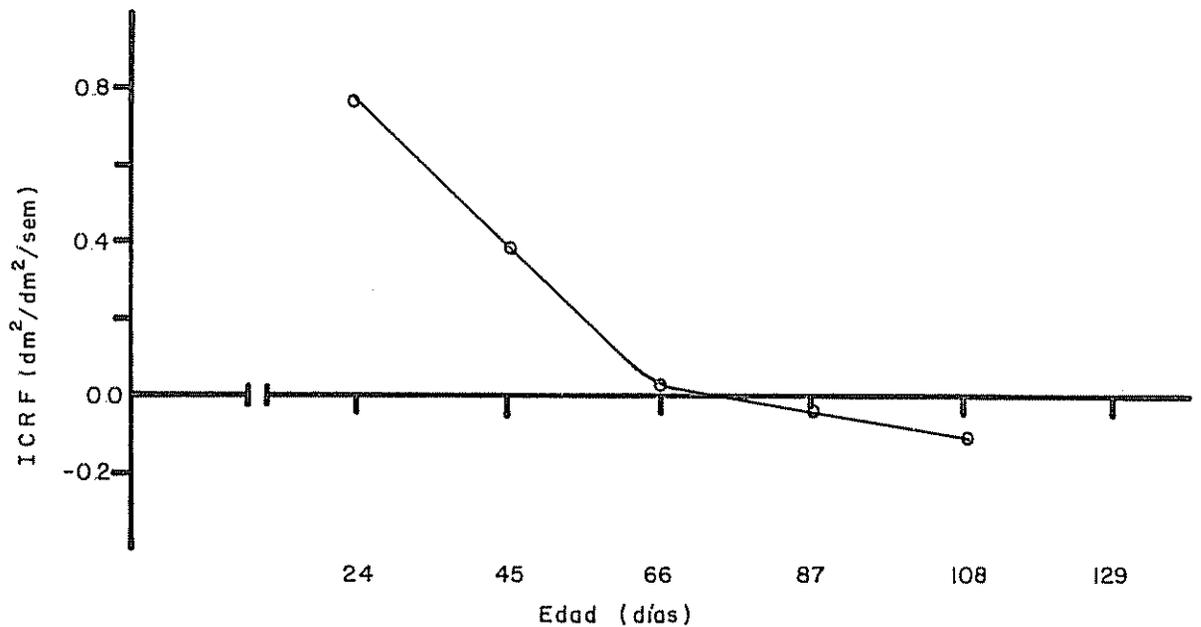


Fig. 27 Variación del índice de crecimiento relativo foliar por períodos durante el ciclo de vida del maíz var. Tuxpeño

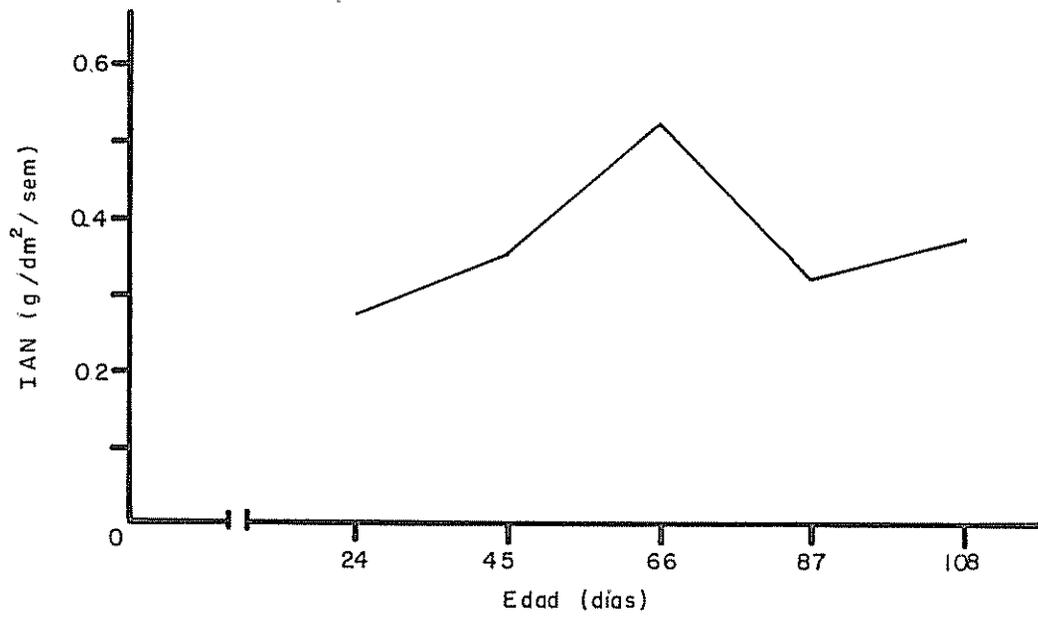


Fig 28 Variaciones del índice de asimilación neta por períodos durante el ciclo de vida del maíz var. Tuxpeño

casos descendió posteriormente hasta los 87 días, para nuevamente empezar a aumentar hasta los 108 días. El punto de inflección a los 87 días correspondió a la época en que los frutos están creciendo activamente (Fig. 22).

Eficiencia fotosintética (EF)

El porcentaje de energía solar que la planta transforma a energía biológica, llega a su máximo a los 66 días, con un 7 por ciento de eficiencia fotosintética para la mayor densidad y 3,9 por ciento para 40.000 pl/ha. Las plantas en ambas densidades siguieron tendencias similares (Fig. 30).

Producción de grano

Los rendimientos promedio por planta se muestran en el Cuadro A26, en donde el número de mazorcas por planta en el cultivo con densidad de 40.000 pl/ha fue 16 por ciento mayor que el de 80.000 pl/ha.

Con los datos de peso seco de granos por planta del Cuadro A26 se realizaron las pruebas de significación de medias o pruebas de "t" del Cuadro A27. Al expresar los rendimientos por planta las sembradas a 40.000 pl/ha superaron a las de 80.000 pl/ha en forma altamente significativa. Las orientaciones no tuvieron efecto en los rendimientos. Cuando este rendimiento se refirió a la unidad de área no existieron diferencias entre densidades.

4.3 Análisis de correlación entre variables biológicas e índices de crecimiento

En la matriz de correlación del Cuadro A28 se encuentran los coeficientes de correlación para densidades, orientaciones y períodos de

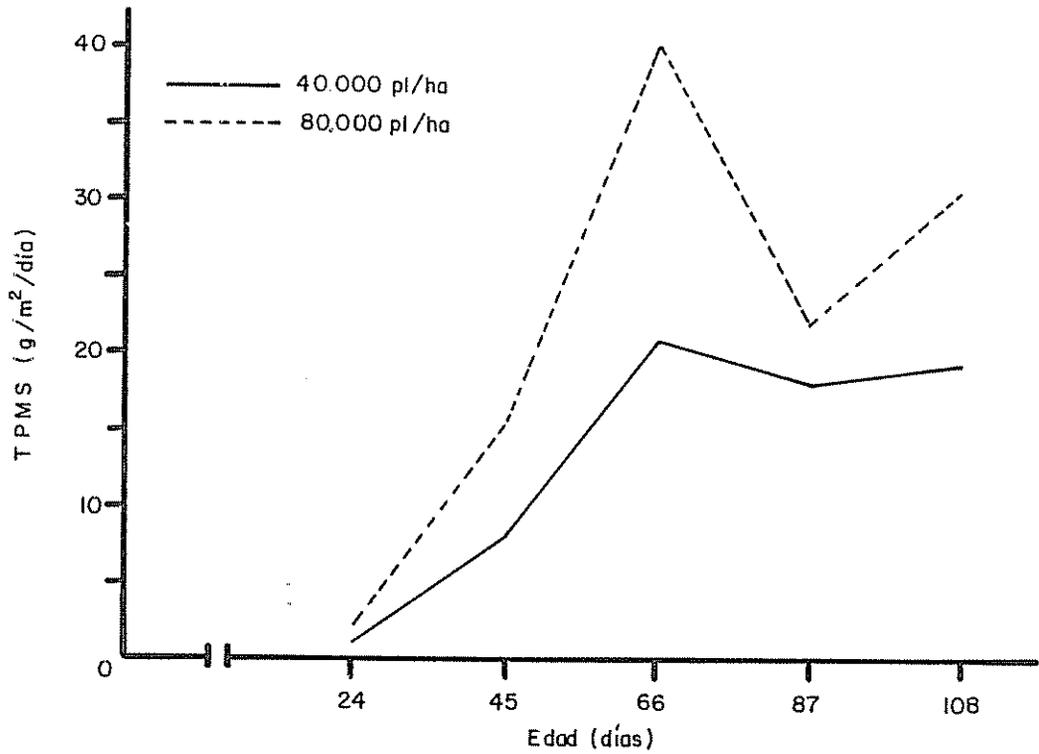


Fig. 29 Variaciones de la tasa de producción de materia seca de un cultivo de maíz var. Tuxpeño, por períodos y densidades de cultivo

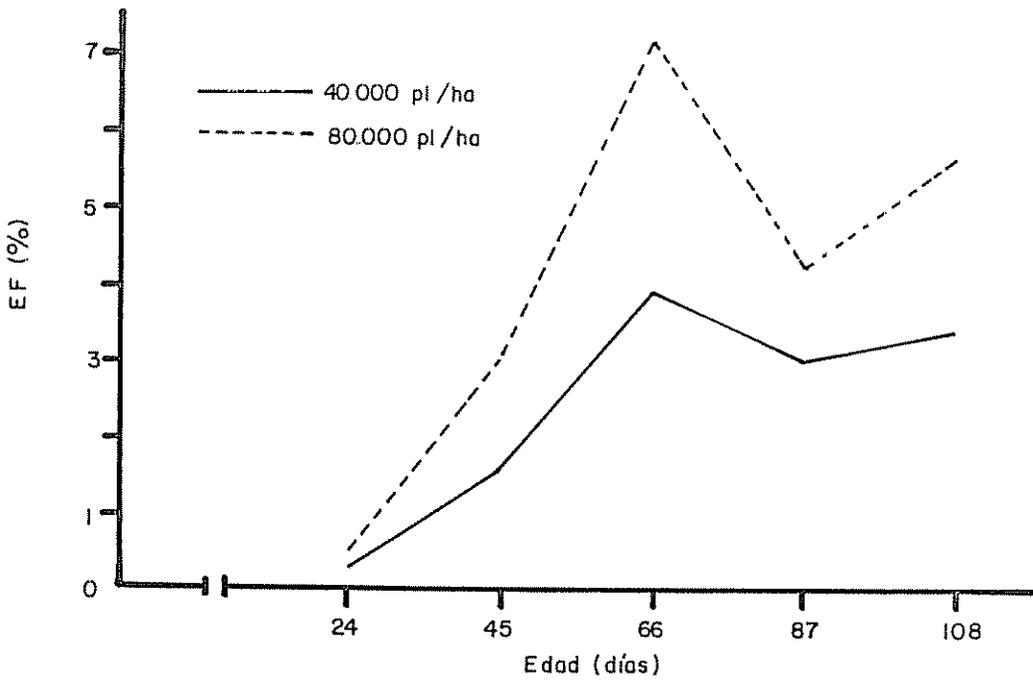


Fig. 30 Variaciones de la eficiencia fotosintética de un cultivo de maíz var. Tuxpeño por períodos y densidades de cultivo

muestreo, en relación a las variables biológicas estudiadas.

Las densidades (X_1), tienen correlación positiva altamente significativa con IAF, TPMS y EF; estas son las variables expresadas por unidad de superficie de suelo.

Las orientaciones (X_2) no correlacionaron con ninguna variable biológica. Los períodos de muestreo (X_3), no estuvieron correlacionados con las variables expresadas por unidad de área y con el índice de asimilación neta, pero estuvieron correlacionadas positiva o negativamente con las demás.

La altura de planta (X_4), se encontró correlacionada a nivel de 0,01 de probabilidad de manera positiva o negativa con todas las variables biológicas, a excepción del IAF, IAN y AF. El área foliar (X_5), presentó correlación negativa altamente significativa con biomasa aérea y períodos. Correlacionó positiva y significativamente con RPF, ICRF e ICR.

La biomasa total de la parte aérea (X_6), no presentó asociación con los índices que miden la eficiencia de la transformación de la energía radiante (IAN, TPMS y EF). Con el IAF la correlación fue negativa a nivel de 0,05 de probabilidad, con las demás fue a nivel de 0,01.

El IAF (X_9), estuvo asociado positivamente a las variables relacionadas con unidad de área (TPMS, EF y Densidad) y además negativamente con la biomasa total de la parte aérea.

Entre IAN, TPMS y EF (índices que se relacionan con eficiencia fotosintética), existió correlación positiva altamente significativa. El IAN no estuvo asociado a ninguna de las otras variables.

La altura de planta (X_4), peso seco de tallos (X_7) y biomasa total de la parte aérea (X_8), fueron las variables que frecuentemente

aparecieron correlacionadas con las demás.

4.4 Análisis de correlación y regresión entre variables climáticas y biológicas

4.4.1 Análisis de correlación

En el Cuadro A29 se presenta la matriz de correlación de las variables climáticas y biológicas. Se observó que existe correlación negativa significativa entre radiación solar a 0,70 m del suelo y densidades. No existiendo correlación de densidades con radiación dentro del cultivo a 0,20 y 1,20 m del suelo.

Ningún valor de radiación dentro y fuera del cultivo presentó correlación con orientaciones de surco.

Los períodos de muestreo se asociaron con la radiación fuera del cultivo en forma positiva y altamente significativa. En igual forma pero negativamente lo hicieron con la radiación dentro del cultivo a 0,20 y 1,20 m del suelo. Con la radiación a 0,70 m del suelo no mostraron asociación.

Con las variables biológicas estudiadas, la radiación solar fuera del cultivo, presentó correlación altamente significativa negativamente con área foliar y positivamente con biomasa total de la parte aérea. La radiación solar externa no correlacionó con altura de planta, peso seco del follaje, peso seco de tallos e índice de área foliar.

La radiación solar dentro del cultivo, correlacionó de manera negativa altamente significativa con altura de planta, peso seco foliar, peso seco de tallos, en los tres niveles de radiación observados dentro del cultivo. A 0,20 y 1,20 m solamente se correlacionó negativamente

con biomasa total de la parte aérea.

El IAF se asoció con radiación solar dentro de cultivo a 0,70 m de altura en forma negativa y significativa, pero no se asoció con la radiación de las otras dos alturas de radiación.

No existió correlación de la radiación solar por altura dentro del cultivo con el área foliar.

La relación entre radiación solar fuera del cultivo con las radiaciones dentro del cultivo fue significativamente negativa sólo a 1,20 m del suelo.

Existió correlación positiva altamente significativa entre la radiación solar de las tres alturas dentro del cultivo.

La radiación solar fuera del cultivo, correlaciona negativamente y a nivel de 0,01 de probabilidad con humedad relativa mínima y número de horas al 100 por ciento de humedad. Dentro del cultivo se presentó correlación positiva, altamente significativa, entre radiación solar a 1,20 m y horas al 100 por ciento de humedad.

La radiación solar fuera del cultivo correlacionó significativa y positivamente con la temperatura media fuera del cultivo, y con la temperatura máxima, media, oscilación y grados día dentro del cultivo.

La radiación solar dentro del cultivo a 0,20 y 1,20 m de altura presentó correlación negativa altamente significativa con temperatura media y grados día fuera del cultivo, y con temperatura máxima, mínima, media y grados día dentro del cultivo. La radiación a 0,70 m de altura, dentro del cultivo, no correlacionó con la temperatura.

Los grados día fuera del cultivo correlacionaron significativa y positivamente, con grados día dentro del cultivo.

La temperatura dentro y fuera del cultivo no estuvo asociada a densidades ni orientaciones, manteniéndose como variables independientes. Los períodos de observación estuvieron correlacionados significativa y positivamente con todas las temperaturas estudiadas.

La temperatura media y los grados día fuera del cultivo presentaron correlación altamente significativa en forma positiva, con altura, peso seco de tallos y biomasa total de la parte aérea, y negativamente con área foliar e índice de área foliar.

El peso seco de hojas correlacionó significativa y positivamente sólo con grados día. Se observó que grados día fuera del cultivo correlacionó más frecuentemente con todas las variables biológicas estudiadas, ratificando su importancia en el crecimiento de las plantas.

Las temperaturas dentro del cultivo presentaron correlación positiva significativa para biomasa, altura de planta y peso seco de tallos. También correlacionaron significativa y negativamente con área foliar. No mostraron asociación con IAF.

Las temperaturas fuera del cultivo estuvieron asociadas de manera negativa significativa solamente con horas al 100 por ciento de humedad. Dentro del cultivo la humedad relativa mínima estuvo correlacionada de manera negativa significativa, con oscilación térmica y con temperatura máxima.

Horas al 100 por ciento de humedad correlacionó significativa y negativamente, con temperatura media y grados día.

Dentro de las temperaturas las asociaciones entre variables térmicas fueron positivas y altamente significativas, a excepción de las correlaciones entre oscilación térmica dentro del cultivo con grados día

fuera del cultivo, y temperatura mínima dentro del cultivo con las que no correlacionaron.

La humedad relativa no estuvo asociada a densidades ni orientaciones. Los períodos de muestreo correlacionaron en forma significativa negativa con horas al 100 por ciento de humedad. Entre humedad relativa mínima y horas al 100 por ciento de humedad hubo correlación significativa positiva.

4.4.2 Análisis de regresión entre radiación solar total no interceptada por el cultivo con la edad y otras variables

Para estimar, en valores relativos, la radiación solar recibida dentro del cultivo en relación a la registrada fuera de él, se hicieron regresiones entre los porcentajes de radiación no interceptada y la edad del cultivo.

La variable de respuesta (Y), fue el porcentaje de radiación no interceptada a 0,20; 0,70 y 1,20 m de altura y la variable independiente (X), la edad del cultivo en días. Se consideraron además como variables independientes: altura de planta, biomasa aérea, área foliar e índice de área foliar. Los valores de estas últimas variables fueron tomados de las regresiones entre ellas y la edad del cultivo.

En la Fig. 31, se muestran las curvas de regresión de la radiación solar no interceptada y relativa con la edad, para 0,20; 0,70 y 1,20 m de altura en un cultivo de maíz var. Tuxpeño con 40.000 pl/ha.

La función cuadrática presentó el mejor ajuste para la radiación solar no interceptada con la edad a 0,20 y 0,70 m de altura dando $R^2 = 0,99$ y $R^2 = 0,95$, respectivamente. Sus ecuaciones fueron:

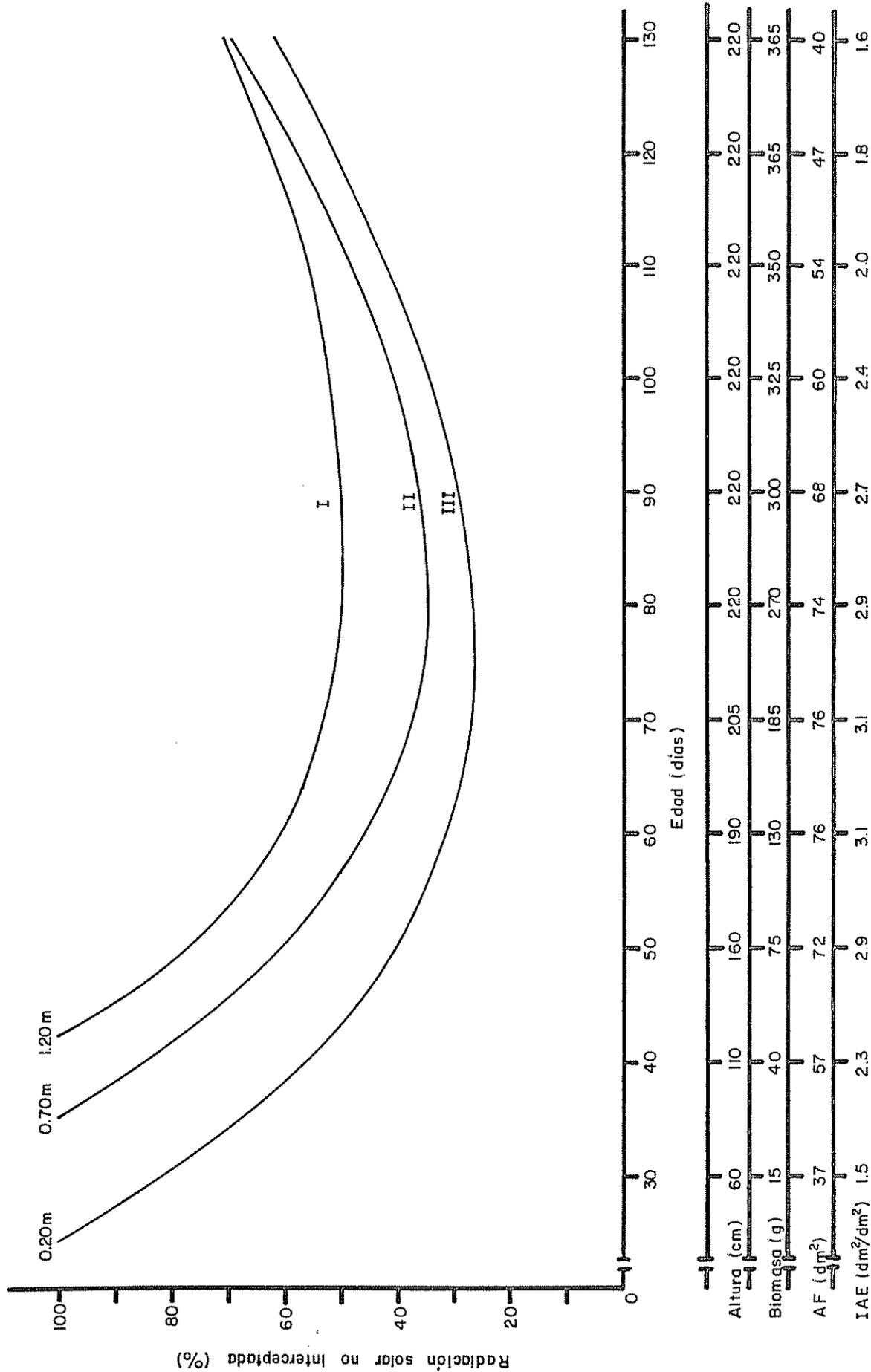


Fig. 31 Radiación solar total relativa dentro de un cultivo de maíz var. Tuxpeño a tres alturas sobre el suelo en relación a la edad y algunas variables biológicas. Densidad : 40.000 pl/ha

$$\text{Para } 0,20 \text{ m: } Y = 415,8149 + 5,0726X - 88,929\sqrt{X}$$

$$\text{Para } 0,70 \text{ m: } Y = 578,1179 + 6,6081X - 4,721\sqrt{X}$$

La función gamma dio buenos ajustes para radiación no interceptada a 1,20 m de altura con $R^2 = 0,94$. Su ecuación fue:

$$Y = 9199506,0273 e^{-0,0409X} X^{-3,5124}$$

En la Fig. 32, se grafican las curvas de regresión de la radiación solar no interceptada y relativa dentro el cultivo con la edad, para 0,20; 0,70 y 1,20 m de altura, en un cultivo de maíz var. Tuxpeño con 80.000 pl/ha.

La radiación solar no interceptada con la edad a 0,20 y 0,70 m, se ajustó bien a la función raíz cuadrática, con $R^2 = 0,99$ y $0,94$, respectivamente. Sus ecuaciones fueron:

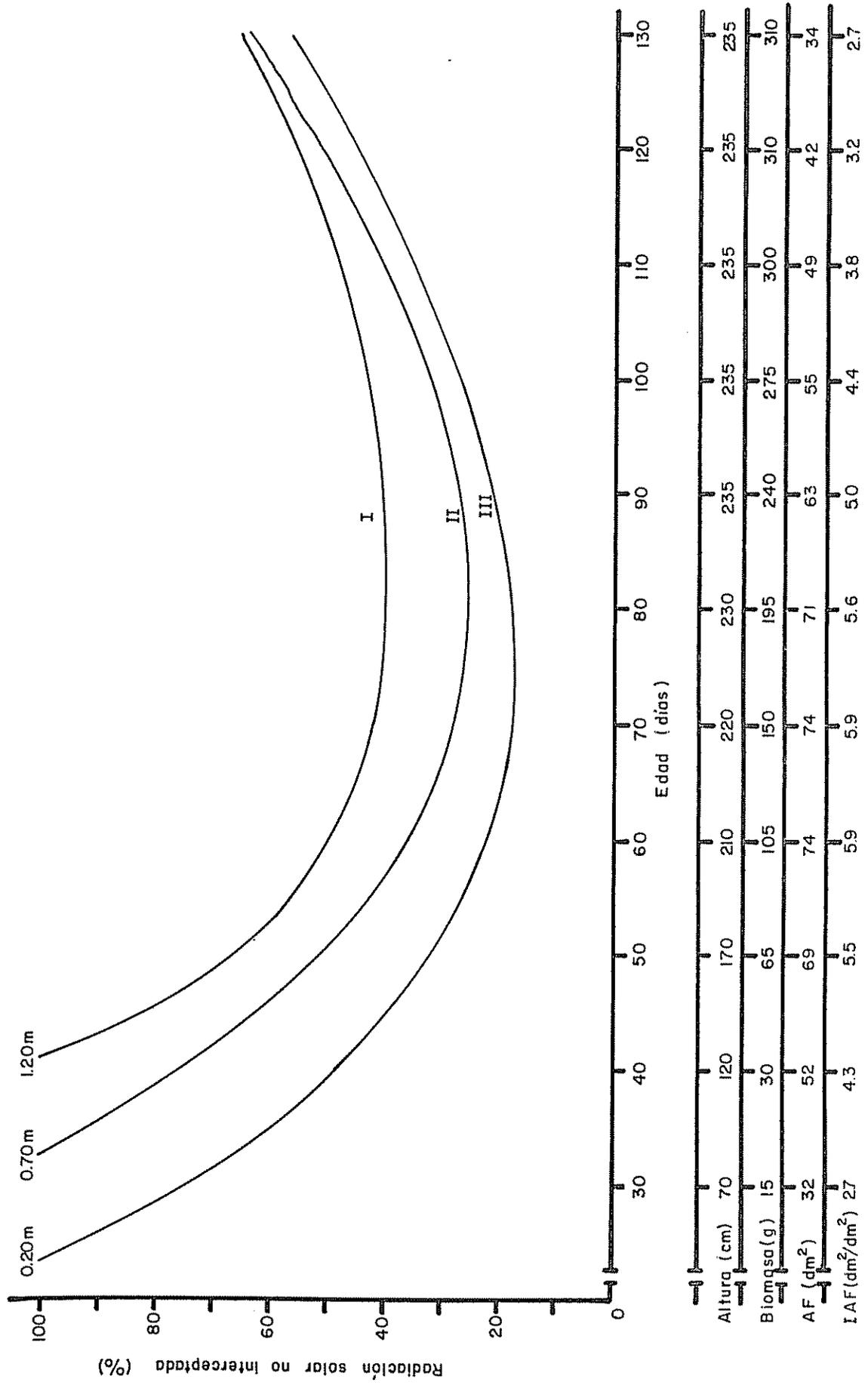
$$\text{Para } 0,20 \text{ m: } Y = 431,3664 + 5,4479X - 94,9948\sqrt{X}$$

$$\text{Para } 0,70 \text{ m: } Y = 590,6538 + 6,9575X - 5,6747\sqrt{X}$$

La función gamma ajustó bien con la línea de regresión a 1,20 m de altura, $R^2 = 0,95$. con la siguiente ecuación:

$$Y = 313989120,875 e^{-0,0554X} X^{-4,6369}$$

Las funciones raíz cuadrática y gamma fueron seleccionadas en ambas densidades por la forma como representan las variables en estudio y por sus altos coeficientes de ajuste.



Altura (cm)	70	120	170	210	220	230	235	235	235	235	235	235
Biomasa (g)	15	30	65	105	150	195	240	275	300	310	310	310
AF (dm ²)	32	52	69	74	74	71	63	55	49	42	42	34
IAF (dm ² /dm ²)	27	4.3	5.5	5.9	5.9	5.6	5.0	4.4	3.8	3.2	3.2	2.7

Fig. 32 Radiación solar total relativa dentro de un cultivo de maíz var. Tuxpeño a tres alturas sobre el suelo en relación a la edad y densidad. Fisiología. Densidad 20,000 pl./ha.

5. DISCUSION

5.1 Radiación solar

Los promedios diarios de radiación solar fuera del cultivo durante el período experimental fueron superiores en 4 por ciento a los promedios de once años de la misma época dados por la estación meteorológica del CATIE.

El aumento de 14 por ciento de la radiación solar desde el inicio al final del período en estudio, se podría explicar porque en esta época del año los días se hacen más largos y los rayos solares se aproximan poco a poco a la verticalidad, conforme el sol avanza a su posición zenital, además las lluvias fueron escasas (15, 45, 56).

Las variaciones que se produjeron en la intercepción de la radiación solar dentro del cultivo durante el ciclo vegetativo estuvieron influenciadas principalmente por: a) La altura de las plantas; b) El índice de área foliar; y c) Posiblemente el ángulo de inclinación de las hojas (62).

La falta de influencia de las orientaciones de surcos en la intercepción de radiación solar, podría deberse a que durante el ciclo de vida del cultivo, invierno para el hemisferio Norte, el sol se estuvo aparentemente desplazando desde el Sur hacia el Norte y sus rayos incidieron verticalmente sólo al tiempo de cosecha. Es decir, sus rayos incidieron oblicuamente durante todo el período de crecimiento y llenado del grano. Esto puede haber impedido la manifestación de la posible ventaja de la mayor cantidad de radiación solar disponible entre hileras de la orientación E-0, en relación a las otras orientaciones del surco.

La mayor cantidad de radiación solar disponible entre surcos en las poblaciones de 40.000 pl/ha en comparación a las de 80.000, se debe de manera general a los menores índices de área foliar y altura de planta presentados por el cultivo con 40.000 pl/ha. Las diferencias de radiación solar debidas a las densidades de cultivo (8 a 10% con relación al exterior), son pequeñas si se considera que el número de plantas de un caso es el doble del otro. Ayudan a explicar estas diferencias los resultados dados por Loomis et al., citados por Monteith (42), quienes encontraron preponderancia de hojas con ángulos menores de 45 grados cuando las plantaciones tenían densidades de 48.000 pl/ha o menos, en cambio hojas con ángulos mayores de 45 grados predominaron en densidades elevadas con 125.000 pl/ha. Los estudios realizados por Linvil y Dale (35), sobre radiación neta en poblaciones de maíz con 42.000 y 62.000 pl/ha reportan también pequeños efectos de las densidades en las medidas de radiación neta sobre el cultivo del maíz. Trabajando con plantas de maíz a densidades de 38.500 y 77.341 pl/ha a 1,00 m entre surcos y 1,92 m de altura, Aubertin y Peters (12) encontraron una diferencia del 20 por ciento de radiación neta en el interior de ambas densidades referidas al exterior. La aparente discrepancia de datos de este trabajo con el anterior, podría deberse a que Aubertin y Peters realizaron sus mediciones en un sólo día escogido como representativo.

Los resultados encontrados en la gradiente vertical de radiación solar no interceptada dentro del cultivo, son similares con los reportados por Denmead et al. (20), a igualdad de área foliar.

5.2 Temperatura

La variación de la temperatura siguió la variación de la radiación determinada por el movimiento estacional del sol durante el cultivo.

El mayor ascenso de la temperatura máxima en relación a la temperatura mínima durante el período en estudio, se explicaría porque las máximas se presentan durante el día, como consecuencia del calentamiento por el sol, mientras que las mínimas se registran antes del amanecer por el efecto de la pérdida de calor por la tierra. Por esta misma razón entre las temperaturas máximas fuera y dentro del cultivo no existieron diferencias. En cambio, entre mínimas fuera y dentro del cultivo, las diferencias se hicieron manifiestas por el efecto atenuante del cultivo en las pérdidas de calor durante las noches.

La tendencia creciente de las oscilaciones térmicas dentro y fuera del cultivo podría explicarse debido al mayor incremento de las máximas en relación con las mínimas.

Los mayores promedios de grados día presentados dentro del cultivo cuando las plantas llegaron a su máximo desarrollo, se deben a que las temperaturas medias fueron más elevadas en esas condiciones.

Los grados día acumulados (C) desde la siembra hasta la floración (630 a 667 C) permiten ubicar al maíz Tuxpeño como variedad precoz, según Murillo (43) en este grupo están las variedades que acumulan hasta la floración menos de 781 grados día.

5.3 Humedad relativa

La disminución de la humedad relativa fuera y dentro del cultivo con la edad se explicaría debido al incremento de la temperatura en la época

del estudio y a la baja precipitación que caracterizó a la estación.

La mayor humedad relativa mínima dentro del cultivo, en comparación al exterior, podría producirse por el aumento del vapor de agua en el aire húmedo del cultivo debido principalmente al proceso de transpiración.

La falta de diferencias en horas al 100 por ciento de humedad dentro y fuera del cultivo, se explica debido a que después de la puesta del sol las temperaturas decrecen en ambos ambientes, bajando la presión de vapor saturante hasta ponerla en equilibrio con la presión de vapor de agua del aire húmedo del ambiente, llegándose a la temperatura de saturación. Esta temperatura no fue igual en ambos ambientes por las diferencias de vapor de agua existentes.

5.4 Lluvia y evaporación

Aunque el 70 por ciento de la lluvia total cayó en los primeros 20 días, y la evaporación medida fue mayor que la precipitación durante la época del cultivo, las plantas no presentaron síntomas externos de marchitamiento y desarrollaron normalmente en su parte aérea, posiblemente debido a la capacidad del suelo para retener humedad o porque los valores de evaporación medida con el evaporímetro tipo Piché fueron excesivamente altos.

5.5 Variables biológicas

Los mayores valores promedio encontrados en altura de planta, IAF y biomasa total de la parte aérea por m^2 de las densidades de 80.000 en comparación a la de 40.000 pl/ha, se explican por la competencia por luz en el primer caso, y debido al mayor número de plantas por unidad de

superficie en los otros dos. Sin embargo, el área foliar por planta fue mayor en el cultivo con 40.000 pl/ha, pero la biomasa total de la parte aérea por planta fue similar en ambas densidades, aparentemente porque la mayor superficie foliar influyó poco sobre el peso seco de la planta.

Aproximadamente a los 70 días de la implantación del cultivo en que las plantas adquirieron su máxima altura y área foliar la única actividad que continuó en forma intensa fue la formación de los órganos reproductores. Resultados similares fueron reportados por Duncan (21).

El promedio de 75 dm^2 de área foliar por planta en la edad de máximo desarrollo es pequeño en comparación a los reportados por Sanabria de Mojica (52), con superficies de área foliar entre 146 y 137 dm^2 por planta; estos valores elevados pudieron deberse a diferencias varietales y a las condiciones de invernadero en que realizó su experimento. En cambio Usenko y Gaiduk (58), encontraron áreas foliares por planta de 66 y 44 dm^2 para densidades de 20.400 y 40.800 pl/ha, respectivamente, valores menores a los encontrados en este trabajo.

Las variaciones del IAF de 3 a 5,9 en densidades de 40.000 y 80.000 pl/ha son parecidas a los reportados por Alvim y Alvim (7) para cultivos de maíz, con promedios entre 4 y 5, y a los encontrados por Loomis et al., citados por Duncan (21), en plantaciones de 17.500 a 125.000 con valores entre 3,5 a 8,5. También Allen et al. (8) encontraron IAF de 4,3 en plantaciones de maíz con surcos distanciados a 0,73 m y densidades de 64.000 pl/ha.

Al inicio del cultivo, la distribución de productos fotosintetizados se dirige principalmente al crecimiento de las hojas. En este período,

el 80 por ciento del peso seco total correspondió al peso de las hojas, existieron 3 dm^2 de hoja por cada gramo de planta. En esta misma edad cada gramo de hojas representó la contribución de $3,8 \text{ dm}^2$ de área foliar.

Con la edad se van disminuyendo estas relaciones por la formación de nuevas hojas, constitución de tallos, inflorescencias y semillas, y porque las hojas aumentan su peso seco por unidad de área.

Cuarenta y cinco días después de la implantación del cultivo las plantas llegaron a su máxima tasa de producción semanal de materia seca por unidad de peso inicial (ICR), con valores promedio de 0,62. Asimismo, el ICRF fue alto, cerca de los 24 días después de la implantación del cultivo con valores mayores a 0,8; esto puede deberse a que la planta forma todas sus hojas en las primeras tres o cuatro semanas (4).

El IAN más alto fue de 0,52; a los 66 días de la implantación. En este período por cada dm^2 de hoja se producen 0,52 g semanales de materia seca. Fue la edad en que la planta completó su desarrollo foliar y alcanzó su altura promedio. A los 87 días el IAN llegó a un mínimo (0,32), para volver a subir hasta los 108 días. Este último incremento en la eficiencia de la superficie asimilatoria ha sido explicado por Ermilov (22), como consecuencia de una íntima relación entre la eficiencia de la superficie asimilatoria (hojas) y la intensidad de la utilización del flujo de asimilados procedentes de la hoja, lo que es determinado por la presencia de centros de intenso consumo de sustancias, por ejemplo, el crecimiento de la mazorca. El mismo efecto se ha podido notar en otros cultivos como frijol (11). El aumento en el IAN del último período no se hace perceptible en el índice de crecimiento relativo (ICR), debido a que en este período el ICRF es negativo.

Los valores encontrados para TPMS fueron parecidos a los presentados por Stewart (55), el cual encontró que varían entre 25 y 40 g/m²/día. Alvim y Alvim (7), reportan valores que van de 1,7 a 10,5 por ciento para eficiencia fotosintética de cultivos a varias densidades de siembra, rango dentro de los que se encuentran los valores de eficiencia fotosintética de este trabajo.

El mayor número de mazorcas por planta encontrados en la densidad de 40.000 pl/ha, en comparación con la de 80.000, es similar a los encontrados por Vidaure (59) y Abalo (1), en trabajos con diferentes densidades de maíz.

Los mayores rendimientos en grano seco por planta en densidades de 40.000 en relación a los de 80.000 pl/ha, podrían deberse a: a) Factores fisiológicos como el efecto de las mayores áreas foliares por plantas en las poblaciones con 40.000; b) Condiciones de fertilidad; c) La posible dificultad en la fecundación de las flores femeninas de las plantas en densidades de 80.000 por hectárea, ya sea por autointerferencia en la polinización, debido a que es una planta alógama que requiere fecundación continua, o porque se producen defectos en la formación de sus flores femeninas debido a otros factores; d) El mayor número de mazorcas por plantas.

Los rendimientos de grano seco por unidad de superficie son similares en ambas densidades debido a que el número de plantas se duplica en las poblaciones con 80.000 pl/ha en comparación a las de 40.000.

En la producción de biomasa total de la parte aérea por unidad de área, la superioridad estadística de las poblaciones con 80.000 pl/ha,

aparentemente se deben al número de plantas, ya que la biomasa por planta no presentó diferencias significativas.

La mayor producción de grano seco por planta en densidades de 40.000 y la producción similar de biomasa total de la parte aérea por planta en ambas densidades, origina que el índice de cosecha de las plantas en densidades de 40.000 sea superior al de 80.000 pl/ha.

5.6 Asociación entre variables biológicas

Ninguna de las variables biológicas estudiadas estuvo asociada con la orientación de surcos y para densidades existió correlación solamente con los índices de unidad de superficie (IAF, TPMS, EF).

Altura de planta, peso seco de tallos y biomasa total de la parte aérea, fueron las variables que más frecuentemente correlacionaron con las demás variables estudiadas.

Entre IAN, TPMS y EF existió estrecha correlación ya que los tres miden eficiencia fotosintética; sin embargo, la biomasa total de la parte aérea no estuvo asociada a ellos, debido a que los valores de los tres primeros se refieren a aumentos de producto en períodos cortos del ciclo vegetativo, mientras que la biomasa es acumulativa. El IAN no se relacionó con ninguna de las otras variables, por la misma razón indicada para los índices anteriores y porque en éste se incluyen además peso seco y área foliar.

El área foliar tuvo correlación negativa altamente significativa con la biomasa total de la parte aérea, debido a que después de haberse constituido la estructura fotosintética recién se inicia la acumulación rápida de biomasa. En este período el área foliar se mantiene

constante y luego disminuye.

5.7 Asociación entre variables climáticas y biológicas

Ninguna variable climática estuvo asociada con densidades de siembra ni con orientaciones de surco.

En cambio la edad del cultivo correlacionó:

- a) Positiva y significativamente con la radiación exterior, la que fue aumentando debido a la posición del sol.
- b) Negativa y significativamente con la radiación dentro del cultivo a 0,20 y a 1,20 m de altura, porque la tendencia predominante de la radiación no interceptada fue descendente.
- c) Con la radiación dentro del cultivo a 0,70 m no tuvo asociación, debido a que aunque disminuyó con la edad, la tendencia promedio de la radiación disponible a esta altura no fue suficientemente grande para manifestar asociación, comportándose más bien como una constante.

La radiación solar fuera del cultivo presentó asociación negativa con área foliar y positiva con biomasa total de la parte aérea, porque la tendencia de la radiación y biomasa fueron siempre crecientes, mientras que el área foliar se constituye rápidamente y tiende a disminuir constantemente.

Las condiciones de radiación dentro del cultivo en su gradiente vertical, estuvieron asociadas significativa y negativamente con altura de planta, peso seco foliar, peso seco de tallos y biomasa total de la parte aérea. Estas condiciones no estuvieron correlacionadas con área

foliar, debido a las tendencias inversas de sus curvas con la edad. Al iniciarse el crecimiento sube rápidamente el área foliar y baja la radiación, luego ambas se estabilizan y después decrece lentamente el área foliar, aumentando la radiación. Estas características no ofrecen una tendencia asociada definida. Un proceso similar se produce con el IAF.

La gradiente vertical de radiación del cultivo, estuvo asociada significativa y negativamente con temperatura media y grados día exteriores al cultivo, también con temperatura máxima, mínima, media, grados día y horas al 100 por ciento de humedad dentro de surcos.

Las temperaturas no estuvieron asociadas con densidades pero sí correlacionaron positivamente con la edad del cultivo, en el primer caso posiblemente porque no se registraron variaciones en el flujo del aire, o porque las parcelas no fueron suficientemente grandes para apreciar las variaciones térmicas. Existió estrecha correlación positiva entre grados día de los ambientes interno y externo al cultivo y ambos estuvieron correlacionados con todas las variables biológicas, denotando su importancia en los procesos de crecimiento.

La correlación negativa de la temperatura media con el área foliar discrepa con los resultados conseguidos por Ragland et al. (49), quienes reportan correlación positiva con temperatura y humedad relativa. Los resultados de estos autores se refieren a datos de varias siembras realizadas en condiciones climáticas variables.

La correlación significativa positiva entre las temperaturas dentro del cultivo con biomasa aérea, altura de planta y peso seco de

tallos, permite establecer la consistencia de estas tres variables biológicas para expresar las variaciones de igual tendencia en las temperaturas dentro del cultivo.

Entre humedad relativa mínima y horas al 100 por ciento de humedad, existió asociación positiva porque la humedad relativa mínima y horas al 100 por ciento estuvieron a su vez correlacionadas negativamente con oscilación térmica y temperatura máxima, entre estas dos últimas hubo correlación positiva.

5.8 Asociación entre la gradiente vertical de radiación solar no interceptada por el cultivo y otras variables

La gradiente vertical de radiación no interceptada entre hileras del maíz estuvo influenciada de manera general por los siguientes factores:

- a) Efecto de la intercepción por el cultivo.
- b) Errores instrumentales y experimentales.
- c) Variación estacional por la posición del sol con respecto al paralelo de Turrialba.
- d) Variaciones diarias por perturbaciones atmosféricas, como cielo nublado, humo, etc.

La primera es la variable de respuesta, la segunda es controlada por el experimento. Las variaciones producidas por las otras dos, son atenuadas expresando la información medida dentro del cultivo en forma relativa en relación a la radiación externa al cultivo. Esto permite obtener una gradiente vertical de radiación solar no interceptada dentro del cultivo, desligada de los factores que influyen de manera general sobre la

radiación solar, por lo tanto, es posible estimar la cantidad de radiación existente dentro de un cultivo, una vez conocidas algunas características de éste y la radiación externa.

Las regresiones entre edad con radiación no interceptada y edad con variables biológicas de rápida medida y fácil acceso, y su expresión en un sólo gráfico ayudan al conocimiento de la gradiente vertical de radiación disponible dentro del cultivo en una condición determinada del mismo.

6. CONCLUSIONES

Con la variedad de maíz que se utilizó y para las condiciones ambientales en que se realizó el experimento, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

1. No existió efecto de las orientaciones de surco estudiadas sobre las variaciones en intercepción de radiación solar, temperatura, humedad relativa y variables biológicas.
2. Dentro del cultivo se encontró una gradiente vertical de radiación solar disponible que fue diferente para cada densidad de siembra.
3. Las variaciones de temperatura y humedad relativa dentro del cultivo no fueron afectadas por la densidad de siembra.
4. Dentro del cultivo las temperaturas mínimas, medias, grados día y la humedad relativa mínima fueron diferentes a las de afuera.
5. La altura de planta, peso seco de tallos y biomasa aérea, fueron las variables que con más frecuencia correlacionaron con la gradiente de radiación solar disponible dentro del cultivo, la temperatura y algunas variables biológicas.
6. Las poblaciones con 80.000 pl/ha tuvieron tasas de producción de materia seca y eficiencia fotosintética superiores a las de 40.000; sin embargo, estas últimas presentaron mayor peso seco de granos por planta.

7. RESUMEN

En los cultivos asociados, es importante evaluar las condiciones de radiación solar y otras características microclimáticas existentes dentro del cultivo dominante, así como estudiar los factores que pueden afectar estas condiciones. Un cultivo muy utilizado en Centro y Sud América como dominante en asociaciones es el maíz.

El trabajo tuvo como objetivos principales, estudiar las condiciones de radiación solar y otros factores microclimáticos dentro de un cultivo de maíz, y conocer las relaciones de éstos datos con las características biomorfológicas de ese cultivo.

Se utilizó maíz var. Tuxpeño planta baja, sembrado en hileras con las orientaciones: E-O, NE-SO y NO-SE. Las densidades estudiadas fueron de 40.000 y 80.000 pl/ha, a un metro entre surcos. Dentro y fuera del cultivo las evaluaciones de radiación solar y condiciones microclimáticas se hicieron con radiómetros integradores Gunn-Bellani e higrotermógrafos. Las variables biométricas se evaluaron periódicamente durante el ciclo del cultivo, usando las técnicas empleadas en el análisis de crecimiento.

Los resultados mostraron que las variaciones en la intercepción de radiación solar, temperatura, humedad relativa y variables biológicas, no fueron afectadas por las orientaciones de surco.

Dentro del cultivo se encontró una gradiente vertical de radiación solar disponible que fue diferente para cada densidad de siembra.

Las variaciones de temperatura y humedad relativa dentro del cultivo no fueron afectadas por la densidad de siembra.

Dentro del cultivo las temperaturas mínimas, medias, grados día

y la humedad relativa mínima fueron diferentes a las de afuera.

La altura de planta, peso seco de tallos y biomasa aérea, fueron las variables que con más frecuencia correlacionaron con la gradiente de radiación solar disponible dentro del cultivo, la temperatura y algunas variables biológicas.

Las poblaciones con 80.000 pl/ha tuvieron tasas de producción de materia seca y eficiencia fotosintética, superiores a las de 40.000; sin embargo, estas últimas presentaron mayor peso seco de granos por planta.

7a. SUMMARY

The present research work had as main objectives the study of solar radiation conditions and other micro-climatic factors within a corn crop, and to know the relationships of this data with the morphological characteristics of this crop.

The 'Tuxpeño' corn variety was used. It was planted in three furrow orientations (E-W; NE-SW; NW-SE) and two plant densities (40,000 and 80,000 plants per ha). The following micro-climatic factors were determined within the crop: solar radiation, temperature and relative humidity. The main morphological characteristics measured were: height of plants, aerial biomass, leaf area index, photosynthetic efficiency, which were taken at different ages.

Under the conditions of this experiment the main conclusions were that solar radiation, temperature, relative humidity and biological variables were not influenced by furrow orientations.

Within the crop a vertical gradient of available solar radiation was found and this was different for each plant density.

The variations of temperature and relative humidity within the crop were not affected by plant density.

The height of plants, dry weight of the shoot and aerial biomass were the variables more frequently correlated with the gradient of available solar radiation within the crop, the temperature and some other biological variables.

The crop at 80,000 plants/ha showed higher rates of dry matter production and photosynthetic efficiency than at 40,000, nevertheless the later presented bigger dry weight of grains per plant. In both cases the grain yields were similar.

8. RECOMENDACIONES

Con base a los resultados de este trabajo y para las condiciones en que se realizó, se hacen las siguientes recomendaciones:

1. Si se va a emplear el terreno para asociaciones con maíz, utilizar la densidad de 40.000 pl/ha que permite disponer de más radiación solar entre hileras.
2. Si se va a utilizar el terreno con monocultivo y alimentar animales con la parte no comercial del maíz, se recomienda utilizar la densidad de 80.000 pl/ha que produjo el doble de materia seca que 40.000 y además, los rendimientos en grano fueron similares en ambos casos.
3. Para mejorar la información, es conveniente hacer experimentos similares a éste, pero en diferentes estaciones del año e incluir solamente las orientaciones N-S y E-O por ser las más contrastantes.
4. Debe darse preferencia, entre las variables biológicas que se midan al peso seco de tallos, biomasa aérea, altura de planta y peso seco de hojas, por estar más asociadas a las variables microclimáticas.
5. En las mediciones de radiación solar, utilizar instrumentos de registro semanal, para evitar el tránsito excesivo.
6. En futuros experimentos estudiar las condiciones de radiación solar entre hileras, a otros distanciamientos como en el caso de la doble hilera.

9. LITERATURA CITADA

1. ABALO, R. A. Influencia de densidades de siembra sobre el rendimiento de variedades de Maíz en Pergamino. In Quinta Reunión de Maíz, 28 y 29 de Julio 1950, Pergamino, Argentina. Memoria. Pergamino, Ministerio de Agricultura y Ganadería de la Nación, 1950. pp. 139-145.
2. AGUIRRE, A. V. Estudio de los suelos del área del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación, IICA-Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CTEI-IICA, 1971. pp. 52-56.
3. ALBA, A. Elementos de Meteorología. Barcelona, Sintés, 1960. 294 p.
4. ALDRICH, S. R. y LENG, E. R. Producción Moderna del Maíz. Trad. del inglés por Oscar Martínez T. y Patricia Leguizamón. Buenos Aires, AID, 1974. 295 p.
5. ALVIM, P. de T. Energía solar y producción agrícola. Agronomía (Perú) 29(2):115-123. 1962.
6. ALVIM, R. Factores que afectan a producción agrícola. In Curso Intensivo sobre Sistemas de Producción Agrícola para el Trópico, Turrialba, marzo 1967. Resumen. Turrialba, IICA-CATIE, 1967. p. irr. 32.
7. _____ y ALVIM, P. de T. Efeito da densidade de plantio no aproveitamento da energia luminosa pelo milho (Zea mays) e pelo feijao (Phaseolus vulgaris), em culturas exclusivas e consorciadas. Turrialba 19(3):389-393. 1969.
8. ALLEN, L. H. Jr. Model of light penetration into a wide-row crop. Agronomy Journal 66(1):41-46. 1974.
9. _____, YOCUM, C. S. y LEMON, E. R. Photosynthesis under field conditions. VII. Radiant energy exchangers within a corn crop canopy and implications in water use efficiency. Agronomy Journal 56(3):253-259. 1964.
10. ASCENCIO CH., J. Análisis del crecimiento y eficiencia fotosintética del frijol (Phaseolus vulgaris L. var. "Turrialba 4") cultivado en solución nutritiva. Tesis Mag. Sc. Turrialba, IICA, 1972. 98 p.
11. _____ y FARGAS, J. E. Análisis del crecimiento del frijol (Phaseolus vulgaris L. var. "Turrialba 4") cultivado en solución nutritiva. Turrialba 23(4):420-428. 1973.

12. AUBERTIN, G. M. y PETERS, D. B. Net radiation determination in a cornfield. *Agronomy Journal* 53(4):269-272. 1961.
13. BEAUDIN-DUFOUR, D. y MULLER, L. E. Effect de la radiation solaire et de l'agesur en caféine et en azote des fruits de trois espèces de caféiers. *Turrialba* 21(4):387-392. 1971.
14. BILLINGS, W. D. Las plantas y el ecosistema. México, Herrero, 1968. 168 p.
15. BLAKEMAN y WILSON, G. L. Physiological and ecological studies in the analysis of plant environment. VII. An analysis of the differential effects of light intensity and the net assimilation rate, leaf area ratio and relative growth rate of different species. *Annals of Botany (n.s.)* 15(59):373-408. 1951.
16. BRANDES, D., MAESTRI, M., VIEIRA, C. y GOMEZ, R. F. Efeitos da populacao de plantas e da época de plantil no crescimento do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.). III. Intercepcao de luz e eficiencia de conversao da energia solar. *Experientiae* 15(1):23-30. 1973.
17. BROOKS, F. A. An introduction to physical microclimatology. California, University of California, 1960. 253 p.
18. BROUGHAM, R. W. The relationship between critical leaf area, total chlorophyll content and maximum growth rate of some pasture crop plants. *Annals of Botany (n.s.)* 24:463-474. 1964.
19. CENTRO AGRONOMOICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA, TURRIALBA. Desarrollo de Sistemas de Producción para el Trópico. Turrialba, CATIE, 1974. 55 p.
20. DENMEAD, O. T., FRITSCHEN, L. J. y SHAW, R. H. Spatial distribution of net radiation in a corn field. *Agronomy Journal* 54(6):505-510. 1962.
21. DUNCAN, W. G. Maize. In Evans, L. T., ed. *Crop Physiology*. Cambridge University, 1975. pp. 23-51.
22. ERMILOV, G. B. Dependence of leaf productivity of corn on the internal plant processes. *Soviet Plant Physiology* 9(4): 315-317. 1963.
23. FLORESCANO, E. y MORENO, T. A. Bibliografía del Maíz. México, CONASUPO, 1972. 199 p.

24. FRIEND, D. T. C. A simple method of measuring integrated light values in the field. *Ecology* 42(3):577-580. 1961.
25. GILMORE, E. C. Jr. y ROGER, J. S. Heat unit as a method of measuring maturity in corn. *Agronomy Journal* 50(10): 611-615. 1956.
26. HOLDRIDGE, L. R. *Life Zone Ecology*. San José, Tropical Science Center, 1967. 206 p.
27. _____. Mapa ecológico de Costa Rica. Turrialba, IICA, 1959. Esc. 1:1.000.000.
28. HUERTA, S. A. Influencia de la intensidad de luz en la eficiencia asimilatoria y el crecimiento del cafeto. Tesis Mag. Sc. Turrialba, IICA, 1964. 69 p.
29. _____ y ALVIM, P. de T. Índice de área foliar y su influencia en la capacidad fotosintética del cafeto. *Cenicafé* 13(2):75-87. 1962.
30. INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA. Maíz, bibliografía de las publicaciones que se encuentran en la biblioteca conmemorativa Orton. Turrialba, IICA, 1964. 188 p.
31. _____, CENTRO DE DOCUMENTACION E INFORMACION AGRICOLA. Bibliografía sobre Sistemas de Agricultura Tropical. Turrialba, IICA-CIDIA, 1974. 145 p.
32. INTERNATIONAL MAIZE AND WHEAT IMPROVEMENT CENTER, MEXICO. *Bibliography of Corn*. Cdarecrow, Metuchan, N.J., 1971. pp. 504-514.
33. JACKSON, J. E. Relationship of relative growth rate to net assimilation rate and its relevance to the physiological analysis of plant yield. *Nature (Londres)* 200(4909):909. 1963.
34. JAIN, T. C. Effect of temperature on growth of *Zea mays*. *Bulletin de la classe des Sciences (Belgica)* 5a. serie. pp. 745-772. 1968.
35. LINVILL, D. E. y DALE, R. F. Population density and sampling location effects on net radiation measurements over Corn. *Agronomy Journal* 67(4):463-468. 1975.
36. LOOMIS, R. S. y WILLIAMS, W. A. Maximum crop productivity: an estimate. *Crop Science* 3(1):67-72. 1963.

37. LOOMIS, R. S. y WILLIAMS, W. A. Productivity and the morphology of crop stand: patterns with leaves. In Eastin, J. D., Haskins, F. A., Sullivan, C. Y. y Van Bavel, C. H. M., eds. Physiological aspects of crop yield. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, 1969. pp. 27-51.
38. MATTOS, C., NATAL, D. y ROSA, H. comp. Milho (Zea mays L.), Lista bibliográfica N° 19. Bahía, Ministerio de Agricultura, 1970. 127 p.
39. McKEE, G. W. A coeficient for computing leaf in hybrid corn. Agronomy Journal 56(2):240-241. 1964.
40. MEDINA, E y SAN JOSE, J. J. Análisis de la productividad de caña de azúcar. II. Intercepción de luz y distribución vertical del área foliar en caña de azúcar var. PR 980. Turrialba 20(2):149-152. 1970.
41. MOJICA B., F. J. Absorción de nutrimentos y producción en la asociación frijol (Phaseolus vulgaris L.). Tesis Mag. Sc. Turrialba, IICA, 1975. 115 p.
42. MONTEITH, J. L. Light interception and radiative exchange in crop stands. In Eastin, J. D., Haskins, F. A., Sullivan, C. Y. y Van Bavel, C. H. M., eds. Physiological aspects of crop yield. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy and Crop Science Society of America, 1969. pp. 87-115.
43. MURILLO M., R. Estudio preliminar de la relación entre las unidades calóricas efectivas y la floración del maíz (Zea mays L.). Tesis Ing. Agr. San José, Universidad de Costa Rica, 1962. 47 p.
44. NEWMAN, J. E., BLAIR, B. O., DALE, R. F., SMITH, L. H., STIRM, W. L. y SCHAAL, L. A. Growing degree days. Crop and Soil 21(3):9-12. 1968.
45. PERRIN, P. Curso de Meteorología. Mérida, Venezuela, Universidad de Los Andes, 1969. 237 p.
46. PLATERO H., O. Análisis de rendimientos de grano y económico de las asociaciones maíz-frijol en la región este del valle de México. In XII Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios, San Salvador, 7-11 Abril, 1975. El Salvador, PCCMCA, 1975. v.1, pp. 337-353.

47. PLATT, R. B. y GRIFFITHS, J. F. Environmental measurement and interpretation. New York, Reinhold, 1964. 235 p.
48. RADFORD, P. J. Growth analysis formulae - Their use and abuse. *Crop Science* 7(3):171-175. 1967.
49. RAGLAND, J. L., HATFIELD, A. L. y BENOIT, G. R. The growth and yield of corn. I. Microclimatic effects on the growth rate. *Agronomy Journal* 57(2):217-220. 1965.
50. ROCHA M., H., ALVIM, P. de T. y DOBEREINER, J. Influencia de intensidad de radiación solar sobre el crecimiento e a fijación simbiótica de nitrógeno por la soja (Glycine max.). *Turrialba* 20(3):293-298. 1970.
51. SAN JOSE, J. J. y MEDINA, E. Análisis de la productividad de la caña de azúcar. I. Crecimiento, desarrollo de la superficie foliar y contenido de clorofila de caña de azúcar "PR 980". *Turrialba* 20(2):143-148. 1970.
52. SANABRIA DE HOJICA, E. Producción de biomasa, nutrición mineral y absorción de agua en la asociación frijol-maíz cultivada en solución nutritiva. Tesis Mag. Sc. Turrialba, IICA, 1975. 63 p.
53. SCHOCH, P. y CANDELARIO, L. S. Influencia de la sombra en el crecimiento y la productividad de las hojas de Vigna sinensis L. *Turrialba* 24(1):84-89. 1974.
54. STANHILL, G. A comparison of four methods of estimating solar radiation. In Eckardt, F. E., ed. *Methodology of plant eco-physiology. Proceeding of the Montpellier Symposium. Arid Zone Research N. 25. Paris, UNESCO, 1965. pp. 55-61.*
55. STEWART, G. A. Elevado potencial de los trópicos para producir cereales, gramíneas forrajeras y carne. In *Desarrollo del Trópico Americano, Maracay, Venezuela, 1973. Ministerio de Agricultura y Cría, 1973. pp. 92-122.*
56. TROJER, H. Algunas características agroclimatológicas del trópico americano. In *Reunión Internacional sobre problemas de la agricultura en los trópicos húmedos de América Latina, Lima-Belém do Pará, 1966. Informe. 24 p.*
57. _____. Acción meteorológica y reacción fisiológica del café. *Turrialba, IICA, 1971. 18 p.*

58. USTENKO, G. P. y GAIDUKOV, G. F. Formation and performance of photosynthetic systems of corn plants in sowing. In Second All Union Conference on Photosynthesis (January 21-26, 1957). Summaries of papers. U.S.S.R. Academy of Science. Oak Ridge Tenn., U.S. Atomic Energy Commission, 1957. pp. 83-84.
59. VIDAURRE A., J. Estudio sobre distancias, densidades de siembra y fertilización en maíz. Tesis Ing. Agr. San José, Facultad de Agronomía-Universidad de Costa Rica, 1974. 58 p.
60. VILLEGAS, C. Ecología del trópico americano. Una bibliografía parcialmente anotada. Turrialba, IICA-Trópicos, 1974. 64 p.
61. WATSON, D. J. Comparative physiological studies on the growth of field crops. I. Variation in the net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Annals of Botany (n.s.)* 11:41-76. 1974.
62. _____. The physiological bases of variation in yield. *Advances in Agronomy* 4:101. 1952.
63. WHIGHAM, D. K. y WOOLLEY, D. G. Effect of leaf orientation, leaf area, and plant densities on corn production. *Agronomy Journal* 66(4):482-486. 1974.
64. WHITEHEAD, F. H. y MYERSCOUGIL, P. J. Growth analysis of plants. The rate of mean relative growth rate and mean relative rate of leaf area increase. *New Phytologist* 61:314-321. 1962.

10. A P E N D I C E

Cuadro A1. Orden cronológico de las principales labores de cultivo y actividades realizadas durante el experimento con maíz var. Tuxpeño.

Fechas	Labor o Actividad
09/11/74	Preparación del terreno
14/11/74	Aplicación de Valexón y gramoxone
23/11/74	Primera fertilización con fórmula 15-30-8
26/11/74	Siembra
26/11/74	Instalación de equipo meteorológico externo
01/12/74	Tratamiento con elocrón
04/12/74	Inicio de actividad fotosintética (emergencia)
06/12/74	Tratamiento con elocrón
07/12/74	Deshierbo
10/12/74	Tratamiento con sevín
13/12/74	Tratamiento con elocrón
15/12/74	Entresaque
19/12/74	Tratamiento con sevín
20/12/74	Tratamiento con toxafeno al pie de la planta
24/12/74	Segunda fertilización con fórmula 20-10-6-5
26/12/74	Tratamiento con sevín
28/12/74	Instalación de radiómetros dentro de parcelas a 0,20 m
31/12/74	Tratamiento con cytolane
05/01/75	Se inician observaciones de radiación solar a 0,70 m
09/01/75	Se instalan higrotermógrafos en todas las parcelas
12/01/75	Riego por aspersion (16 mm)
13/01/75	Se inician observaciones de radiación solar a 1,20 m
20/01/75	Tratamiento con metasistox
24/01/75	Deshierbo
31/01/75	Inicio de floración
03/02/75	Salida de espigas
29/02/75	Riego por aspersion (19 mm)
13/04/75	Cosecha

Cuadro A2. Condiciones externas de radiación solar diaria promedio y acumulada que ocurrieron durante el cultivo del maíz.

Período (días)	Promedio (cal cm ⁻² día ⁻¹)	Acumulada	
		Por períodos	Para período y total del ciclo
0*- 24	416,2	9988	9988
25 - 45	420,0	8821	18809
46 - 66	397,2	8337	27146
67 - 87	459,6	9651	36797
88 -108	454,0	9536	46333
109 -129	473,7	9948	56281

* 8 días de la siembra

Cuadro A3. Radiación solar promedio, acumulada y porcentaje no interceptado a tres alturas sobre el suelo, dentro de un cultivo de maíz a dos densidades de siembra y tres orientaciones de surco.

Densi- dad*	Orientación**	Período (días)	Promedio por altura (cal cm ⁻² día ⁻¹)		Acumulada por altura (cal cm ⁻² período ⁻¹)		Valores relativos*** Por alturas (%)												
			0,20 m	0,70 m	1,20 m	0,20 m	0,70 m	1,20 m	0,20 m	0,70 m	1,20 m								
			0,20 m	0,70 m	1,20 m	0,20 m	0,70 m	1,20 m											
1	1	0 - 24																	
1	1	25 - 45	338,7	241,9	430,3	6097	725	---	77	78	100								
1	1	46 - 66	140,5	195,1	266,3	984	1366	1864	35	48	68								
1	1	67 - 87	169,2	168,6	302,5	1185	1180	2118	34	41	63								
1	1	88 - 108	178,2	248,0	256,4	1247	1736	1795	39	50	62								
1	1	109 - 129	217,0	291,9	260,3	1519	2043	1822	47	54	62								
1	2	0 - 24																	
1	2	25 - 45	338,7	262,4	430,3	6090	787	---	77	84	100								
1	2	46 - 66	127,5	176,2	274,1	893	1234	1919	32	44	70								
1	2	67 - 87	141,3	152,0	200,1	989	1064	1400	29	37	42								
1	2	88 - 108	171,6	254,3	225,0	1201	1780	1575	38	51	55								
1	2	109 - 129	257,48	368,2	274,0	1802	2577	1918	56	68	65								
1	3	0 - 24																	
1	3	25 - 45	311,1	246,2	430,3	5599	739	---	71	79	100								
1	3	46 - 66	150,3	204,5	267,4	1052	1431	1872	38	51	69								
1	3	67 - 87	160,0	145,5	202,0	1120	1018	1414	33	35	42								
1	3	88 - 108	134,0	177,7	204,5	938	1244	1431	29	36	50								
1	3	109 - 129	188,4	277,6	244,5	1319	1943	1712	41	51	58								
2	1	0 - 24																	
2	1	25 - 45	278,7	224,9	430,3	5016	675	---	64	72	100								
2	1	46 - 66	100,7	151,6	244,6	705	1061	1713	25	38	63								
2	1	67 - 87	117,8	120,6	189,6	825	845	1327	24	29	40								
2	1	88 - 108	119,5	145,5	183,5	836	1019	1286	26	29	44								
2	1	109 - 129	186,9	240,8	220,5	1309	1685	1544	41	44	53								

continúa.....

Cuadro A3 (continuación)

Densi- dad*	Orienta- ción**	Período (días)	Promedio por altura (cal cm ⁻² día ⁻¹)		Acumulada por altura (cal cm ⁻² período ⁻¹)		Valores relativos*** Por alturas (%)								
			0,20 m	0,70 m	1,20 m	0,20 m	0,70 m	1,20 m	0,20 m	0,70 m	1,20 m				
2	2	0 - 24													
2	2	25 - 45	277,2	222,4	430,3	4989	667	--	63	71	100				
2	2	46 - 66	98,0	146,8	243,1	686	1028	1702	25	36	62				
2	2	67 - 87	102,4	112,8	186,1	717	790	1303	21	27	39				
2	2	88 - 108	130,5	189,4	195,2	914	1326	1367	29	38	47				
2	2	109 - 129	248,17	317,1	264,4	1737	2220	1851	54	58	63				
2	3	0 - 24													
2	3	25 - 45	310,2	235,4	430,3	5584	706	--	71	75	100				
2	3	46 - 66	116,2	151,5	229,0	813	1061	1603	29	38	59				
2	3	67 - 87	121,7	104,4	176,1	852	732	1233	25	25	37				
2	3	88 - 108	138,4	170,5	150,6	969	1194	1054	30	34	37				
2	3	109 - 129	174,4	225,9	223,0	1221	1682	1560	38	44	53				

* Densidad: 1 = 40.000 pl/ha; 2 = 80.000 pl/ha

** Orientación: 1 = E-O; 2 = (NE-SO); 3 = NO-SE

*** Radiación no interceptada por el cultivo en relación a la radiación fuera del cultivo

Cuadro A4. Análisis de variancia de regresión para radiación solar no interceptada dentro de un cultivo de maíz.

Fuentes	G.L.	S.C.	C.M.	F	sig.
Regresión	10	492042,14	49204,21	29,9	**
Error	79	130004,44	1645,62		
Total	89	622046,58			

$$R^2 = 0,80$$

Cuadro A5. Coeficientes de regresión y significación de la radiación solar no interceptada dentro de un cultivo de maíz a dos densidades de siembra y tres orientaciones de surco.

Variable	b_i	Sb_i	t	sig.
D	-36,107	8,552	- 4,22	**
O	61,126	41,759	1,46	
P	-12,418	1,134	-10,94	**
A	17,442	41,754	0,42	
O^2	-11,196	9,071	- 1,234	
P^2	0,075	0,005	13,04	**
A^2	21,159	9,070	2,33	*
OP	- 0,151	0,176	- 0,85	
OA	- 4,598	6,411	- 0,72	
PA	- 0,585	0,176	- 3,32	**

$$b_0 = 658,32$$

D = Densidad; O = Orientación; P = Períodos de muestreo; A = Altura;

b_i = Coeficiente de regresión; Sb_i = Error estándar de b_i

b_0 = Intercepto de Y

Cuadro A6. Estimación estadística de los promedios de radiación solar a 0,20 m del suelo, dentro y fuera de un cultivo de maíz a dos densidades de siembra y tres orientaciones de surco.

	Densidad*	Orientación**	\bar{x}	S	S ²	n	CV
Dentro del cultivo	1	1	240,41	135,22	18284	46	56
	1	2	232,3	135,7	18414	46	58
	1	3	218,05	125,68	15795	46	57
	2	1	188,94	120,61	14547	46	63
	2	2	199,34	128,76	16579	46	64
	2	3	202,1	135,6	18387	46	67
Fuera del cultivo	-	-	445,37	147,16	21656	46	33

* Densidad: 1 = 40.000 pl/ha; 2 = 80.000 pl/ha

** Orientación: 1 = E-O; 2 = NE-SO; 3 = NO-SE

Cuadro A7. Estimación estadística de los promedios de radiación solar a 0,70 m del suelo, dentro y fuera de un cultivo de maíz a dos densidades de siembra y tres orientaciones de surco.

	Densidad*	Orientación**	\bar{x}	S	S ²	n	CV
Dentro del cultivo	1	1	227,43	95,64	9147,01	31	42
	1	2	240,07	120,65	14556,42	31	50
	1	3	205,64	86,12	7416,65	31	42
	2	1	170,42	70,94	8270,08	31	53
	2	2	194,62	105,33	11094,41	31	54
	2	3	173,35	86,40	7464,96	31	49
Fuera del cultivo	-	-	445,39	147,13	21647,24	31	33

* Densidad: 1 = 40.000 pl/ha; 2 = 80.000 pl/ha

** Orientación: 1 = E-O; 2 = NE-SO; 3 = NO-SE

Cuadro A8. Estimación estadística de los promedios de radiación solar a 1,20 m del suelo, dentro y fuera de un cultivo de maíz a dos densidades de siembra y tres orientaciones de surco.

	Densidad*	Orientación**	\bar{x}	S	S ²	n	CV
Dentro del cultivo	1	1	271,42	105,55	11132,36	28	39
	1	2	243,3	87,83	7714,11	28	36
	1	3	233,19	90,68	8222,86	28	39
	2	1	209,56	81,42	6629,21	28	39
	2	2	222,21	84,62	7160,54	28	38
	2	3	194,63	77,35	5983,02	28	40
Fuera del cultivo	-	-	425,1	123,0	15129,0	28	29

* Densidad: 1 = 40.000 pl/ha; 2 = 80.000 pl/ha

** Orientación: 1 = E-O; 2 = NE-SO; 3 = NO-SE

Cuadro A9. Significación de las pruebas de diferencias de medias* entre radiación solar total fuera del cultivo y radiación solar no interceptada, por alturas, dentro de un cultivo de maíz a dos densidades de siembra y tres orientaciones de surco.

Altura (m)	40.000 pl/ha			80.000 pl/ha		
	E-O	NE-SO	NO-SE	E-O	NE-SO	NO-SE
0,20	9,14**	8,53**	8,24**	6,95**	7,21**	7,97**
0,70	8,85**	7,71**	8,87**	6,91**	6,01**	7,83**
1,20	7,73**	7,19**	8,39**	5,02**	6,36**	6,64**

* Se hicieron pruebas previas de homogeneidad de varianzas.

** Significativo a nivel de 0,01 de probabilidad.

Cuadro A10. Promedio diario de las condiciones externas de temperatura, oscilación térmica y grados día que ocurrieron durante el ciclo de vida del maíz por periodos del crecimiento (C).

Períodos (días)	Máxima	Mínima	Media	Oscilación	Grados día
0 - 24	27,20	14,75	20,27	12,46	10,66
25 - 45	25,63	13,99	19,81	11,54	9,79
46 - 66	26,35	13,99	20,97	14,25	12,19
67 - 87	29,20	15,60	21,84	15,27	11,70
88 - 108	30,42	14,52	23,39	13,53	13,38
109 - 129	30,01	16,11	23,06	13,76	12,92

Cuadro All. Promedio de temperaturas diarias y grados día acumulados por períodos dentro de un cultivo de maíz a dos densidades de siembra y tres orientaciones de surco.

Densidad*	Orientación**	Períodos (días)	Máxima	Mínima	Media	Oscilación	Grados día	Grados día acumulados
1	1	0 - 24						
1	1	25 - 45	25,95	14,15	20,05	11,70	10,02	210,5
1	1	46 - 66	27,87	16,91	21,40	10,10	11,40	239,4
1	1	67 - 87	27,26	14,34	21,78	13,44	11,78	247,4
1	1	88 - 108	31,19	17,41	23,80	13,77	13,73	289,3
1	1	109 - 129	31,75	17,63	24,82	14,33	14,47	303,9
1	2	0 - 24						
1	2	25 - 45	26,22	14,49	20,01	12,32	9,98	209,6
1	2	46 - 66	26,76	16,10	21,46	10,66	11,46	240,6
1	2	67 - 87	28,44	15,48	21,54	12,96	11,98	251,5
1	2	88 - 108	30,17	17,13	23,68	13,03	13,66	286,9
1	2	109 - 129	32,40	17,33	24,83	15,07	14,36	301,5
1	3	0 - 24						
1	3	25 - 45	26,03	14,33	20,19	11,60	10,16	213,3
1	3	46 - 66	27,71	16,43	22,10	11,29	11,77	247,1
1	3	67 - 87	29,30	14,71	22,03	14,59	11,77	247,1
1	3	88 - 108	30,71	16,86	23,76	13,85	13,41	281,7
1	3	109 - 129	32,30	17,48	24,56	14,82	13,45	282,4
2	1	0 - 24						
2	1	25 - 45	26,21	14,41	20,32	11,71	10,29	216,1
2	1	46 - 66	27,37	17,33	22,60	10,51	13,22	277,7
2	1	67 - 87	28,96	14,97	21,94	13,99	12,30	258,3
2	1	88 - 108	31,97	17,98	24,88	13,74	14,22	298,6
2	1	109 - 129	32,32	17,85	24,68	15,32	13,19	277,0
2	2	0 - 24						
2	2	25 - 45	26,04	14,40	20,07	11,85	10,04	210,9
2	2	46 - 66	27,20	17,02	21,25	10,17	11,25	236,3
2	2	67 - 87	28,60	15,54	22,30	13,51	11,96	251,1
2	2	88 - 108	31,01	17,26	24,15	13,77	13,73	288,4
2	2	109 - 129	32,65	17,20	24,89	15,35	13,40	281,5
2	3	0 - 24						
2	3	25 - 45	26,00	14,00	20,02	11,93	9,98	209,7
2	3	46 - 66	26,60	15,63	21,14	10,97	11,10	233,1
2	3	67 - 87	28,56	15,75	22,18	12,80	12,57	255,3
2	3	88 - 108	29,65	16,88	23,28	12,78	13,29	279,0
2	3	109 - 129	31,17	17,37	24,29	13,38	13,42	281,9

* Densidades: 1 = 40.000 pl/ha; 2 = 80.000 pl/ha.

** Orientación: 1 = E-O; 2 = NE-SO; 3 = NO-SE.

Cuadro A12. Análisis de variancia de las regresiones entre temperatura, y densidades de siembra, orientaciones de surco y períodos de muestreo dentro de un cultivo de maíz.

Temperaturas	F	Sig.	R ²
Máxima	60,87	**	0,94
Mínima	5,97	**	0,61
Media	49,84	**	0,93
Oscilación	12,19	**	0,88
Grados día			

** Significación a nivel de 0,01 de probabilidad.

Cuadro Al3. Coeficientes de las curvas de regresión para polinómios cuadráticos* de temperatura.

Coeficientes**	T E M P E R A T U R A (C)				
	Máxima	Mínima	Media	Oscilación	Grados día
b_0	23,527	12,413	17,751	11,534	5,188
$b_1 (X_1)$	0,017	0,187	0,132	-0,111	0,774
$b_2 (X_2)$	0,170	0,147	-0,236	--	--
$b_3 (X_3)$	0,040	0,050	0,057	-0,013	0,110
$b_4 (X_2^2)$	0,005	-0,074	0,073	--	--
$b_5 (X_3^2)$	0,0002	-0,00009	0,00001	0,0003	-0,0003
$b_6 (X_2 X_3)$	0,003	-0,0003	0,002	--	--
$b_7 (X_1 X_3)$	--	--	--	-0,0006	-0,008
R^2	0,940	0,609	0,928	0,661	0,874

$$* Y_{123} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_2^2 + b_5 X_3^2 + b_6 X_2 X_3 + b_7 X_1 X_3 + E_{123}$$

** X_1 = Densidad; X_2 = Orientación; X_3 = Períodos de muestreo

Cuadro Al4. Significación de los efectos de densidad, orientación y períodos de muestreo en las temperaturas dentro de un cultivo de maíz a dos densidades de siembra y tres orientaciones de surco.

Tratamiento	T E M P E R A T U R A				
	Máxima	Mínima	Media	Oscilación	Grados día
D	0,07	0,55	0,70	1,10	1,24
O	0,16	0,09	-0,27	--	--
P	1,54	1,16	2,40*	0,01	4,25**
O^2	-0,02	-0,21	0,37	--	--
P^2	1,31	-0,38	0,09	1,30	-2,25*
OP	-0,70	-0,05	-0,57	--	--
DP	--	--	--	-0,01	-1,26

D = Densidad; O = Orientación; P = Períodos de muestreo

**Significativo a 0,01; * Significativo a 0,05 de probabilidad

Cuadro Al5. Significación de la diferencia de medias* entre las temperaturas del exterior e interior del cultivo.

Temperatura	t ⁺	sig.
Máxima	- 1,48	
Mínima	- 2,90	**
Media	- 2,37	**
Oscilación	0,02	
Grados día	- 2,29	**

* Se hicieron pruebas previas de homogeneidad de varianzas.

** Significativo a nivel de 0,01 de probabilidad.

+ Los valores negativos de t, indican temperaturas mayores dentro del cultivo.

Cuadro Al6. Condiciones externas de humedad relativa mínima (%) y horas al 100%. Promedios diarios y valores acumulados por período.

Período en días	Promedio		Acumulada	
	Mínima	Horas al 100%	Mínima	Horas al 100%
0 - 24	48,7	12,7	1022	305
25 - 45	47,7	14,0	997	294
46 - 66	51,2	15,2	1076	320
67 - 87	37,1	11,2	780	236
88 - 108	34,1	11,2	717	236
109 - 129	32,2	10,3	676	217

Cuadro Al7. Promedios diarios y valores porcentuales de humedad relativa mínima y horas al 100% que ocurrieron dentro de un cultivo de maíz por densidades de siembra, orientaciones de surco y períodos.

Densidad*	Orientación**	Períodos (días)	Promedios		Valores relativos***	
			Mínima	Horas al 100%	Mínima	Horas al 100%
1	1	0 - 24	--	--	--	--
1	1	25 - 45	47,0	14,5	99	103
1	1	46 - 66	62,0	14,6	121	96
1	1	67 - 87	48,3	10,6	130	94
1	1	88 - 108	42,9	10,7	126	95
1	1	109 - 129	39,1	7,4	121	72
1	2	0 - 24	--	--	--	--
1	2	25 - 45	45,7	12,5	96	89
1	2	46 - 66	63,2	11,5	123	76
1	2	67 - 87	46,9	10,2	126	91
1	2	88 - 108	45,2	10,1	132	90
1	2	109 - 129	41,9	10,7	130	103
1	3	0 - 24	--	--	--	--
1	3	25 - 45	44,9	13,2	94	95
1	3	46 - 66	55,3	11,2	108	73
1	3	67 - 87	47,7	9,5	128	84
1	3	88 - 108	43,2	10,4	127	93
1	3	109 - 129	41,0	10,8	127	104
2	1	0 - 24	--	--	--	--
2	1	25 - 45	48,0	14,4	101	103
2	1	46 - 66	66,0	17,3	129	113
2	1	67 - 87	49,6	8,8	133	78
2	1	88 - 108	40,9	12,1	119	108
2	1	109 - 129	38,6	6,7	120	65
2	2	0 - 24	--	--	--	--
2	2	25 - 45	47,6	14,0	100	100
2	2	46 - 66	68,3	16,9	133	111
2	2	67 - 87	47,4	11,6	128	103
2	2	88 - 108	43,6	11,6	128	118
2	2	109 - 129	41,5	8,1	130	78
2	3	0 - 24	--	--	--	--
2	3	25 - 45	47,7	14,2	101	101
2	3	46 - 66	61,0	12,5	119	82
2	3	67 - 87	50,1	11,1	135	98
2	3	88 - 108	45,8	8,1	134	72
2	3	109 - 129	44,2	11,5	137	112

* Densidad: 1 = 40.000 pl/ha; 2 = 80.000 pl/ha.

** Orientación: 1 = E-O; 2 = NE-SO; 3 = NO-SE.

*** Porcentaje en relación a la humedad relativa de fuera del cultivo.

Cuadro A18. Análisis de variancia para regresiones entre las condiciones de humedad y densidad de siembra, orientaciones de surco y períodos de muestreo dentro de un cultivo de maíz.

Condiciones de humedad	F	sig.	R ²
Humedad relativa mínima	3,97	**	0,51
Horas al 100%	8,01	**	0,56

** Significativo a nivel de 0,01 de probabilidad

Cuadro A19. Coeficientes de regresión para polinomios cuadráticos⁺ y significación de densidades, orientaciones y períodos de muestreo para humedad relativa dentro de un cultivo de maíz.

Coeficientes ⁺⁺	Humedad relativa (%)					
	M í n i m a			Horas al 100%		
	b	t	sig.	b	t	sig.
b ₀	33,658			12,802		
b ₁ (X ₁)	1,733	0,75		3,330	1,61	
b ₂ (X ₂)	- 0,015	-0,001				
b ₃ (X ₃)	0,533	1,84		- 0,041	-0,47	
b ₄ (X ₂ ²)	- 0,965	-0,39				
b ₅ (X ₃ ²)	- 0,004	-2,43	*	0,0001	0,32	
b ₆ (X ₂ X ₃)	0,043	0,92				
b ₇ (X ₁ X ₃)				- 0,029	-1,33	

$$+ Y_{123} = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_2^2 + b_5X_3^2 + b_6X_2X_3 + b_7X_1X_3 + E_{123}$$

++ X₁ = Densidad; X₂ = Orientación; X₃ = Períodos de muestreo

* Significativo a nivel de 0,05 de probabilidad

Cuadro A20. Significación de las diferencias de medias entre humedad relativa exterior y humedad relativa dentro de un cultivo de maíz.

Condiciones de humedad	t ⁺	sig.
Humedad relativa mínima	- 4,34	**
Horas al 100% de humedad	1,59	

⁺Los valores negativos de t indican mayores medias para condiciones de humedad dentro del cultivo.

**Significativo a nivel de 0,01 de probabilidad.

Cuadro A21. Condiciones externas de lluvia y evaporación por períodos y acumulada durante el ciclo de vida del maíz.

Períodos (días)	Por período			Acumulada	
	Lluvia (L) (mm)	Evaporación (E) (mm)	L-E	Lluvia (mm)	Evapora ción(mm)
siembra-implanta- ción*	365,3	21,7	343,6	365,3	21,7
0 - 24	94,5	136,3	- 41,8	459,8	158,0
25 - 45	53,5	127,9	- 74,4	513,3	289,9
46 - 66	70,6	113,9	- 43,3	583,9	399,8
67 - 87	3,5	141,7	-138,2	587,4	541,5
88 - 108	18,0	157,1	-139,1	605,4	698,6
109 - 129	20,5	170,8	-150,3	625,9	869,4

* Ocho días después de la siembra.

Cuadro A22. Tamaño de muestra* por tratamiento y por períodos de muestreo para un cultivo de maíz a dos densidades de siembra y tres orientaciones de surco.

Períodos (días)	40.000 pl/ha			80.000 pl/ha		
	E - O	NE-SO	NO-SE	E - O	NE-SO	NO-SE
0 - 24	1,38	0,75	1,98	1,13	1,12	1,97
25 - 45	1,95	1,04	0,89	1,13	1,7	1,21
46 - 66	0,49	0,47	0,22	0,42	0,48	0,30
67 - 87	2,09	1,47	1,20	1,69	0,76	1,11
88 - 108	0,33	0,76	0,35	0,20	0,05	0,65

*Error \pm 10%

el ciclo de un cultivo de maíz a dos densidades de siembra y tres orientaciones de surco.

Den- si- dad*	Orien- ta- ción**	Período (días)	Variables biológicas básicas										Índices de Crecimiento Calculados									
			AP	AF	PSF	PST	PSI	PSG	BA	IAF	RAF	RPF	ICR	ICRF	IAN	TPMS	EF	K				
1	1	0 - 24	46	27,2	8,0	2,4						10,4	1,12	2,67	0,76	0,59	0,832	0,31	1,49	0,29		
1	1	25 - 45	123	65,0	29,9	19,5					49,3	2,60	1,32	0,61	0,52	0,282	0,30	0,30	7,40	1,45		
1	1	46 - 66	215	72,4	46,6	113,3					160,8	2,90	0,45	0,30	0,39	0,036	0,54	0,54	21,24	3,80		
1	1	67 - 87	223	72,0	56,9	112,9	128,0				279,8	2,88	0,24	0,19	0,21	-0,001	0,34	0,34	26,10	4,67		
1	1	88 - 108	211	46,4	40,6	92,5	193,6				326,6	1,85	0,14	0,12	0,03	-0,140	0,15	0,15	5,48	0,99		
		109 - 129					101,9													0,31		
1	2	0 - 24	47	27,6	7,8	2,5					10,3	1,10	2,68	0,76	0,58	0,329	0,31	0,31	1,47	0,29		
1	1	25 - 45	129	74,9	34,5	23,2					57,6	2,99	1,30	0,60	0,57	0,333	0,36	0,36	9,00	1,76		
1	1	46 - 66	211	77,3	51,3	130,6					161,9	3,09	0,38	0,28	0,38	0,011	0,57	0,57	23,63	4,24		
1	1	67 - 87	215	69,1	46,9	97,9	81,4				226,2	2,76	0,30	0,21	0,07	-0,037	0,20	0,20	8,44	1,51		
1	1	88 - 108	225	47,9	33,6	85,8	187,1				306,4	1,91	0,16	0,11	0,10	-0,122	0,46	0,46	15,28	2,77		
		109 - 129					110,2													0,36		
1	3	0 - 24	42	19,9	5,1	1,4					6,5	0,79	3,07	0,78	0,47	0,748	0,24	0,24	0,96	0,19		
1	1	25 - 45	127	62,3	28,2	21,1					49,2	2,49	1,26	0,57	0,67	0,380	0,38	0,38	8,13	1,59		
1	1	46 - 66	210	78,6	46,9	112,1					158,9	3,14	0,49	0,29	0,39	0,077	0,52	0,52	20,89	3,74		
1	1	67 - 87	219	71,8	49,6	102,2	139,8				291,5	2,87	0,24	0,17	0,20	-0,030	0,59	0,59	25,26	4,52		
1	1	88 - 108	220	58,0	54,1	104,4	250,2				408,6	2,32	0,14	0,13	0,11	-0,071	0,60	0,60	22,30	4,04		
		109 - 129					137,1													0,34		
2	1	0 - 24	50	24,5	7,2	2,5					9,7	1,96	2,54	0,74	0,59	0,799	0,32	0,32	2,77	0,55		
2	1	25 - 45	136	68,8	27,3	16,8					44,0	5,50	1,56	0,62	0,50	0,442	0,34	0,34	13,06	0,56		
2	1	46 - 66	222	74,8	45,0	115,0					160,0	5,99	0,47	0,28	0,43	0,028	0,54	0,54	44,19	7,91		
2	1	67 - 87	218	63,7	40,2	78,2	81,1				199,4	5,09	0,32	0,20	0,07	-0,053	0,19	0,19	15,01	2,69		
2	1	88 - 108	222	44,2	38,1	81,2	187,3				306,5	3,53	0,14	0,12	0,14	-0,122	0,67	0,67	40,80	7,39		
		109 - 129					52,0													0,17		
2	2	0 - 24	51	20,8	5,3	1,9					7,3	1,66	2,86	0,74	0,50	0,759	0,27	0,27	2,08	0,41		
2	2	25 - 45	132	69,1	29,9	20,7					50,5	5,52	1,37	0,59	0,65	0,400	0,38	0,38	16,46	3,22		
2	2	46 - 66	223	70,8	40,5	105,5					146,0	5,67	0,48	0,28	0,35	0,008	0,45	0,45	36,46	6,51		
2	2	67 - 87	228	72,0	45,7	80,5	80,5				207,1	5,76	0,35	0,22	0,12	0,006	0,31	0,31	23,28	4,10		
2	2	88 - 108	233	47,3	40,1	94,8	176,7				311,5	3,78	0,15	0,13	0,14	-0,140	0,59	0,59	39,77	7,20		
		109 - 129					66,9													0,21		
2	3	0 - 24	46	15,1	3,8	0,9					4,7	1,21	3,21	0,81	0,39	0,679	0,21	0,21	1,34	0,27		
2	2	25 - 45	131	68,2	28,5	18,7					47,1	5,45	1,45	0,60	0,77	0,503	0,40	0,40	16,15	3,16		
2	2	46 - 66	219	68,1	39,7	111,9					151,5	5,44	0,45	0,26	0,39	-0,005	0,52	0,52	39,77	7,11		
2	2	67 - 87	225	63,6	40,0	94,8	80,9				215,6	5,09	0,29	0,18	0,10	0,022	0,31	0,31	24,42	4,33		
2	2	88 - 108	235	45,7	36,1	74,5	164,1				274,6	3,65	0,14	0,13	0,08	0,110	0,36	0,36	22,48	4,07		
		109 - 129					63,5													0,23		

* Densidad: 1 = 40.000 pl/ha; 2 = 80.000 pl/ha.

** Orientación: 1 = E-O; 2 = NE-SO; 3 = NO-SE.

AP - Altura de planta

AF - Área foliar

PSF - Peso seco foliar

PST - Peso seco tallo

PSI - Peso seco inflorescencia

PSG - Peso seco grano

BA - Biomasa aérea

RAF - Razón área foliar

RPF - Razón peso foliar

ICR - Índice de crecimiento relativo

ICRF - Índice de crecimiento relativo foliar

IAN - Índice de asimilación neta

TPMS - Tasa de producción de materia seca

EF - Eficiencia fotosintética (%)

K - Índice de cosecha

Cuadro A24. Resumen de los análisis de variancia entre tratamientos para algunas variables biológicas.

Fuentes de variación ⁺	Altura de planta (AP)	Area foliar (AF)	Indice de Area foliar (IAF)
P	**	**	**
O			
D	**	*	**
PO			
PD			**
OD			
POD			

⁺ P = Períodos de muestreo; O = Orientación; D = Densidad

* Significativo a nivel de 0,05 de probabilidad

** Significativo a nivel de 0,01 de probabilidad

Cuadro A25. Pruebas de diferencias de medias⁺ para biomasa total de la parte aérea por planta y por metro cuadrado de un cultivo de maíz a dos densidades de siembra y tres orientaciones de surco.

Comparaciones	Biomasa de la parte aérea			
	Por planta		Por m ²	
	t	sig.	t	sig.
EO vs NE-SO	0,73		- 0,02	
EO vs NO-SE	- 0,37		- 0,05	
NE-SO vs NO-SE	- 0,48		- 0,08	
40.000 vs 80.000 pl/ha	1,49		6,37	**

⁺ Se hicieron pruebas previas de homogeneidad de variancias.

**Significativo a nivel de 0,01 de probabilidad.

Cuadro A26. Rendimiento de grano seco por planta y por mazorca de un cultivo de maíz a dos densidades de siembra y tres orientaciones de surco.

Densidad (pl/ha)	Orientación	Plantas cosechadas	Mazorcas por planta	G R A N O S			
				Humedad (%)	Impurezas (%)	Peso seco mazorca (g)	Peso seco por planta (g)
40.000	E - O	97	0,96	19,6	1,2	106,3	101,9
	NE - SO	82	1,04	20,8	1,0	106,3	110,2
	NO - SE	95	1,03	21,3	0,1	132,9	137,1
80.000	E - O	181	0,87	17,6	1,6	59,6	51,9
	NE - SO	180	0,86	18,4	2,3	78,2	66,9
	NO - SE	178	0,81	21,2	1,6	78,4	63,5

Cuadro A27. Significación de las diferencias de medias⁺ del rendimiento promedio por planta y por metro cuadrado entre orientaciones y densidades.

	Comparaciones	t	sig.
Por planta	E - O vs NE-SO	0,14	
	E - O vs NO-SE	- 0,37	
	NE-SO vs NO-SE	- 0,5	
	40.000 vs 80.000 pl/ha	4,82	**
Por m ²	40.000 vs 80.000 pl/ha	0,36	

⁺ Se hicieron pruebas previas de homogeneidad de variancias.

** Significativo a nivel de 0,01 de probabilidad.

Cuadro A28. Matriz de correlación para variables biológicas e índices de crecimiento de un cultivo de maíz a dos densidades de siembra y tres orientaciones de surco.

X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}
1,00															
X_2	1,00														
X_3	0,00	1,00													
X_4	0,10	0,02	0,80**	1,00											
X_5	-0,15	0,04	-0,68**	-0,24	1,00										
X_6	-0,34	-0,01	0,45*	0,70**	0,26	1,00									
X_7	-0,13	0,01	0,56**	0,89**	0,06	0,84**	1,00								
X_8	-0,15	0,02	0,95**	0,80**	-0,54**	0,62**	0,65**	1,00							
X_9	0,87**	0,00	-0,33	-0,03	0,31	-0,23	-0,12	-0,41*	1,00						
X_{10}	0,06	-0,01	-0,89**	-0,96**	0,37	-0,70**	-0,85**	-0,89**	0,25	1,00					
X_{11}	0,00	-0,03	-0,92**	-0,95**	0,44*	-0,64**	-0,81**	-0,92**	0,22	0,99**	1,00				
X_{12}	0,01	0,09	-0,92**	-0,82**	0,50*	-0,51**	-0,60**	-0,87**	0,25	0,88**	0,91**	1,00			
X_{13}	0,04	0,06	-0,89**	-0,94**	0,43*	-0,62**	-0,81**	-0,87**	0,26	0,98**	0,97**	0,90**	1,00		
X_{14}	0,00	0,22	0,12	0,26	-0,00	0,28	0,37	0,24	-0,05	-0,23	-0,21	0,08	-0,20	1,00	
X_{15}	0,51**	0,02	0,27	0,57**	-0,03	0,34	0,55**	0,29	0,43*	-0,44*	-0,44*	-0,17	-0,43*	0,68**	1,00
X_{16}	0,53**	0,02	0,25	0,54**	-0,03	0,31	0,52**	0,27	0,45*	-0,41*	-0,41*	-0,14	-0,40	0,69**	0,99**

* Significativo a nivel de 0,05

** Significativo a nivel de 0,01

X_1 = Densidad

X_2 = Orientación

X_3 = Período

X_4 = Altura planta

X_5 = Área foliar

X_6 = Peso seco foliar

X_7 = Peso seco tallos

X_8 = Biomasa afea

X_9 = IAF

X_{10} = RAF

X_{11} = RPF

X_{12} = ICR

X_{13} = CRF

X_{14} = IAN

X_{15} = TPMS

X_{16} = EF

Cuadro A29. Matriz de correlación para variables biológicas y climáticas de un cultivo de maíz var. Tuxpeño, a dos densidades de siembra y tres orientaciones de surco.

X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	X ₁₇	X ₁₈	X ₁₉	X ₂₀	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	
X ₁	1,00																						
X ₂	0,00	1,00																					
X ₃	0,00	0,00	1,00																				
X ₄	0,10	0,02	0,20**	1,00																			
X ₅	-0,15	0,04	-0,68**	-0,24	1,00																		
X ₆	-0,34	-0,01	0,45*	0,70**	0,26	1,00																	
X ₇	-0,13	0,01	0,56**	0,89**	0,06	0,84**	1,00																
X ₈	-0,15	0,02	0,95*	0,80**	-0,54**	0,62**	0,65**	1,00															
X ₉	0,87**	0,00	-0,33	-0,03	0,31	-0,23	-0,12	-0,41*	1,00														
X ₁₀	-0,00	-0,00	0,71**	0,34	-0,15	0,15	0,02	0,65**	-0,26	1,00													
X ₁₁	0,14	-0,08	0,87**	0,72**	-0,65**	0,33	0,52**	0,83**	-0,17	0,48	1,00												
X ₁₂	-0,23	-0,00	-0,67**	-0,95**	0,11	-0,67**	-0,88**	-0,66**	-0,15	-0,18	-0,65**	1,00											
X ₁₃	-0,44*	-0,06	-0,38	-0,68**	-0,12	-0,53**	-0,58**	-0,36	-0,44*	-0,27	0,78**	1,00											
X ₁₄	-0,17	-0,11	-0,84**	-0,95**	0,34	-0,58**	-0,77**	-0,79**	0,02	-0,45*	-0,72**	0,92**	0,73**	1,00									
X ₁₅	0,12	-0,05	-0,34	0,22	0,59**	0,28	0,47*	-0,28	0,41*	-0,75**	-0,20	-0,37	-0,29	-0,07	1,00								
X ₁₆	0,24	-0,22	-0,65**	-0,41*	0,39	-0,30	-0,23	-0,62**	0,45*	-0,72**	-0,46*	0,25	0,19	0,51**	0,54**	1,00							
X ₁₇	0,00	-0,00	0,99**	0,78**	-0,73**	0,40	0,54**	0,94**	-0,35	0,67**	0,89**	-0,64**	-0,31	-0,81**	-0,34	-0,62**	1,00						
X ₁₈	0,00	0,00	0,88**	0,82**	-0,54**	0,53**	0,77**	0,87**	-0,26	0,32	0,87**	-0,80**	-0,36	-0,85**	0,03	-0,41*	0,90**	1,00					
X ₁₉	0,01	-0,06	0,94**	0,68**	-0,74**	0,32	0,44*	0,88**	-0,34	0,66**	0,85**	-0,56**	-0,27	-0,75**	-0,42**	-0,54**	0,95**	0,84**	1,00				
X ₂₀	0,09	-0,11	0,66**	0,70**	-0,49*	0,31	0,62**	0,62**	-0,14	0,03	0,75**	-0,69**	-0,22	-0,67**	0,18	-0,04	0,71**	0,88**	0,72**	1,00			
X ₂₁	0,06	-0,07	0,93**	0,76**	-0,69**	0,39	0,56**	0,89**	-0,27	0,52**	0,88**	-0,67**	-0,31	-0,78**	-0,26	-0,45*	0,95**	0,91**	0,94**	0,82**	1,00		
X ₂₂	-0,05	0,03	0,67**	0,27	-0,52**	0,17	0,00	0,64**	-0,30	0,93**	0,45*	-0,12	-0,18	-0,38	-0,79**	-0,74**	0,63**	0,429	0,67**	0,00	0,52**	1,00	
X ₂₃	0,03	-0,11	0,92**	0,30**	-0,65**	0,40	0,60**	0,87**	-0,23	0,52**	0,87**	-0,71**	-0,36	-0,61**	-0,19	-0,43*	0,93**	0,91**	0,82**	0,93**	0,53**	0,49*	1,00

* Significativo a nivel de 0,05 de probabilidad.

** Significativo a nivel de 0,01 de probabilidad.

- X₁ = Densidad
- X₂ = Orientación
- X₃ = Períodos de muestreo
- X₄ = Altura de siembra
- X₅ = Área foliar
- X₆ = Peso seco foliar
- X₇ = Peso seco de tallos
- X₈ = Biomasa total de la parte aérea
- X₉ = Índice de área foliar
- X₁₀ = Radiación solar promedio fuera del cultivo
- X₁₁ = Radiación solar promedio fuera del cultivo correspondiente a 0,70 m
- X₁₂ = Radiación solar promedio dentro del cultivo a 0,20 m del suelo
- X₁₃ = Radiación solar promedio dentro del cultivo a 0,70 m del suelo
- X₁₄ = Radiación solar promedio dentro del cultivo a 1,20 m del suelo
- X₁₅ = Humedad relativa mínima dentro del cultivo
- X₁₆ = Horas al 100% de humedad relativo dentro del cultivo
- X₁₇ = Temperatura media fuera del cultivo
- X₁₈ = Grados día fuera del cultivo
- X₁₉ = Temperatura máxima dentro del cultivo
- X₂₀ = Temperatura mínima dentro del cultivo
- X₂₁ = Temperatura media dentro del cultivo
- X₂₂ = Oscilación térmica dentro del cultivo
- X₂₃ = Grados día dentro del cultivo

Cuadro A30. Ecuaciones que dan las distintas relaciones entre variables estudiadas*.

Fig.	Curvas	Ecuaciones	R ²
2, 3	I	$Y = 503,004 + 2,408X_3 - 29,575\sqrt{X_3}$	0,74
2, 3	II, III, IV	$Y = 658,32 - 36,11X_1 + 12,42X_3 + 17,4X_4 + 0,98X_3^2 + 21,16X_4^2 - 0,58X_3X_4$	0,80
7	I	$Y = 40,057 e^{-0,0039X_3} X_3^{-0,1559}$	0,80
7	II	$Y = 23,527 + 0,017X_1 + 0,170X_2 + 0,04X_3 + 0,005X_2^2 + 0,0002X_3^2 + 0,003X_2X_3$	0,94
8	I	$Y = 23,909 e^{-0,004X_3} X_3^{-0,182}$	0,60
8	II	$Y = 12,413 + 0,187X_1 + 0,147X_2 + 0,05X_3 - 0,00009X_3^2 - 0,0003X_2X_3$	0,60
9	I	$Y = 29,21 e^{-0,003X_3} X_3^{-0,134}$	0,83
9	II	$Y = 17,751 + 0,132X_1 - 0,236X_2 + 0,057X_3 + 0,073X_2^2 + 0,00001X_3^2 + 0,002X_2X_3$	0,61
10	I	$Y = 9,8364 + 0,093X_3 - 0,0005X_3^2$	0,50
10	II	$Y = 11,534 - 0,111X_1 - 0,013X_3 + 0,0003X_3^2 - 0,0006X_1X_3$	0,66
11	I	$Y = 9,5272 + 0,0293X_3$	0,71
11	II	$Y = 5,188 + 0,774X_1 + 0,11X_3 - 0,0003X_3 - 0,008X_1X_3$	0,87
13	I	$Y = 21,6357 e^{-0,0096X_3} X_3^{0,3292}$	0,87
13	II	$Y = 33,658 + 1,733X_1 - 0,015X_2 + 0,533X_3 - 0,965X_2^2 - 0,004X_3^2 + 0,043X_3X_4$	0,51

* X₁ = Densidad; X₂ = Orientación; X₃ = Período de muestreo (edad) continúa.....

Cuadro A30 (continuación)

Fig.	Curvas	Ecuaciones	R ²
14	I	$Y = 3,4617 e^{-0,0103X_3} X_3^{0,49}$	0,76
14	II	$Y = 12,802 + 3,330X_1 - 0,041X_3 + 0,0001X_3^2 - 0,029X_1X_3$	0,56
18	I	$Y = \frac{222,0}{1,0 + 437e^{-0,09X_3}}$	0,99
18	II	$Y = \frac{251,57}{1,0 + 37,05e^{-0,09X_3}}$	0,99
19	I	$Y = 0,017X_3^{2,6} e^{-0,04}$	0,99
19	II	$Y = 0,084X_3^{2,84} e^{-0,04}$	0,98
20	I	$Y = 0,006X_3^{2,66} e^{-0,04}$	0,99
20	II	$Y = 0,006X_3^{2,87} e^{-0,04}$	0,98
21	I	$Y = \frac{379,717}{1,0 + 108,76 e^{-0,07X_3}}$	0,99
21	II	$Y = \frac{332,194}{1,0 + 67,29 e^{-0,06X_3}}$	0,99
22	I	$Y = \frac{348,96}{1,0 + 88,42 e^{-0,06X_3}}$	0,99
22	II	$Y = \frac{233,69}{1,0 + 2400,35 e^{-0,086X_3}}$	0,99

continúa.....

Cuadro A30 (continuación)

Fig.	Curvas	Ecuaciones	R ²
22	III	$Y = \frac{88,744}{1 + 38805,8 e^{-0,05X_3}}$	0,99
22	IV	$Y = 0,00005X_3^{4,05} e^{-0,05}$	0,99
31	I	$Y = 9199506,0273 e^{-0,0409X_3} X_3^{-3,5124}$	0,94
31	II	$Y = 578,1179 + 6,6081X_3 - 4,721\sqrt{X_3}$	0,95
31	III	$Y = 415,8149 + 5,0726X_3 - 88,929\sqrt{X_3}$	0,99
32	I	$Y = 313989120,875 e^{-0,0554X_3} X_3^{-4,6369}$	0,95
32	II	$Y = 590,6538 + 6,9575X_3 - 5,6747\sqrt{X_3}$	0,94
32	III	$Y = 431,3664 + 5,4479X_3 - 94,9948\sqrt{X_3}$	0,99