

SB
191
M2
537
1981

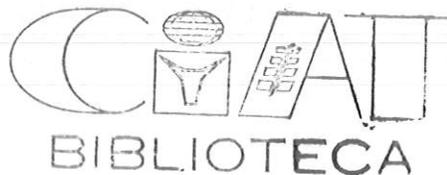
CRECIMIENTO DEL MAIZ, Zea mays L., EN FUNCION DEL
INDICE DE AREA FOLIAR Y LA FERTILIZACION

Por

LUIS ALBERTO SANCHEZ LOPEZ
LUIS FERNANDO GIRALDO FERNANDEZ

Tesis de grado presentada como requisito parcial para
obtener el título de:

INGENIERO AGRONOMO



Presidente de Tesis:

51154

JAMES H. COCK, Ph. D.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

PALMIRA

1 9 8 1

"La facultad y los Jurados no serán responsables de las ideas emitidas por él o los autores de la misma"

Artículo 24, Resolución No. 04 de 1974

BIBLIOTECA

DEDICAMOS :

A mi querida madre

Luis Alberto

A mi madre

A mi tía Inés

A ella

Luis Fernando

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a:

JAMES H. COCK, Ph. D., Coordinador del Programa de Yuca, CIAT y director del trabajo.

ALBERTO SANCHEZ POTES, I.A. Ms., Profesor Titular de la Universidad del Valle, por la revisión del manuscrito.

OLGA LUCIA AMAYA, Programa de Economía de Yuca, CIAT, por su aporte en la elaboración de los análisis estadísticos.

HERNAN JIMENEZ, por haber facilitado el terreno, la preparación del suelo y el riego para el ensayo.

LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS de Palmira.

Personal del Programa de Fisiología de Yuca, CIAT.

Las personas que colaboraron en una u otra forma en la realización del presente trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION.	1
1. REVISION DE LITERATURA.	4
1.1 ABSORCION DE NUTRIMENTOS	5
1.2 CRECIMIENTO Y ACUMULACION DE MATERIA SECA.	8
1.3 ACUMULACION Y TRASLOCACION DE ELEMENTOS NUTRITIVOS EN- LA PLANTA.	10
1.4 UTILIZACION DE LA LUZ	14
2. MATERIALES Y METODOS	19
2.1 LOCALIDAD	19
2.2 MATERIAL DE SIEMBRA.	21
2.3 DISEÑO EXPERIMENTAL.	21
2.4 PRACTICAS DE CULTIVO	24
2.5 MEDICION DE LA LUZ INTERCEPTADA POR LAS PLANTAS.	27
2.6 COSECHAS	27

	Pág.
2.7 PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS.	29
2.8 CALCULO DE LA TASA DE CRECIMIENTO.	32
2.9 CALCULO DEL INDICE DE AREA FOLIAR	33
2.10 ANALISIS ESTADISTICO	33
3. RESULTADOS Y DISCUSION	35
3.1 ACUMULACION DE MATERIA SECA.	35
3.2 ACUMULACION DE NUTRIMENTOS	41
3.3 AREA FOLIAR E INTERCEPCION DE LUZ.	48
3.4 RELACIONES ENTRE LA TASA DE CRECIMIENTO, EL INDICE DE- AREA FOLIAR Y LA INTERCEPCION DE LUZ	50
4. CONCLUSIONES.	56
5. RESUMEN	57
6. SUMMARY	59
BIBLIOGRAFIA	61
APENDICES	63

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. Contenido de elementos nutritivos en los diferentes órganos de la planta de maíz.	15
TABLA 2. Características químicas del suelo en donde se realizó el ensayo	20
TABLA 3. Fuentes y dosis de elementos nutritivos empleados en la fertilización	23
TABLA 4. Análisis de varianza de las variables peso seco de raíces, peso seco de tallos, peso seco de hojas y peso seco total por m ²	64
TABLA 5. Análisis de varianza de las variables tasa de crecimiento, índice de área foliar en la primera y segunda cosecha, índice de área foliar promedio e intercepción de luz	65
TABLA 6. Análisis de varianza del porcentaje de nitrógeno en las raíces tallos y hojas.	66
TABLA 7. Análisis de varianza del porcentaje de fósforo en las raíces tallos y hojas	67
TABLA 8. Análisis de varianza del porcentaje de potasio en las raíces, tallos y hojas	68
TABLA 9. Análisis de varianza del modelo $y = a + b \ln x$, de mejor ajuste para la relación entre la tasa de crecimiento y el índice de área foliar.	69

TABLA 10.	Análisis de varianza del modelo $Lny = a + bx$, de mejor ajuste por la relación entre la tasa de crecimiento y la intercepción de luz	70
TABLA 11.	Análisis de varianza de la ecuación $y = a + bx$, de mejor ajuste para la relación entre el logaritmo de la luz no interceptada y el índice de área foliar	71
TABLA 12.	Pruebas de Duncan y promedio de las variables peso seco de raíces por m^2 , peso seco de tallos por m^2 , peso seco de hojas por m^2 , peso seco total por m^2 , tasa de crecimiento, índice de área foliar promedio e intercepción de luz, con respecto a los distintos grupos de tratamientos	72
TABLA 13.	Pruebas de Duncan y promedio de los porcentajes de nitrógeno, fósforo y potasio en las raíces, tallos y hojas, con respecto a los distintos grupos de tratamiento.	73
TABLA 14.	Promedios generales y coeficientes de variación de las variables porcentaje de nitrógeno, fósforo y potasio en raíces, tallos y hojas, peso seco de raíces, tallos y hojas por m^2 , peso seco total por m^2 , tasa de crecimiento, índice de área foliar promedio e intercepción de luz	74
TABLA 15.	Promedios de las variables peso seco por m^2 de raíces, tallos, hojas y toda la planta, y porcentajes de raíces y hojas con respecto al peso seco total por m^2	75
TABLA 16.	Promedio de los porcentajes de nitrógeno, fósforo y potasio en raíces, tallos y hojas	76
TABLA 17.	Promedios de las variables tasa de crecimiento, índice de área foliar en la primera y segunda cosechas, porcentaje de luz interceptada y luz no interceptada.	77
TABLA 18.	Promedios de los porcentajes de nitrógeno, fósforo y potasio totales por m^2 distribuidos en las raíces, tallos y hojas.	78

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 3. Distribución de la precipitación durante el período experimental	25
FIGURA 1. Aspectos de la siembra del ensayo	26
FIGURA 2. Colocación de las semillas de acuerdo a los nudos en los cordeles de las plantas.	26
FIGURA 4. Lectura superior de la intensidad de luz.	28
FIGURA 5. Lectura inferior de la intensidad de luz.	28
FIGURA 6. Aspecto de las parcelas cosechadas.	30
FIGURA 7. Empaque de las hojas para la medición del área foliar y de las raíces, tallos y hojas restantes.	30
FIGURA 8. Flujo del procesamiento de las cosechas	31
FIGURA 9. Variación del peso seco por m ² de las raíces, tallos y hojas en función del peso seco total por m ²	36
FIGURA 10. Distribución porcentual de la materia seca en los diferentes órganos de la planta en función del peso seco total por m ²	38
FIGURA 11. Aspecto de las plantas de las cinco densidades de siembra del nivel alto de fertilización en la segunda cosecha	40
FIGURA 12. Aspecto de las plantas de las cinco densidades de siembra del nivel bajo de fertilización en la segunda cosecha	40
FIGURA 13. Variación de la concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en los diferentes órganos de la planta, en la primera cosecha y en función del peso seco total por m ²	42

	Pág.
FIGURA 14. Variación de la concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en los diferentes órganos de la planta, en la segunda cosecha y en función del peso seco total por m ²	43
FIGURA 15. Distribución porcentual del nitrógeno total en los diferentes órganos de la planta de maíz, con respecto al peso seco total por m ²	45
FIGURA 16. Distribución porcentual del fósforo total en los diferentes órganos de la planta de maíz, con respecto al peso seco total por m ² . . .	46
FIGURA 17. Distribución porcentual del potasio total en los diferentes órganos de la planta de maíz con respecto al peso seco total por m ² . . .	47
FIGURA 18. Incremento del área foliar en las dos cosechas en relación con la densidad de siembra.	49
FIGURA 19. Relación entre la tasa de crecimiento y el índice de área foliar promedio entre las dos cosechas	51
FIGURA 20. Relación entre la tasa de crecimiento y la intercepción de luz entre las dos cosechas .	53
FIGURA 21. Relación entre el logaritmo de la luz no interceptada y el índice de área foliar promedio entre las dos cosechas	54
FIGURA 22. Plano de siembra	79
FIGURA 23. Aspectos del experimento a los 8 y a los 30-días de crecimiento.	80
FIGURA 24. Aspecto de las plantas en parcelas con densidades bajas y altas.	81
FIGURA 25. Procesamiento de las muestras : Fraccionamiento y molienda	82

INTRODUCCION

El maíz es uno de los principales cultivos de importancia mundial como fuente de alimento para la humanidad.

Por esta razón se han investigado en él muchos de los aspectos que inciden en su producción y productividad, tales como el mejoramiento genético, los factores edáficos y climáticos, las prácticas de cultivo y la fisiología de la producción.

Durante la fase vegetativa, el maíz presenta altas y eficientes tasas de crecimiento, y extrae considerables cantidades de nutrimentos. Al final de éste período, alcanza su máxima área foliar.

Su rendimiento depende en gran medida, de la eficiencia con la cual la planta utiliza los recursos disponibles durante esta época.

Es importante pues, estudiar la manera como el maíz maneja la energía cuando se presentan condiciones de crecimiento adversas durante esta época y las modificaciones fisiológicas que ocurren en consecuencia.

El presente trabajo tuvo como objetivo general, estudiar las variacioo

nes de la tasa de crecimiento, el índice de área foliar y la intercepción de la luz, bajo condiciones óptimas y críticas de fertilización y densidad de siembra.

La hipótesis de trabajo fué la siguiente: Cuando la fertilidad del suelo es muy baja y aumenta la densidad de siembra, el maíz limita su área foliar tratádo de mantener un adecuado nivel de nutrimentos en las hojas que determine una alta eficiencia fotosintética. Según datos simulados (Cock¹, comunicación personal) esta eficiencia fotosintética debe originar la tasa de crecimiento más alta para dichas condiciones.

Los objetivos específicos del presente estudio, fueron los siguientes:

1. Estudiar, durante la fase de crecimiento o exponencial, la acumulación de materia seca y de nutrimentos en los tejidos de la planta, usando cinco densidades de siembra y dos niveles de fertilización.
2. Determinar la tasa de crecimiento durante la cuarta y séptima semanas, y entre la séptima y la décima semanas, después de la emergencia de las plántulas.
3. Analizar la acumulación de nitrógeno, de fósforo, y de potasio en las raíces, tallos y hojas, en la cuarta, séptima y décima semanas después de la emergencia.
4. En las mismas fechas, determinar el índice de área foliar.

¹ J.H. COCK. Coordinador del Programa de Yuca, Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. 1981

5. Estudiar la intercepción de luz por el cultivo durante este período.

El trabajo de campo del presente experimento se realizó en la finca "El Amparo" situada en la vereda de San Rafael, Municipio de Santander de Quilichao, Departamento del Cauca, entre el 24 de Marzo y el 11 de Junio de 1.980. Las mediciones sobre el contenido de materia seca y de nutrimentos, y sobre el área foliar, además de los análisis estadísticos, se realizaron en los laboratorios de Servicios Analíticos, Fisiología de Yuca y el Departamento de Biometría del Centro Internacional de Agricultura Tropical - (CIAT - Palmira).

1. REVISION DE LITERATURA

Muchos investigadores han estudiado diferentes aspectos de la nutrición mineral y el crecimiento del maíz.

En 1.956, Nelson, (16), publicó una compilación de los resultados obtenidos hasta esa fecha sobre este tema. La presente revisión se basa, en gran parte, en el trabajo de este investigador.

Durante el siglo pasado, las investigaciones se hicieron principalmente sobre el valor alimenticio de la planta: contenido de agua, fibra, almidón, azúcar, grasas, etc. Estos trabajos no se relacionaban con la nutrición mineral. (Nelson, 16).

En 1.836, Boussingault, determinó el contenido de nitrógeno en la planta y estableció que los factores climáticos son causa de la variación de los constituyentes químicos del grano. (Nelson, 16).

Las investigaciones recientes sobre la nutrición mineral del maíz se inician a partir del trabajo del alemán hornberger quien, en 1882, publicó el primer estudio sobre el movimiento y acumulación de materiales orgánicos dentro de la planta. (Nelson, 16).

1.1 ABSORCION DE NUTRIMENTOS

La absorción de nutrientes por la planta del maíz está influenciada por muchos factores tales como :tasa de crecimiento, localización de las raíces en el suelo, e interrelaciones entre iones presentes en éste. (Nelson,16).

Mientras la planta tiene 7 u 8 ocho hojas, desarrolla sus raíces adventicias casi paralelamente a la superficie del suelo. Estas penetran más o menos 35 cm y la mayoría se encuentran entre los 5 y 20 cm de profundidad. Por lo tanto las raíces pueden aprovechar más eficientemente los fertilizantes aplicados a los lados de la semilla, que aquellos localizados encima o debajo de ésta. (Nelson, 16).

En condiciones normales, el sistema radical de una planta de maíz completamente desarrollada ocupa los primeros 90 cm del suelo. (Nelson, 16).

Se ha demostrado la importancia que tiene en la nutrición del maíz la profundidad a la cual se encuentran los nutrientes en el suelo (Nelson, 16).

Al inyectar fósforo radiactivo en el suelo a diferentes profundidades y distancias de la planta, se ha determinado que cuando éste se localiza a 8 cm contribuye en la mitad de su suministro total al crecimiento de la planta durante las primeras 7 semanas, y en más de la tercera parte, durante toda la fase del crecimiento. Las otras dos terce

ras partes son suministradas por el fósforo localizado entre los 20 y los 35 cm (Nelson, 16).

De acuerdo a lo anterior, la aplicación superficial del fósforo solo es efectiva durante las primeras semanas del crecimiento. La eficiencia de las fertilizaciones posteriores no depende de su localización con respecto a la planta. Además, las prácticas de cultivo relacionados con movimiento del suelo (control mecánico de malezas y aporques), pueden causar daño a las raíces y disminución en la superficie de absorción de los nutrimentos (Nelson, 16)

Aunque el contacto de las raíces con una zona fértil del suelo aumenta su desarrollo y absorción, la planta no puede alcanzar su máxima capacidad de absorción si sólo una parte de ellos está rodeada de nutrimentos. (Nelson, 16).

Existen interrelaciones entre la humedad del suelo y la absorción de los nutrimentos. Así, por ejemplo, en suelos secos la planta absorbe más fácilmente el potasio y el nitrógeno que el fósforo. (Nelson, 16).

Existen diferentes opiniones sobre la forma mediante la cual la planta de maíz toma el nitrógeno. Se ha encontrado que las plantas que crecen en soluciones con nitrógeno amoniacal se desarrollan normalmente, pero no alcanzan a sintetizar suficientes proteínas. Se cree que es mejor que haya un equilibrio entre las formas de nitrógeno presentes en el suelo. (Nelson, 16).

El maíz utiliza aparentemente el fósforo en forma de fosfatos inorgá-

nicos. Al contrario de otras plantas, es incapaz de obtener fósforo a partir de portadores relativamente insolubles. Cuando el maíz crece en arena y se le suministra roca fosfórica como fuente única de fósforo, las plantas alcanzan solo el 42% del peso seco que se obtiene al fertilizar con fosfato monocálcico (Nelson, 16).

Según algunos ensayos, se cree que el maíz puede utilizar ciertos compuestos orgánicos de fósforo, pues absorbe en forma neta fitina y lecitina presentes en soluciones nutritivas. Algunas enzimas de los tejidos de la raíz pueden hidrolizar estos compuestos. (Nelson, 16).

El fósforo presente en el suelo en forma orgánica es de poco o de ningún valor en la nutrición del maíz, a no ser que se convierta a formas inorgánicas. El potasio es fácilmente absorbido por el sistema radical del maíz, a partir de formas inorgánicas solubles y fácilmente sustituibles. (Nelson, 16).

Al sembrar maíz intercalado con soya, aquel responde mejor a la fertilización fosfórica directa y residual y a la aplicación directa del potasio. Además, en estas condiciones el maíz responde mejor a las aplicaciones suplementarias de fósforo y de potasio. (De Mooy et al, 3).

Se ha encontrado que el encalamiento de los suelos incrementa levemente la absorción de calcio y de magnesio. Al adicionar cantidades suplementarias de estos dos elementos al suelo, el magnesio es absorbido más fácilmente que el calcio. (Nelson, 16).

El nitrógeno, bajo diferentes formas, influye en la absorción de otros nutrientes. El ión amonio disminuye la toma de calcio y de potasio y en menor grado, la del magnesio. De igual manera, las aplicaciones de sulfato de amonio disminuyen el contenido de potasio en las hojas. (Nelson, 16).

La absorción de fósforo se afecta poco por variaciones en las concentraciones de otros iones en el suelo. El potasio interfiere competitivamente la absorción de otros iones. Se ha encontrado que una absorción alta de potasio disminuye la toma de calcio y de magnesio. La fertilización potásica disminuye el nivel del nitrógeno en las hojas e intensifica los síntomas de deficiencia de este elemento. (Nelson, 16).

Al fertilizar con sulfato de amonio suelos ricos en potasio, se han obtenido bajos rendimientos. El potasio aumenta la absorción del boro en suelos deficientes en este elemento. (Nelson, 16).

El zinc parece tener poca influencia en la absorción de los elementos mayores, pues no se ha hallado respuesta alguna al aplicar este elemento. (Nelson, 16).

Existe una estrecha relación entre las características genéticas de los diferentes tipos del maíz y su respuesta a diferentes condiciones de fertilidad. (Nelson, 16).

1.2 CRECIMIENTO Y ACUMULACION DE MATERIA SECA

La acumulación de materia seca en la planta de maíz tiende a seguir una

curva sigmoideal característica de la mayoría de las plantas. Inmediatamente después de la emergencia de la plántula, la acumulación es lenta pero se acelera exponencialmente después de los 10 días, hasta los 40- ó 50 días. Entre los 50 y 60 días, la acumulación es nuevamente lenta y se detiene en la madurez. (Nelson, 16).

En 1.948, Sayre hizo un estudio sobre la acumulación de materia seca - de los diferentes órganos de la planta. Encontró que la máxima tasa de crecimiento, la mayor altura, el máximo peso seco de tallos y de hojas y la mitad del peso seco final de la planta, se alcanzan en el momento de la floración. Una vez que comienza la formación del grano, la acumulación de materia seca se detiene en las otras partes de la planta.

Durante la primera semana del crecimiento, las hojas contienen casi el 100% de la materia seca total de la planta. En la segunda semana, el tallo empieza a incrementar el peso seco y entre la octava y la novena semana, aporta igual cantidad de materia seca que las hojas. Durante las cinco semanas siguientes, el peso del tallo se incrementa rápidamente y en mayor proporción que el de las hojas. Cuando la planta alcanza su madurez, las hojas tienen aproximadamente el 20% del peso total de la planta, el tallo el 30% y la mazorca el 35%. (Nelson, 16).

Se ha demostrado que el área foliar se incrementa en forma similar a la altura de la planta y se detiene con la floración. En ésta época las raíces también cesan su crecimiento. (Nelson, 16).

Durante la floración la planta tiene un gran número de raíces funciona

les, pero su longitud y penetración se incrementa con la madurez. (Nelson, 16).

El maíz es un cultivo que puede alcanzar altas tasas de crecimiento. Se han alcanzado valores de 52 g/m^2 día entre los 44 y 55 días después de la germinación, con una densidad de siembra de más de un millón de plantas por ha. Esta cifra es mayor que las alcanzadas por muchas especies vegetales (Williams et al, 20).

Cuando se cultiva con remolacha azucarera, el maíz alcanza una mayor relación de materia seca por unidad de área foliar (Snyder, 18).

En tasa de crecimiento, el maíz supera a la soya en un 20 a 40% cuando los dos cultivos se siembran con diferentes densidades de siembra (Buttery, 2).

Se ha encontrado que la tasa de crecimiento del maíz varía con la fertilidad del suelo, pero el patrón de acumulación de materia seca en los diferentes órganos de la planta es el mismo (Hanway, 5).

1.3 ACUMULACION Y TRASLOCACION DE ELEMENTOS NUTRITIVOS EN LA PLANTA

La planta de maíz requiere considerables cantidades de elementos nutritivos para su crecimiento y desarrollo. Para la formulación de programas de fertilización es importante tener en cuenta las cantidades requeridas de cada elemento nutritivo, su patrón de traslocación dentro de la planta durante el crecimiento, y los efectos finales sobre la -

composición y calidad del producto cosechado. (Nelson, 16).

Se ha comprobado que aproximadamente dos terceras partes de los elementos minerales de la semilla son traslocados a las raíces y a las partes aéreas de la plántula. Esta cantidad es suficiente para mantener el crecimiento normal durante 23 días, después de la germinación. Si la planta no dispone de los nutrimentos adicionales, comienza a etiolarse. La curva de acumulación del nitrógeno es paralela a la curva de acumulación de la materia seca (Nelson, 16).

Cultivos de maíz de cuatro semanas de edad pueden contener 4 kg de nitrógeno por hectárea. Diez días después, cuando se incrementa rápidamente la producción de la materia seca, las plantas han acumulado 8 kg de nitrógeno por hectárea. Durante el período de floración y cuando ocurre la máxima tasa de acumulación de materia seca, las plantas acumulan 5 kg de nitrógeno por hectárea por día. (Nelson, 16).

Las deficiencias de un nutrimento causan disminución en la fotosíntesis neta tal como sucede cuando la luz, la temperatura o la concentración de CO_2 son limitantes. (Nátr, 15).

Al iluminar las hojas del álamo con poca luz y suministrando diferentes cantidades de nitrógeno, se ha encontrado que su fotosíntesis neta no se afecta. Sin embargo bajo mayores cantidades de luz, las plantas con mayor disponibilidad de nitrógeno aumentan hasta en un 60% su fotosíntesis con respecto a aquellas con sustratos deficientes en dicho elemento. En este mismo caso, se presentó una alta correlación en

tre la cantidad de nitrógeno y la concentración de cloroplastos. (Nátr, 15).

El fósforo se acumula rápidamente en toda la planta con una tasa uniformemente creciente hasta la madurez. Al igual que en el nitrógeno, el período de máxima acumulación ocurre durante la floración y es seguido por una disminución de la acumulación durante las tres semanas siguientes. Al final de éstas, sigue un nuevo período de absorción rápida. (Nelson, 16).

El período de acumulación máxima de fósforo generalmente es paralelo al de mayor incremento de materia seca. Cuando se aproxima la polinización, el fósforo comienza a emigrar desde las hojas, tallo, brácteas y raquis central de la mazorca, hacia el grano. Cuando llega la fase reproductiva se presenta una traslocación del fósforo desde las raíces hacia la parte superiores de la planta. La cantidad traslocada es entonces mayor que la absorbida. (Nelson, 16).

Al reducir el suministro de fósforo en frijol y Spirodela no se produce una disminución en la fotosíntesis neta. El caso contrario sucede con la espinaca. En todos los casos el efecto más inmediato es la disminución del área foliar y por consiguiente, de la tasa de crecimiento. Este fenómeno se atribuye a los cambios causados en la distribución de fotosintatos. (Nátr, 15).

La acumulación y traslocación del potasio difiere en muchos aspectos de la del nitrógeno y de la del fósforo. Es notable la pérdida de potasio-

cuando la planta llega a la madurez. Esta pérdida ocurre principalmente a través de las hojas, de los tallos y de las brácteas de la mazorca. El mayor contenido de potasio se encuentra en forma soluble y juega un papel importante en el intercambio iónico de las raíces.

En cultivos de maíz se han registrado pérdidas de potasio entre 15 kg/ha y 20 kg/ha (Nelson, 16).

Se presenta una baja acumulación de potasio en los granos. Esta acumulación es rápida y se inicia dos semanas después de la floración femenina. Alcanza su máxima concentración tres semanas después de la floración femenina. Luego hay una pérdida de este elemento hasta el momento de la maduración.(Nelson, 16).

El efecto del contenido de potasio sobre la fotosíntesis neta de las hojas de muchas plantas (incluyendo al maíz) es más inmediato y visible que en el caso del nitrógeno y el fósforo. La deficiencia de potasio produce una disminución en la fotosíntesis con cantidades de luz altas o bajas de luz. En algunas plantas, como el trébol, el efecto más inmediato es la reducción del área foliar (Nátr, 15).

El potasio está estrechamente relacionado con la actividad fotosintética del maíz. En suelos con suficiente contenido de este elemento se presenta una concentración ligeramente mayor en las hojas superiores y también un leve incremento en la absorción de CO₂ (Moss y Peaslee, 14).

En suelos deficientes en potasio, la concentración de este elemento y-

la actividad fotosintética disminuyen en las hojas superiores, pero la diferencia con respecto a las hojas bajas es mucho mayor. El potasio por lo tanto se trasloca prevalentemente a los sitios en donde la actividad fotosintética es más intensa. (Moss y Peaslee, 14).

Según Hanway (6), la variación en el nivel de fertilidad de los suelos influye sobre la cantidad absorbida de cada elemento mayor, pero no altera su patrón de distribución en la planta.

La acumulación del calcio y del magnesio no es proporcional a la curva de acumulación de materia seca. La tasa de absorción de estos dos elementos es mayor durante la floración. Al final de esta época, las plantas de maíz acumulan la mayor parte de calcio y de magnesio, aunque este elemento continúa acumulándose después de la floración. (Nelson, 16).

La acumulación del zinc es mayor en las hojas jóvenes y en los nudos. El zinc no se trasloca dentro de la planta, especialmente cuando el suelo contiene suficiente cantidad de este elemento. El zinc presente en la semilla se trasloca completamente a la plántula en las fases iniciales de la germinación de la semilla. (Nelson, 16).

En la Tabla 1, se muestra el contenido de elementos minerales en los diferentes órganos de la planta de maíz.

1.4 UTILIZACION DE LA LUZ

Según Denmedad et al (4), el balance energético de la luz que llega a

TABLA 1. Contenido de elementos nutritivos en los diferentes órganos de la planta de maíz (Según Lastshaw y Miller, citado por Nelson, 16).

Elemento	Porcentaje del elemento en base seca				
	Hojas	Tallos	Granos	Raíces	Raquis del Fruto
Carbono	41.27	44.51	44.72	42.31	45.75
Oxígeno	43.86	43.90	45.30	43.58	45.89
Nitrógeno	1.20	0.84	2.15	1.27	1.38
Fósforo	0.207	0.089	0.34	0.12	0.94
Potasio	1.48	1.23	0.42	0.42	0.46
Calcio	0.47	0.17	0.025	0.61	0.022
Magnesio	0.21	0.16	0.20	0.17	0.11
Materia Seca	28.1	24.02	31.26	7.25	9.37

un cultivo puede expresarse así :

$$R_n = C_e + A + C + F + R$$

R_n = Radiación neta, o energía que utiliza el cultivo

C_e = Calor específico del agua que se gasta en su evaporación

A = Calor transmitido al aire circundante

C = Calor guardado por las plantas y por el suelo.

F = Energía radiante empleada en la fotosíntesis

R = Energía gastada en el proceso de respiración

Al sembrar 40.000 plantas de maíz por hectárea y después de alcanzar el área foliar su máximo desarrollo, las plantas retienen el 75% de la radiación solar incidente. De esta energía total, el 73% es retenida -

en la mitad superior del cultivo (Denmedad et al, 4).

La intercepción de luz es proporcional a la densidad de cultivo, pero su reparto vertical en las plantas es variable. Cuando la densidad aumenta, las hojas superiores retienen cada vez una mayor proporción de la radiación total incidente (Williams, 20).

Al estudiar diez variedades de maíz con niveles de luz del 45, 75 y - 100% de la radiación solar directa, Kubota y Kaneko (11), dividieron dichas variedades en dos grupos de acuerdo a los resultados, Las primeras fueron llamadas "plantas con saturación de luz" y mostraban un - aumento de la tasa de crecimiento y del área foliar cuando el nivel de iluminación se incrementaba de 45 a 75%. Cuando la iluminación se incrementaba hasta el 100%, no se registraba ningún aumento de estas variables.

El segundo grupo, denominado "plantas sin saturación de luz", presentaba un incremento constante de la tasa de crecimiento y el índice de área foliar hasta el nivel del 100% de la luz solar total.

Algunas plantas como el maíz, caña de azúcar, sorgo y especies forrajeras como los pastos Bermuda, Sudan y Rhodes, tienen un mecanismo fotosintético del tipo ácido dicarbocílico o C_4 (Loomis et al, 12).

En estas plantas el CO_2 es fijado primariamente por la fosfoenolpiruvato carboxilasa (PEP-carboxilasa) en las células del mesofilo, mediante una reacción que resulta posteriormente en la síntesis de los áci-

dos málico y aspártico. Según la especie, predomina uno de los dos ácidos. Estos son ácidos con cuatro carbonos, por lo cual estas plantas se han denominado C_4 . Estas plantas poseen una alta capacidad de fijación de CO_2 en las células del mesofilo y por ello no hay fotorepiración evidente. Su punto de compensación de CO_2 es prácticamente-cero (Medina et al, 13).

La gran eficiencia de las plantas C_4 , se debe principalmente a su alta tasa de fotosíntesis neta. Esto explica el porqué el maíz, la caña de azúcar y el pasto Sudán, entre otros cultivos, han alcanzado las más altas tasas de crecimiento en la agricultura intensiva (Loomis, et al-12).

Se ha comprobado también que las plantas C_4 pueden mantener su fotosíntesis relativamente constante a través de rangos de temperatura e iluminación más amplios que las plantas C_3 (Medina, 11). Evidentemente, en las primeras no se observa el efecto Kok* (Ishii et al, 9)

Al estudiar el efecto de la temperatura sobre la respiración y la fotosíntesis en plantas C_3 y C_4 , Vong y Murata (19) encontraron una alta correlación entre la respiración nocturna y la absorción de nitrógeno, fósforo y potasio. Esta fué mayor en el caso del fósforo y el potasio. La relación de la temperatura con la respiración y la absorción radi -

* El efecto Kok es el fenómeno mediante el cual, al aumentar gradualmente la iluminación, la fotosíntesis aparente aumenta hasta el punto de compensación de luz y luego disminuye (Ishii et al 9).

cal fué directa y las plantas C_4 mostraban una respuesta mayor al aumentar la temperatura.

Las plantas C_4 son originarias de zonas con radiación solar intensa, temperatura diurna alta y largos períodos secos durante todo el año. Posiblemente esto ayuda también a que éstas superen a las plantas C_3 en el trópico, ya que estas últimas no poseen este tipo de adaptaciones ambientales (Loomis, et al, 12).

Pendleton et al (17), encontraron que el rendimiento en el maíz aumentaba al disminuir el ángulo de las hojas con respecto al tallo. El rendimiento era mayor cuanto este ángulo aumentaba gradualmente desde el ápice hasta la parte baja de la planta. Los autores atribuyeron el fenómeno al hecho de que las hojas inferiores más horizontales, podían aprovechar mejor la poca luz que recibían.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1 LOCALIDAD

Santander de Quilichao (Departamento del Cauca) tiene las siguientes características de clima :

- Latitud	3°06'	Norte
- Longitud	76°31'	Oeste
- Altitud	990	msnm
- Precipitación promedio anual	1790,7	mm/año
- Temperatura promedio anual	23,8	°C
- Humedad relativa promedio anual	77,0	%
- Luminosidad	2204	horas luz/año

El suelo de acuerdo a su taxonomía, es un Inseptisol Typic Dystropept (Agustín Codazzi, 8). Tiene las siguientes características: más o menos drenado, con saturación de bases menor del 50% y temperatura del suelo mayor de 22° C.

Las características químicas del suelo se presentan en la Tabla 2.

El lote escogido para la siembra del experimento estuvo dedicado a ga

TABLA 2. Características químicas del suelo, en donde se realizó el ensayo (Municipio de Santander de Quilichao, Departamento del Cauca) *

Muestra No.	M.O. %	pH	Meq./100 g, suelo			Ca	Mg
			P (ppm. Bray II)	K	Al		
1	6,1	4,5	2,03	0,11	3,0	0,90	0,15
2	3,5	4,9	0,84	0,06	2,1	0,32	0,12
3	7,0	4,4	3,20	0,13	2,9	1,24	0,25

* Análisis efectuado por el laboratorio de suelos del CIAT, Palмира

nadería durante 30 años y ultimamente se había dejado en descanso durante un año después de ararlo. Las malezas existentes se incorporaron al suelo durante la preparación.

2.2 MATERIAL DE SIEMBRA

Se utilizó el híbrido ICA H-211, obtenido por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y multiplicado por la Caja Agraria (Cresemillas).

2.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se usaron parcelas sub-subdivididas con cuatro replicaciones. Las parcelas mayores tuvieron dos niveles de fertilización, las sub-parcelas tres fechas de cosecha y las sub-subparcelas cinco densidades de siembra. El área de la unidad experimental fué de $(3.0 \times 5.0) \text{ m}^2$.

El área útil incluyó la zona central de $(2,0 \times 3,0) \text{ m}^2$. El número total de tratamiento fué de 30, distribuídos en la siguiente forma:

a - Nivel de fertilización (Kg/ha)

Nivel alto (A) :

Nitrógeno 100

Fósforo (P_2O_5) 200

Potasio (K_2O) 100

Magnesio (MgO) 50

Zinc 5

Boro 1

Nivel bajo (B) :	
Nitrógeno	50
Fósforo (P_2O_5)	25
Potasio (K_2O)	50
Magnesio (MgO)	50
Zinc	5
Boro	1

b - Fechas de cosecha : días después de la emergencia de las plántulas.

- C_1 : a los 28 días
- C_2 : a los 49 días
- C_3 : a los 70 días

c - Densidades de siembra : número de plantas/ha

- D_1 : 20.000
- D_2 : 40.000
- D_3 : 80.000
- D_4 : 160.000
- D_5 : 320.000

Los niveles de fertilización diferentes se escogieron con la finalidad de suministrar a las plantas condiciones óptimas y adversas para su crecimiento normal. En la Tabla 3 se presentan las fuentes y las dosis empleadas en la fertilización.

Las fechas de cosecha se seleccionaron considerando la época en que la planta de maíz produce la máxima área foliar.

TABLA 3. Fuentes y dosis de elementos nutritivos empleados en la fertilización.

Nivel de fertilización	Fertilizante	Elemento	Dosis Kg/ha	Fertilizantes kg/ha
Alto (A)	Urea	N	100	218,0
	Superfosfato triple	P2O5	200	436,0
	Sulfato de Potasio	K2O5	100	192,0
	Sulfato de Magnesio	MgO	50	178,0
	Sulfato de Zinc	Zn	5	18,0
	Borax	B	1	10,0
Bajo (B)	Urea	N	50	109,0
	Superfosfato triple	P2O5	25	54,5
	Sulfato de potasio	K2O	50	96,0
	Sulfato de magnesio	MgO	50	178,0
	Sulfato de zinc	Zn	5	18,0
	Borax	B	1	10,0

Se utilizó un rango de densidades bastante amplio para obtener índices de área foliar diferentes y observar su interacción con los dos niveles de fertilización. Se buscó igualmente alcanzar niveles muy altos de competencia entre las plantas bajo condiciones de crecimiento adversas.

Desafortunadamente, la tercera cosecha no pudo realizarse debido a que un fuerte viento volcó la mayoría de las plantas. Por esta razón, no se incluyen los análisis de la tercera cosecha ni del segundo intervalo de crecimiento.

En la Figura 22 del apéndice, se muestra el plano de siembra del experimento.

2.4 PRACTICAS DE CULTIVO

El suelo se volteó con arado de discos y se rastrilló posteriormente una vez. Un mes antes de la siembra se aplicaron 800 kg/ha de cal dolomítica, que se incorporó con una segunda rastrillada.

Cinco días antes de la siembra se rastrilló el suelo por tercera vez, con el fin de incorporar los fertilizantes. La mezcla del fertilizante para los dos niveles de fertilización (A y B) se hizo previamente en el laboratorio, de acuerdo al contenido de los elementos en los productos comerciales. La aplicación de fósforo se hizo al momento de la siembra y se localizó en los surcos.

El fertilizante se incorporó al tapar las semillas. La siembra se hi-

zo en forma manual, depositando dos semillas por sitio, con la ayuda de pautas móviles, tal como se muestra en las Figuras 1 y 2.

Teniendo en cuenta las condiciones topográficas del terreno, el ensayo se sembró en dos bloques orientados de este a oeste, con dos repeticiones por bloque. Las parcelas se orientaron de norte a sur (Figura 26 del Apéndice). Mediante la aplicación de riego, se mantuvo un nivel de humedad adecuado en el suelo, cuando la precipitación fué insuficiente.

En la Figura 3 se presenta la distribución de la precipitación en mm/semana, durante el período experimental.

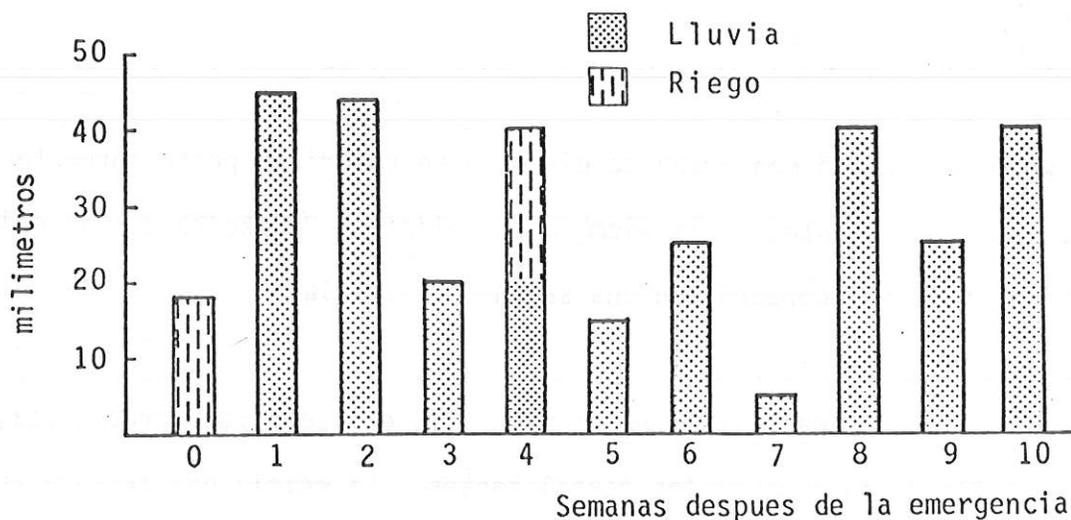


FIGURA 3. Distribución de la precipitación durante el periodo experimental, en mm/semana.

Tratando de prevenir al máximo el efecto de malezas y plagas se realizó el control químico preventivo necesario utilizando productos y dosis comerciales.



FIGURA 1. Aspectos de la siembra del ensayo.



FIGURA 2. Colocación de las semillas de acuerdo a los nudos de los-cordeles de las pautas.

A los ocho días después de la emergencia se hizo un raleo en todas las parcelas dejando la planta más vigorosa por sitio.

2.5 MEDICION DE LA LUZ INTERCEPTADA POR LAS PLANTAS

Para calcular el porcentaje de luz interceptada por las plantas se utilizó un fotómetro LAMBDA L-185 provisto de un sensor lineal de 1,0 m - de longitud con filtro difusor, el cual proporciona lecturas en micro-einsteins/cm² seg.

Las mediciones se hicieron solamente cuando había una intensidad lumínica constante durante el tiempo en que se efectuaban.

Se efectuaron lecturas en las cuatro parcelas de cada tratamiento, dentro de su área útil, así : una lectura sobre el follaje de las plantas y tres lecturas sobre el suelo, por debajo del follaje. (Figuras 4 y 5) En todos los casos el sensor del fotómetro se colocó en forma horizontal.

Las lecturas se realizaron semanalmente. El porcentaje de luz interceptada se calculó en base a la siguiente fórmula :

$$\text{Porcentaje de luz interceptada} = 100 - (100I/I_0)$$

I = Intensidad de luz que llega al suelo

I₀ = Lectura por encima del follaje

2.6 COSECHA



FIGURA 4. Lectura superior de la intensidad de luz.



FIGURA 5. Lectura inferior de la intensidad de luz.

En cada una de las tres cosechas realizadas se tomaron muestras de las 40 parcelas correspondientes a los dos niveles de fertilización, las cinco densidades de siembra y las cuatro repeticiones.

El número de plantas cosechadas por parcela dentro del área útil, fue de 16 para la menor densidad y de 20 para las otras densidades.

Las plantas se arrancaron manualmente y se procuró recuperar la mayor cantidad de raíces. De las plantas cosechadas en cada parcela se seleccionaron las siguientes muestras :

- Raíces
- Dos hojas sin la vaina, una de la parte superior y otra de la parte media de cada planta.
- El resto de la planta : tallo y hojas.

Cada muestra se empacó aparte con su correspondiente identificación.

Las muestras se llevaron al laboratorio (CIAT-Palmira), inmediatamente después de la cosecha. (Figura 6 y 7).

2.7 PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS

Las muestras se procesaron siguiendo el flujo de la Figura 8.

El área foliar de las dos hojas de cada planta se determinó electrónicamente con un medidor Hayashi Denkoh AA-400. Cuando no se pudo hacer la medición inmediatamente después de la cosecha, las muestras se con-



FIGURA 6. Disposición del materia cosechado en el campo.



FIGURA 7. Hojas para la medición del área foliar (bolsa plástica) y raíces, tallos y hojas restantes (empaque de cabuya), listas para su transporte.

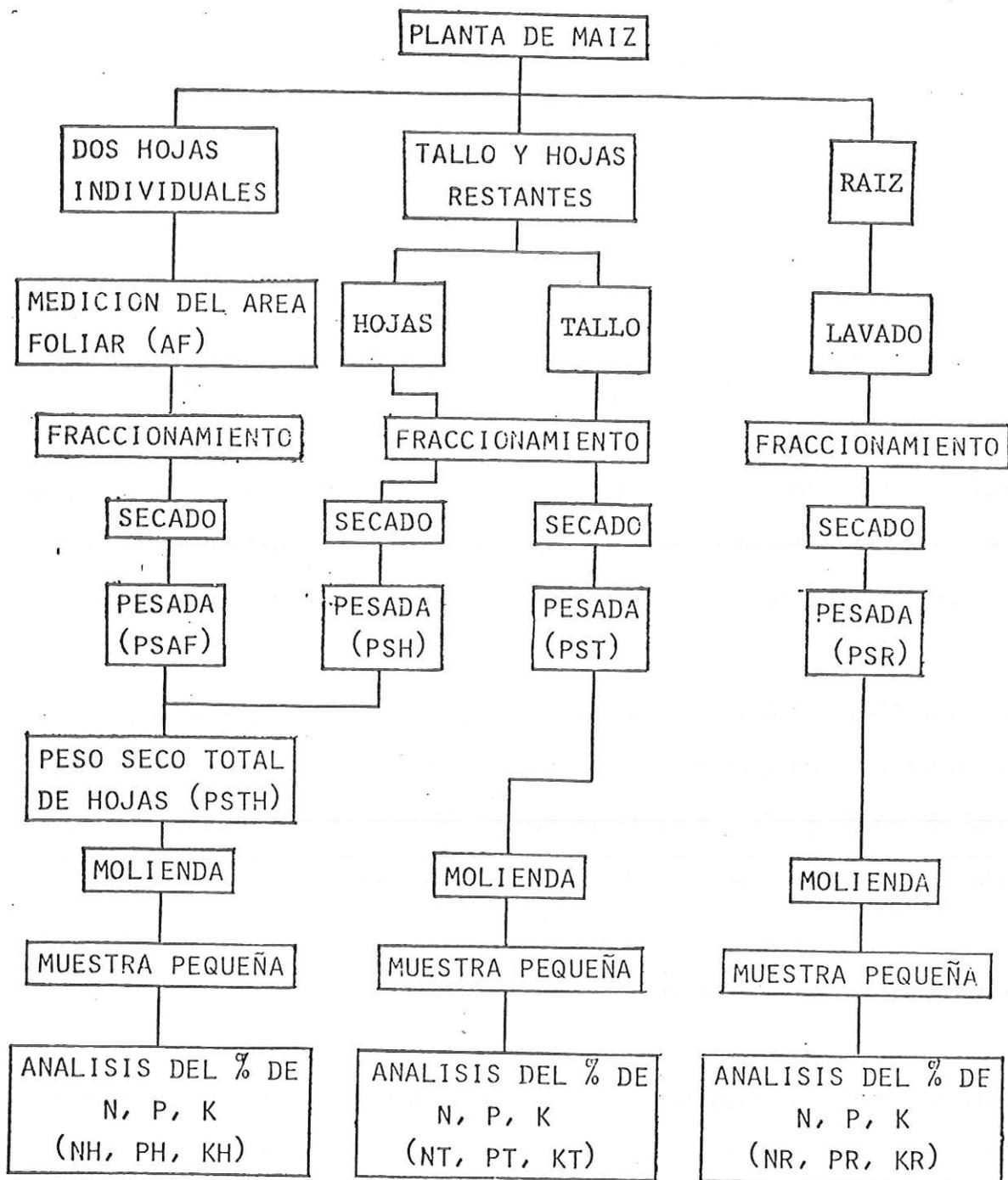


FIGURA 8. Flujo del procesamiento de las cosechas.

servaron en refrigeración. Posteriormente, las muestras se cortaron en pequeños trozos de 3.0 a 5.0 cm.

El secado de raíces, de tallos y de hojas de las muestra de cada parcela se efectuó en bandejas individuales en una estufa a 70° C, durante dos o tres días. Después del secado las muestras se pesaron para obtener el peso seco de raíces, de tallos y de hojas. Luego se mezclaron las muestras de hojas (las dos hojas seleccionadas) y se determinó el peso seco total de ellas. Las muestras secas de hojas, de tallo y de raíces, correspondientes a cada parcela, se molieron. Luego, de cada una de ellas, se tomaron sub-muestras pequeñas de 5 g aproximadamente, en las cuales se determinó el porcentaje de nitrógeno, fósforo y potasio.

El porcentaje de nitrógeno se obtuvo por el método de Kjehdahl. Para determinar el porcentaje de fósforo y de potasio se hizo primero una digestión en HNO₃-HCl. Posteriormente el fósforo se midió colorimétricamente y el potasio se determinó por absorción atómica.

2.8 CALCULO DE LA TASA DE CRECIMIENTO

Para obtener las tasas de crecimiento de los diferentes tratamientos entre las cosechas se procedió según la siguiente fórmula :

$$TCr = \frac{PSTOT/m^2 (C_2) - PSTOT/m^2 (C_1)}{t}$$

TCr = Tasa de crecimiento (gr de materia seca/m² semana)

PSTOT = Peso seco total de las plantas/m²

t = Tiempo transcurrido entre dos cosechas consecutivas (semanas)

2.9 CALCULO DEL INDICE DE AREA FOLIAR (IAF)

El índice del área foliar se calculó de acuerdo a la siguiente fórmula :

$$IAF = \frac{PSTH \times AF}{PSAF \times N \times AP}$$

PSTH = Peso seco total de las hojas

AF = Area foliar

PSAF = Peso seco de las muestras para área foliar

N = Número de plantas cosechadas por parcela

AP = Superficie ocupada por cada planta (cm²)

2.10 ANALISIS ESTADISTICO

El análisis de varianza se realizó para los siguientes grupos de variables :

- Peso seco de raíces por m² (PSR/m²), peso seco de tallo por m² (PST/m²), peso seco de hojas por m² (PSH/m²), peso seco total de plantas por m² (PSTOT/m²) e índice de área foliar de cada cosecha (IAF1, IAF2) y promedio (IAFP)
- Porcentajes de nitrógeno, fósforo y potasio en raíces, tallos y hojas (NR, NT, NH, PR, PT, PH, KR, KT y KH)
- Promedio del índice de área foliar entre la primera y segunda cose

cha (IAFP) y tasa de crecimiento durante el mismo intervalo de tiempo (TCr)

- Porcentaje promedio de la luz interceptada por las plantas entre la primera y la segunda cosecha.

En los anteriores análisis de varianza se separaron los efectos de la fertilización, de las cosechas, de las densidades y de las repeticiones.

Se hicieron pruebas de Duncan para uno de los análisis de varianza con el fin de comparar promedios de los niveles de fertilización, de las cosechas, de las densidades y de las repeticiones.

Con el fin de encontrar modelos de regresión lineal y curvilínea, se relacionaron entre sí las siguientes variables :

- Tasa de crecimiento contra el índice de área foliar.
- Tasa de crecimiento contra el porcentaje promedio de luz interceptada.
- Logaritmo del promedio de la luz no interceptada contra el promedio del índice de área foliar.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 ACUMULACION DE MATERIA SECA

El análisis de varianza mostró un efecto altamente significativo de las cosechas, de los niveles de fertilización y de las densidades de siembra sobre el peso seco total de las plantas y sus partes, por m^2 .

En la Tabla 4 se presentan, en forma resumida, los análisis de varianza de las variables interiores. (Ver Apéndice)

Al aumentar la densidad de siembra en las dos cosechas, aumentó el contenido de materia seca por m^2 en las diferentes partes de la planta.

En la Figura 9 se muestra la variación del peso seco por m^2 de las raíces, tallos y hojas al aumentar el peso seco total por m^2 .

El peso seco por m^2 de los tallos y las hojas aumentó considerablemente al elevarse la densidad. Este aumentó también, en forma general de una cosecha a otra. El peso seco por m^2 de las raíces aumentó más levemente y este fenómeno se comprueba en las pruebas de Duncan (Tabla 12 del apéndice).

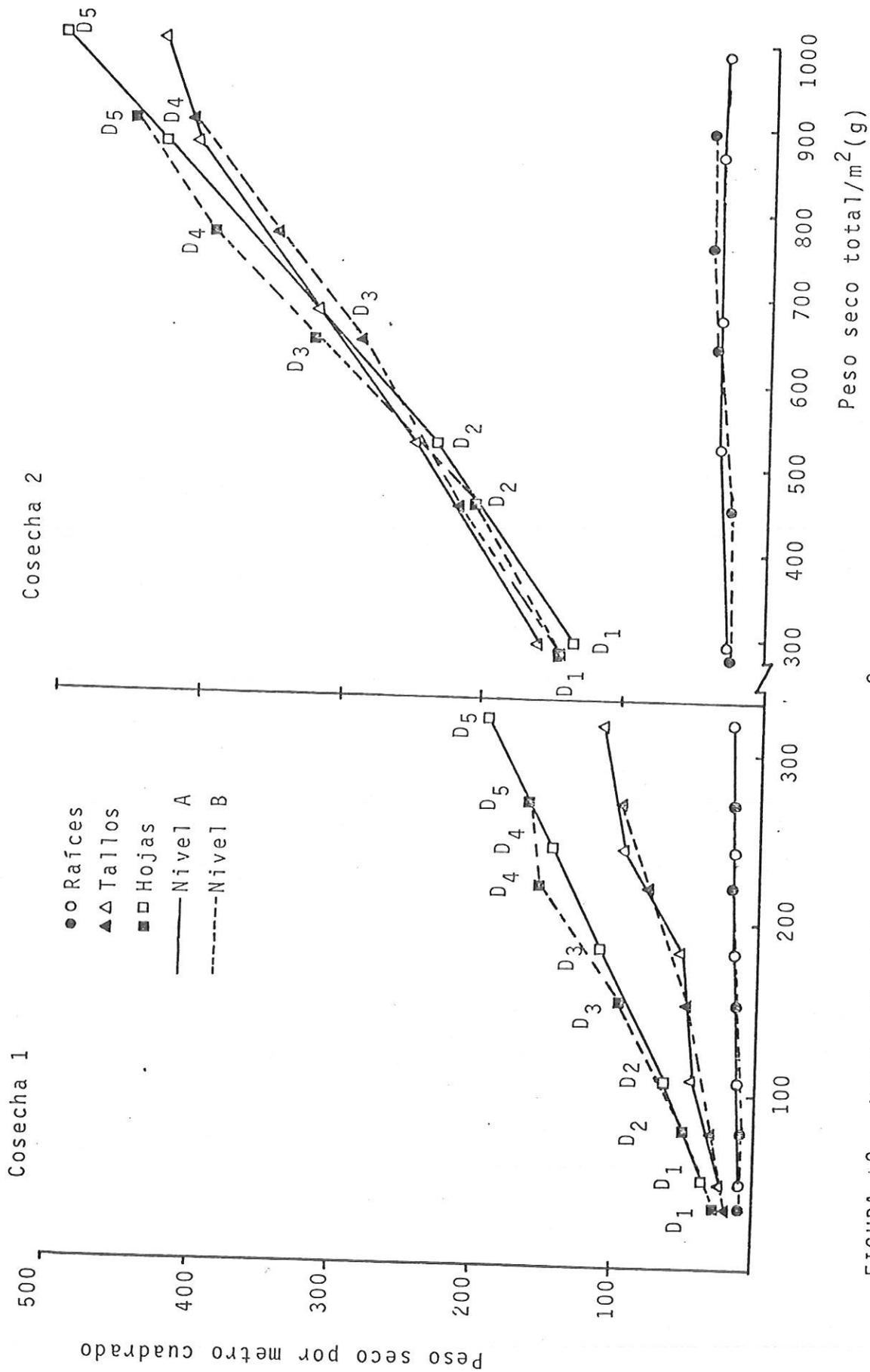


FIGURA :9. Variación del peso seco por m² de las raíces, tallos y hojas en función del peso seco total por m².

En la Figura 10 se muestra la variación de la distribución porcentual del peso seco por m^2 de los diferentes órganos de la planta, en la primera y la segunda cosecha. (Cuarta y séptima semanas de crecimiento, respectivamente).

Se observa que aunque se presentó una ligera variación en el patrón de distribución de la materia seca dentro de la planta al cambiar las condiciones de fertilidad, los datos no son contradictorios con los resultados encontrados por Hanway (5). Este autor dice que aunque varíen las condiciones de fertilidad, el patrón de distribución de la materia seca en la planta no se modifica significativamente.

Durante la cuarta semana de crecimiento las hojas representan aproximadamente el 70% del peso seco total de la planta. En la séptima semana este porcentaje disminuye y los tallos comparten con las hojas proporciones iguales del peso seco total de la planta (Figura 10).

Esto permite aseverar que en la planta de maíz el tallo es un órgano de reserva durante la etapa de crecimiento. A medida que se acerca a la floración éste posee una proporción de materia seca cada vez mayor dentro de la planta.

En la Figura 10 se observa también que la proporción de la materia seca total que representan las raíces no sufre modificaciones de una cosecha a otra pero si es susceptible al variar el peso seco/ m^2 (función directa de la densidad)

En la segunda cosecha se nota una tendencia de la planta a aumentar la

- Raíces
- ▲ Tallos
- Hojas
- Nivel A
- - - Nivel B

Cosecha 2

Cosecha 1

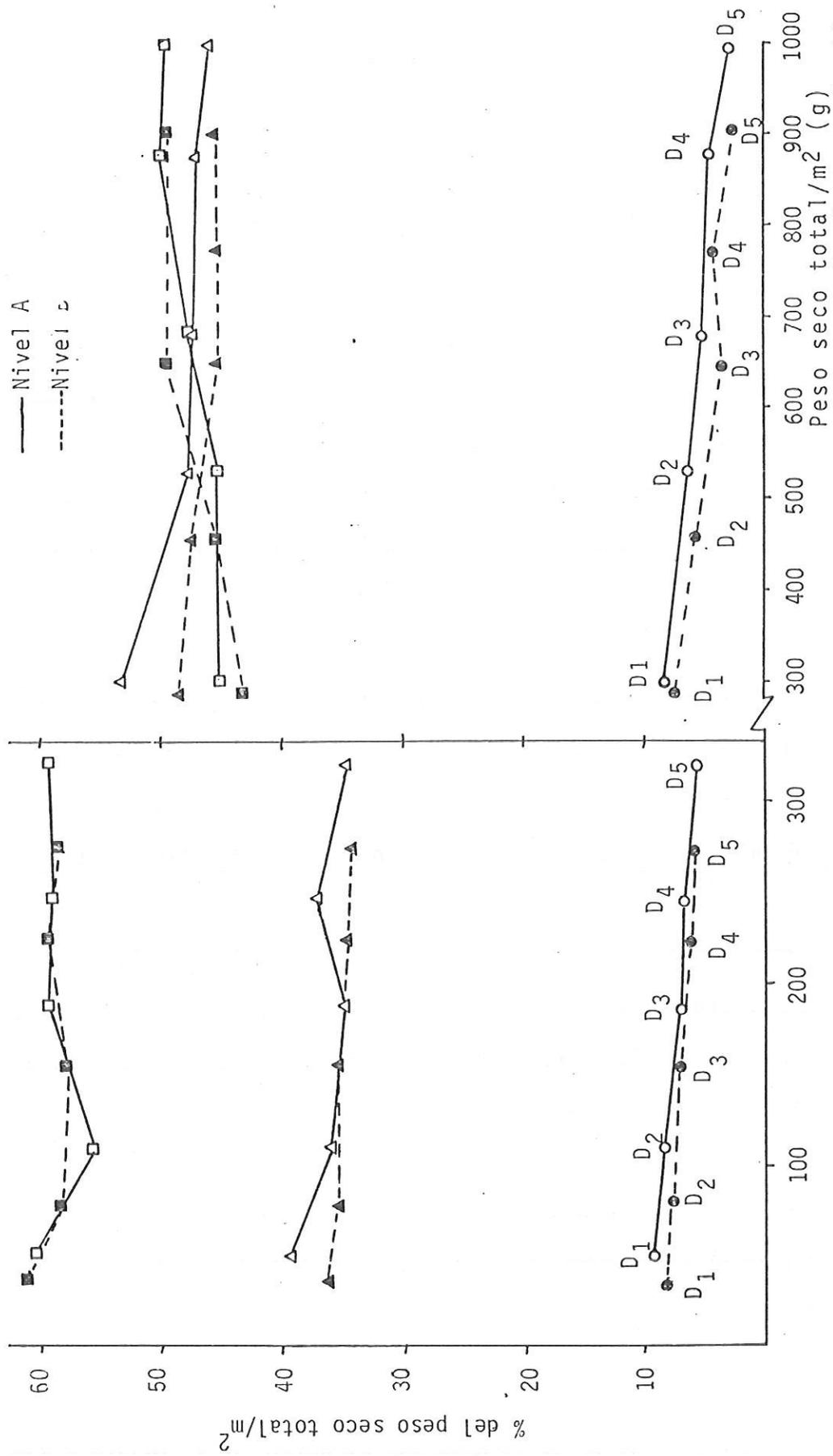


FIGURA 10. Distribución porcentual de la materia seca en los diferentes órganos de la planta en función del peso seco total por m².

proporción de peso seco en las hojas y disminuirla en los tallos y las raíces al aumentar la densidad de siembra (Figura 10). Es probable - por el aumento de la competencia entre las plantas, las hojas aumenten su respiración, disminuyendo la cantidad de fotosintatos traslocables a los tallos y a las raíces.

El valor más alto de la tasa de crecimiento entre las dos cosechas fué de 38.4 g de materia seca por m^2 - día y se obtuvo en una densidad de 320.000 plantas por ha, dentro del nivel alto de fertilización.

Como se muestra en la Tabla 5, no hubo efecto significativo del nivel de fertilización sobre la tasa de crecimiento, y la densidad de siembra tuvo un efecto altamente significativo. Según la prueba de Duncan (Tabla 12), las dos densidades más altas no fueron estadísticamente diferentes.

En las Figuras 11 y 12 se aprecia el aspecto de las plantas de maíz en la segunda cosecha. Las plantas de las densidades bajas han desarrollado plenamente todas las hojas, mientras que en las altas las plantas han concentrado su crecimiento foliar en las partes superiores.

Este hecho se puede explicar si se tiene en cuenta que al aumentar la densidad de siembra, disminuye la cantidad de luz que llega a las hojas inferiores y por consiguiente su fotosíntesis neta. Para evitar este desbalance energético la planta limita el desarrollo de las hojas inferiores.

El hecho de que el viento volcara principalmente las plantas de las -



FIGURA 11. Aspecto de las plantas de las cinco densidades de siembra del nivel alto de fertilización en la segunda cosecha.



FIGURA 12. Aspecto de las plantas de las cinco densidades de siembra del nivel bajo de fertilización en la segunda cosecha.

densidades altas, muestra la debilidad de sus tejidos.

3.2 ACUMULACION DE NUTRIMENTOS

Como se observa en las Tablas 6,7 y 8 del apéndice, el nivel de fertilización solo tuvo efecto significativo sobre el porcentaje de fósforo en las raíces.

Las fechas de cosecha y las densidades de siembra ejercieron un efecto altamente significativo sobre los porcentajes de nitrógeno fósforo y potasio en todas las partes de la planta. (Ver pruebas de Duncan, Tabla 13).

La disminución del porcentaje de nutrimentos en las hojas entre la cuarta y la séptima semana de crecimiento (Figuras 13 y 14) muestra que la hipótesis de trabajo no se cumplió. Se esperaba que cuando disminuyera la disponibilidad de nutrimentos, la concentración de ellos en las hojas se mantuviera constante. Para que esto ocurriera era preciso que la planta limitara el desarrollo de su área foliar, pero como se mostrará posteriormente, esto tampoco ocurrió.

La disminución de la concentración de nutrimentos en los tejidos cuando llegan a la séptima semana de crecimiento podría deberse más bien a que la tasa de acumulación de materia seca fué mayor que la tasa de absorción y se presentó un efecto de dilución.

Probablemente, en sus primeros estados de crecimiento la planta trata-

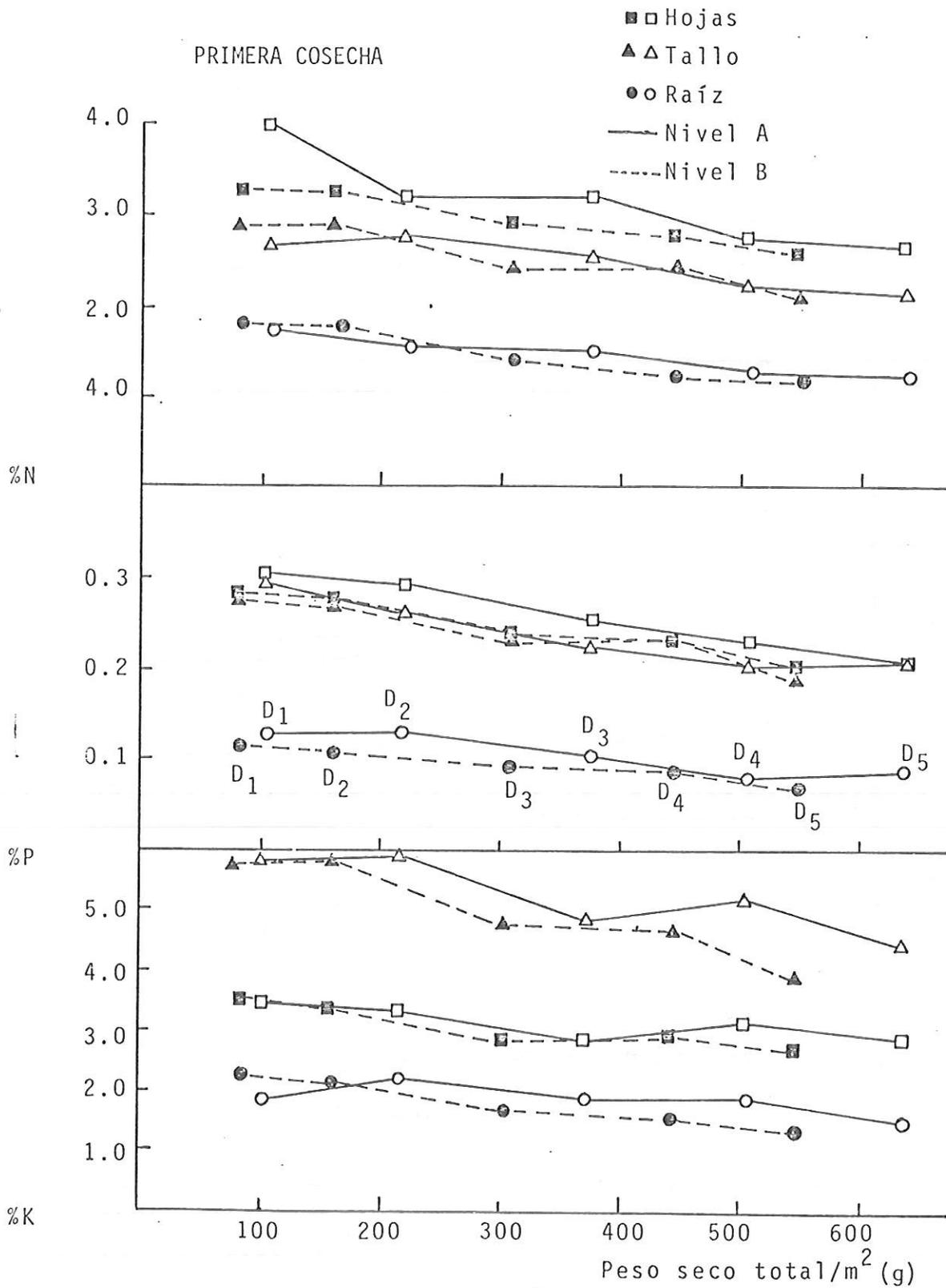


FIGURA 13. Variación de la concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en los diferentes órganos de la planta, en la primera cosecha y en función del peso seco total por m².

SEGUNDA COSECHA

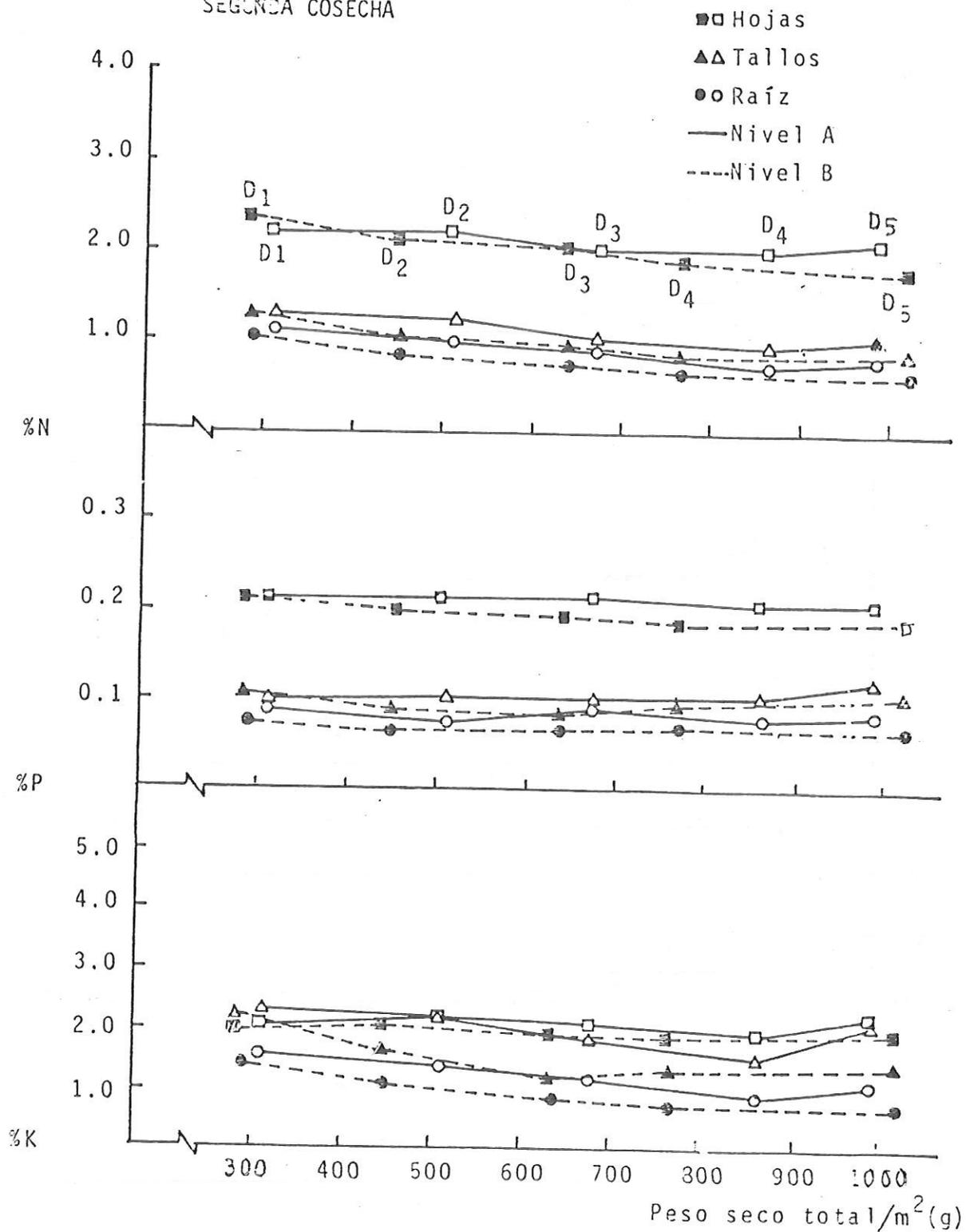


Figura 14. Variación de la concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en los diferentes órganos de la planta, en la segunda cosecha y en función del peso seco total por m².

de absorber la máxima cantidad de nutrimentos como reserva o como energía que demanda la intensa actividad de la planta durante la iniciación del crecimiento (Nelson, 16).

Cuando la concentración de nutrimentos en las raíces, tallos y hojas se pondera por la proporción del peso seco total por m^2 que ocupa cada una de esas partes, se obtiene la captación o distribución porcentual de los nutrimentos en las diferentes partes de la planta.

Desde este punto de vista, los resultados fueron interesantes y se apartan de las conclusiones de Hanway (5), en las cuales afirma que al variar la disponibilidad de nutrimentos, la planta de maíz no modifica el patrón de distribución de ellos en sus diferentes órganos.

En las Figuras 15, 16 y 17, se observa en forma contraria, que en los cosechas, la proporción de los nutrimentos dentro de la planta tiende a ser afectada por la densidad de siembra y la fertilización.

Este efecto es mayor en la segunda cosecha con el nitrógeno y el potasio en los tallos y en las hojas.

Se observa en forma general (Figuras 15, 16 y 17) que al aumentar el peso total por m^2 (función directa de la densidad), aumenta la captación de nutrimentos en las hojas y disminuye principalmente en el tallo. Este aumento es mayor cuando el nivel de fertilización disminuye.

Este hecho podría interpretarse como un intento de la planta por mante

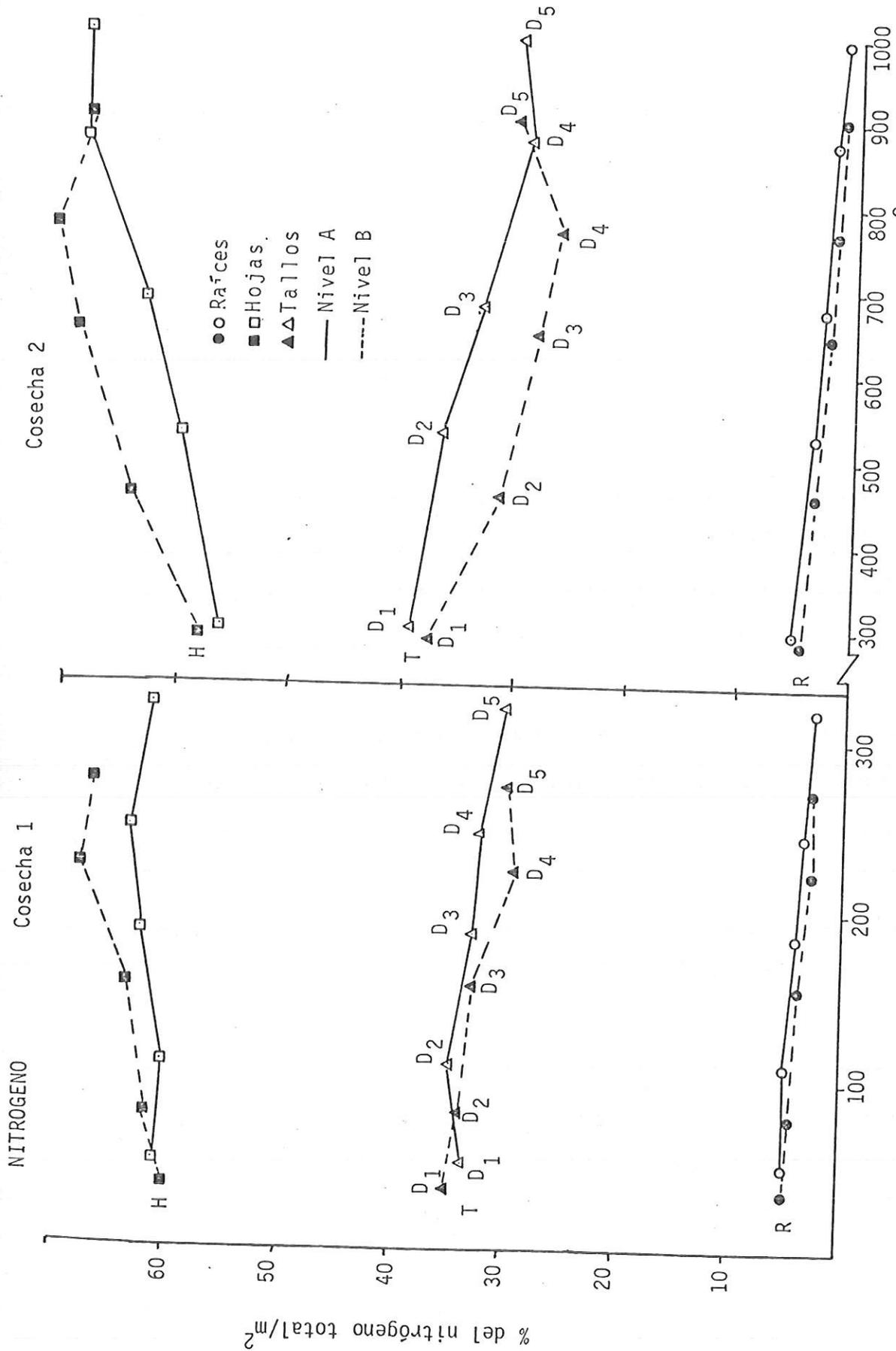


FIGURA 15. Distribución porcentual del nitrógeno total en los diferentes órganos de la planta de maíz, con respecto al peso seco total por m².

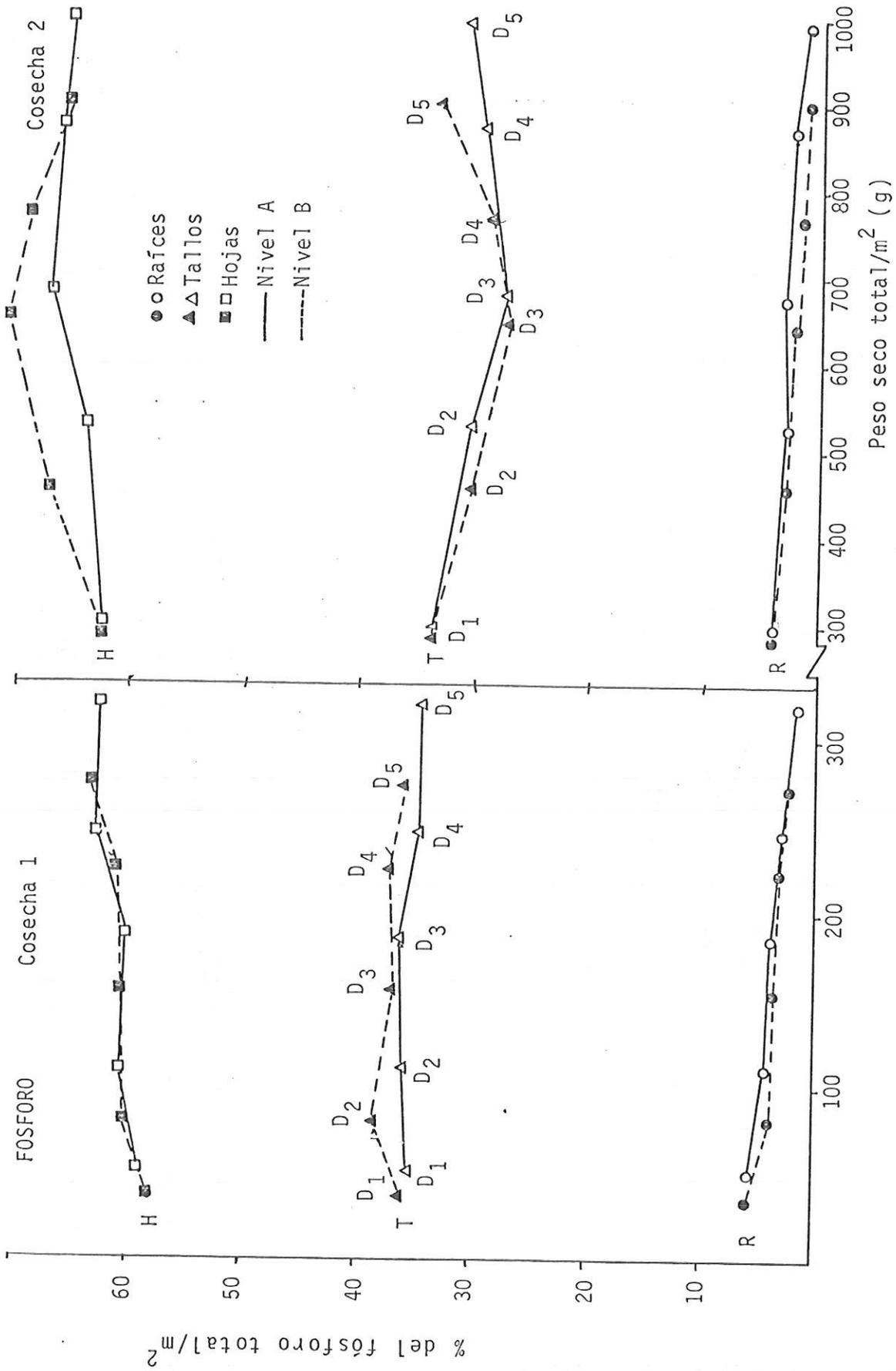


FIGURA 16. Distribución porcentual del fósforo total en los diferentes órganos de la planta de maíz, con respecto al peso seco total por m².

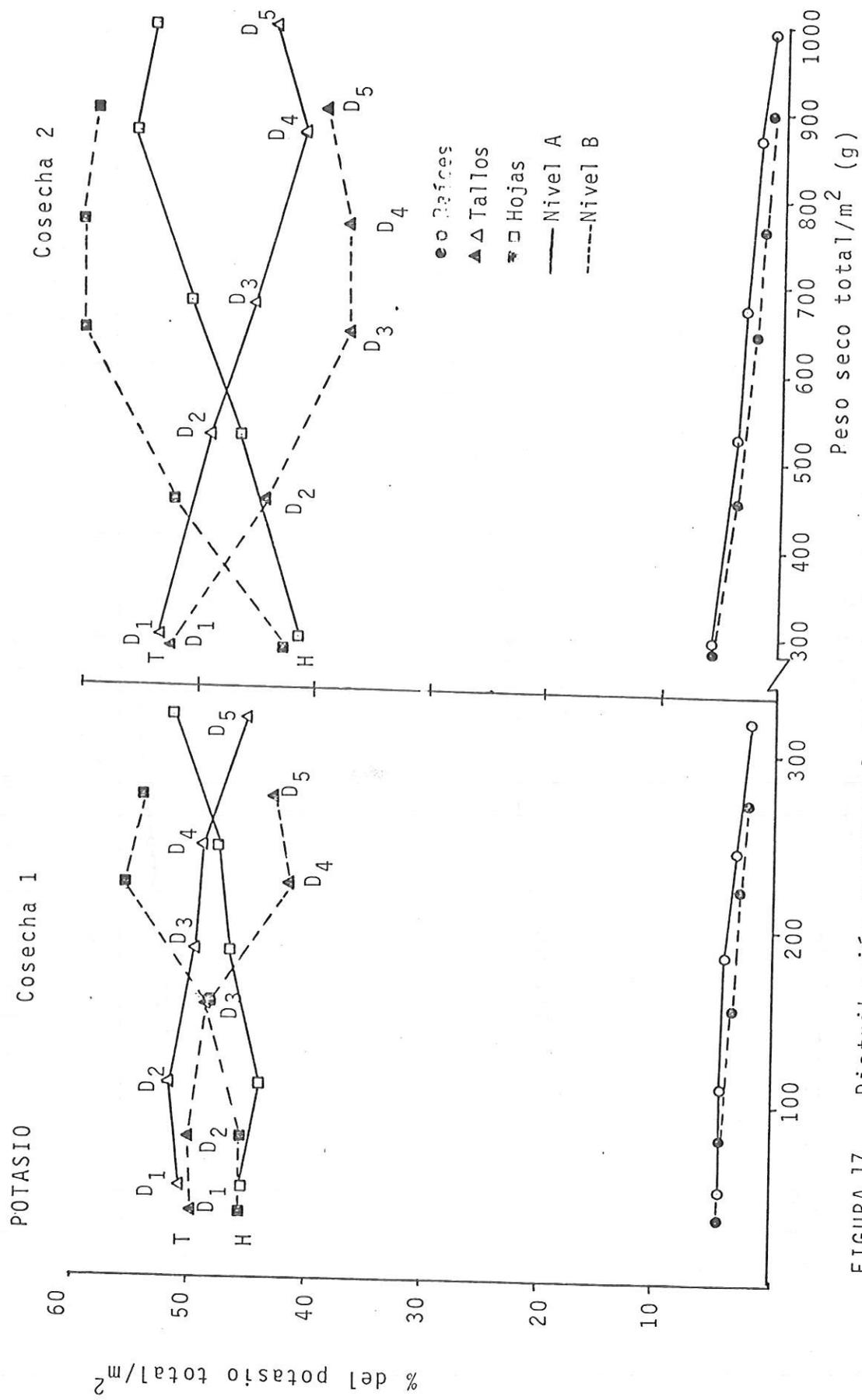


FIGURA 17 . Distribución porcentual del potasio total en los diferentes órganos de la planta de maíz con respecto al peso seco total por m².

ner alta la concentración de nutrimentos en las hojas, o como una disminución en la traslocación de fotosintatos desde las hojas al tallo, debido a la disminución de la fotosíntesis neta.

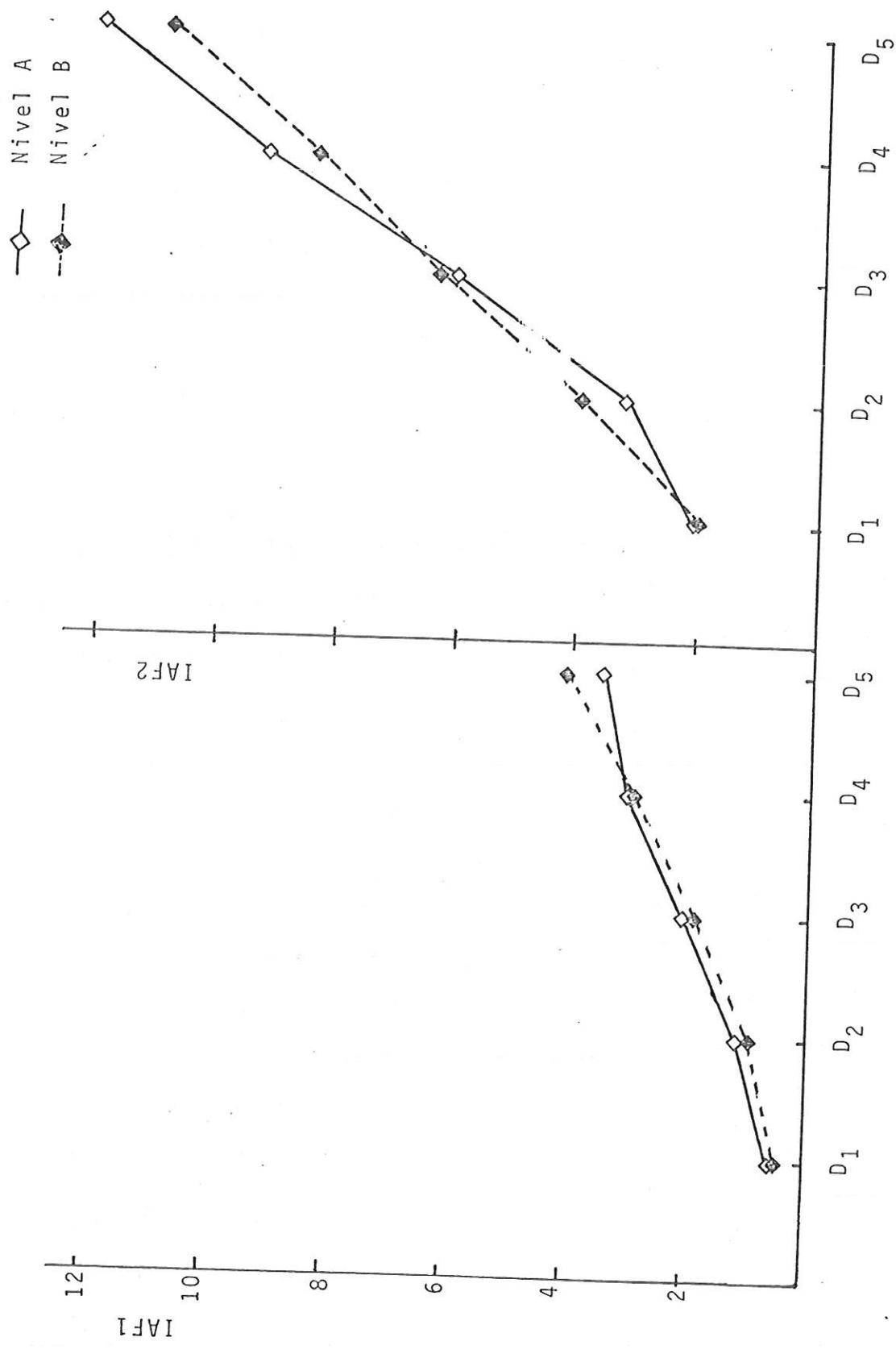
En este aspecto la distribución del potasio es la más variable. En las densidades bajas se encuentra en mayor proporción en los tallos que en las hojas. En las densidades altas, este elemento es mayor en las hojas. Al aumentar la densidad, esta relación se invierte más rápido cuando las plantas tienen siete semanas de edad y se desarrollan con poca disponibilidad de nutrimentos.

La variabilidad en la distribución del potasio puede explicarse también por la gran movilidad de este elemento dentro de la planta. Además el potasio está directamente relacionado con la actividad fotosintética de la planta (Nátr, 15).

3.3 AREA FOLIAR E INTERCEPCION DE LUZ

En la Figura 18 se presenta la relación entre el incremento del índice de área foliar y la densidad de siembra. Se observa que al aumentar la densidad de siembra de 20.000 a 320.000 plantas por ha, el índice de área foliar se incrementa en mayor magnitud en la primera cosecha que en la segunda.

Al comparar los índices de área foliar de la segunda cosecha con los de la primera, se observa que proporcionalmente hay un mayor aumento de dicho índice en las densidades bajas respecto a las densidades al



Logaritmo de densidad de siembra.

FIGURA 18. Incremento del área foliar en las dos cosechas (IAF1 é IAF2), en relación con la densidad de siembra.

tas. Esto posiblemente se debe a que las primeras se desarrollan bajo mejores condiciones.

El hecho de que las plantas no limitaran su índice de área foliar de acuerdo a la hipótesis planteada no tiene una explicación satisfactoria. Sin embargo, puede ser posible que las dosis de fertilizantes empleadas no fueron lo suficientemente diferentes para provocar condiciones de crecimiento verdaderamente críticas, como lo demuestra el hecho de que no se presentara síntomas de deficiencia de ningún elemento.

Solamente la densidad de siembra tuvo un efecto altamente significativo sobre la intercepción de luz como se observa en la Tabla 5.

3.4 RELACIONES ENTRE LA TASA DE CRECIMIENTO, EL INDICE DE AREA FOLIAR Y LA INTERCEPCION DE LUZ.

En la Figura 19 se muestra la relación entre la tasa de crecimiento y el índice de área foliar. El modelo de mejor ajuste para las curvas de los dos niveles fué $y = a + b \ln x$ y sus constantes aparecen en la misma figura.

El análisis de varianza para verificar el grado de ajuste del modelo a las observaciones realizadas se presenta en la Tabla 9.

La tendencia de las plantas mejor fertilizadas a presentar una mayor tasa de crecimiento bajo un mismo índice de área foliar en relación a las menos fertilizadas se explica por las mejores condiciones de creci

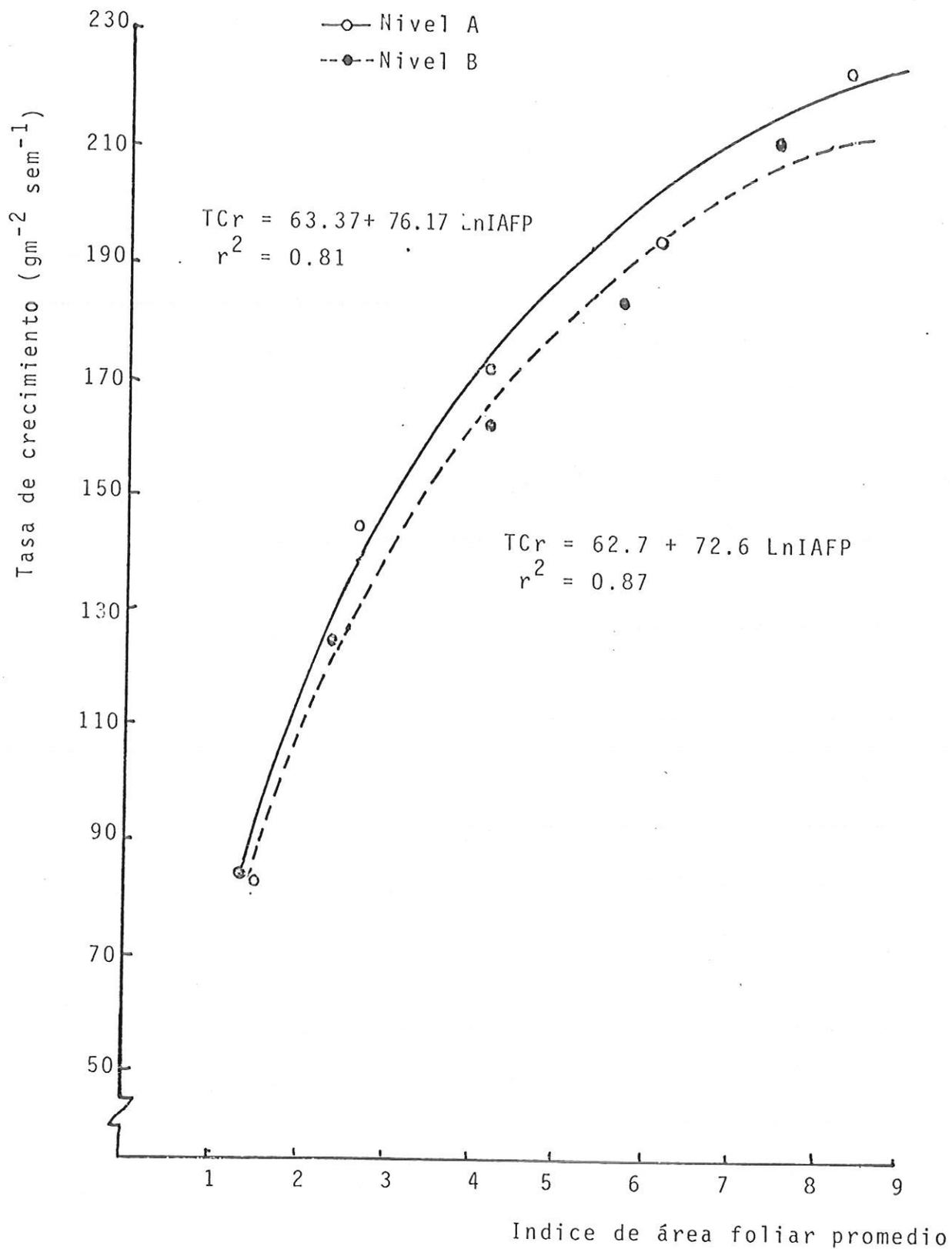


FIGURA 19. Relación entre la tasa de crecimiento (TCr) e índice de área foliar promedio (IAFP) entre las dos cosechas. (Nivel de significancia al 5%).

miento que poseen estas. El efecto de la densidad hace mayor esta diferencia.

En la Figura 20 se muestra la relación entre la tasa de crecimiento y el porcentaje de luz interceptada. El mejor ajuste entre varios modelos lo presentó la ecuación $\ln y = a + bx$. (Tabla 10). Los valores de las curvas de los dos niveles aparecen en la Figura 20.

En la Figura 21 se presenta la relación entre el logaritmo de la luz no interceptada y el índice de área foliar. El modelo de mejor ajuste fué la ecuación $y = a + bx$. Sus constantes y el análisis de varianza para el grado de ajuste aparecen en la Tabla 11. Posteriormente se probó que no había diferencia estadística entre las pendientes correspondientes a los dos niveles de fertilización.

Las líneas se ajustaron al origen mediante la función $y = \frac{\sum xy}{\sum x^2} x$.

Con un mismo índice de área foliar, la intercepción de luz de las plantas poco fertilizadas fué ligeramente mayor que en aquellas mejor fertilizadas.

De acuerdo con Kaneko y Kubota (11), el maíz ICA H-211 podría considerarse como una variedad del grupo denominado "plantas sin saturación de luz", ya que a medida que las condiciones de iluminación se hacen más críticas (densidades altas), no dejan de aumentar en forma decidida las tasas de crecimiento.

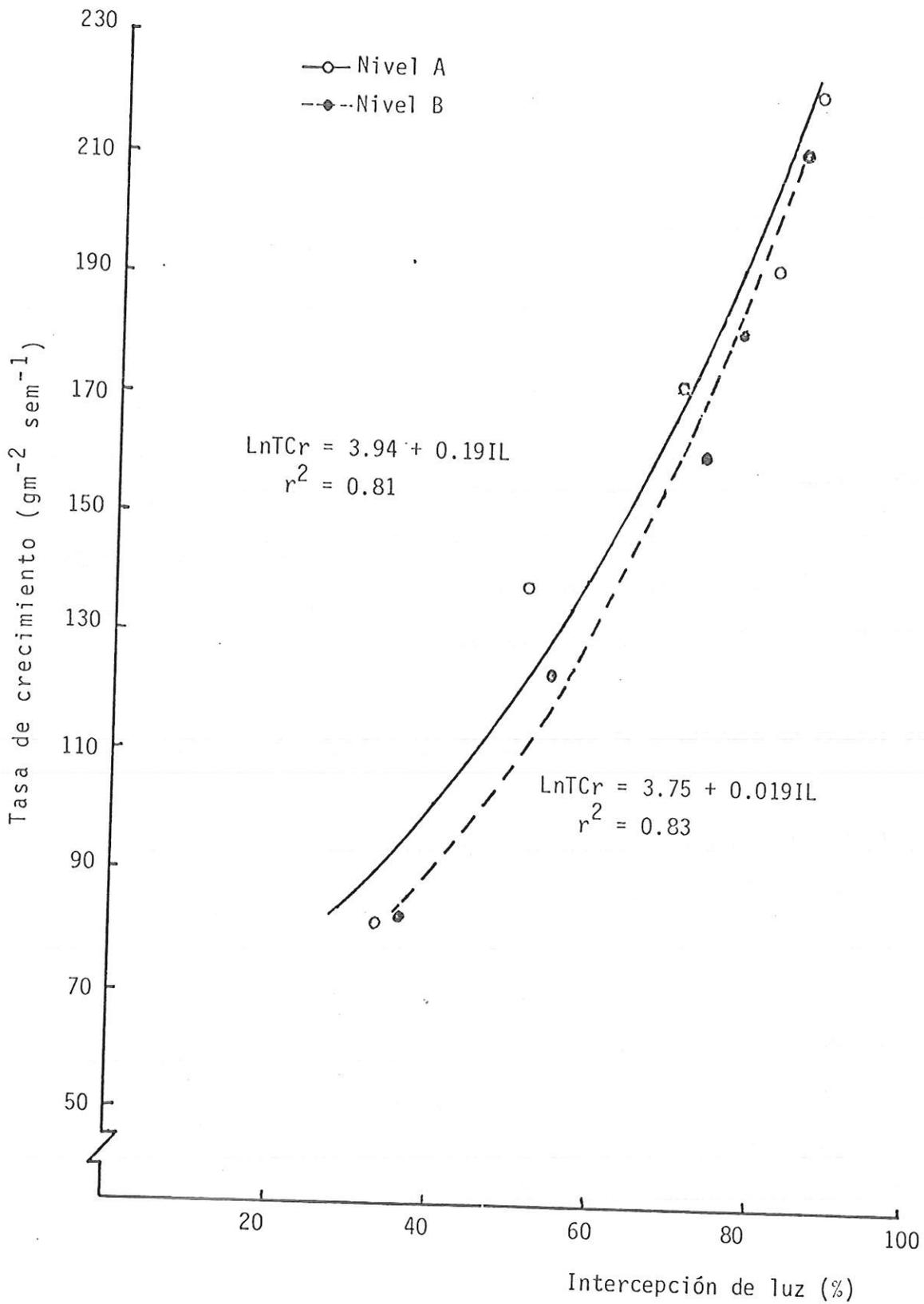


FIGURA 20. Relación entre la tasa de crecimiento (TCr) y la intercepción de luz (IL), entre las dos cosechas. (nivel de significancia al 5%).

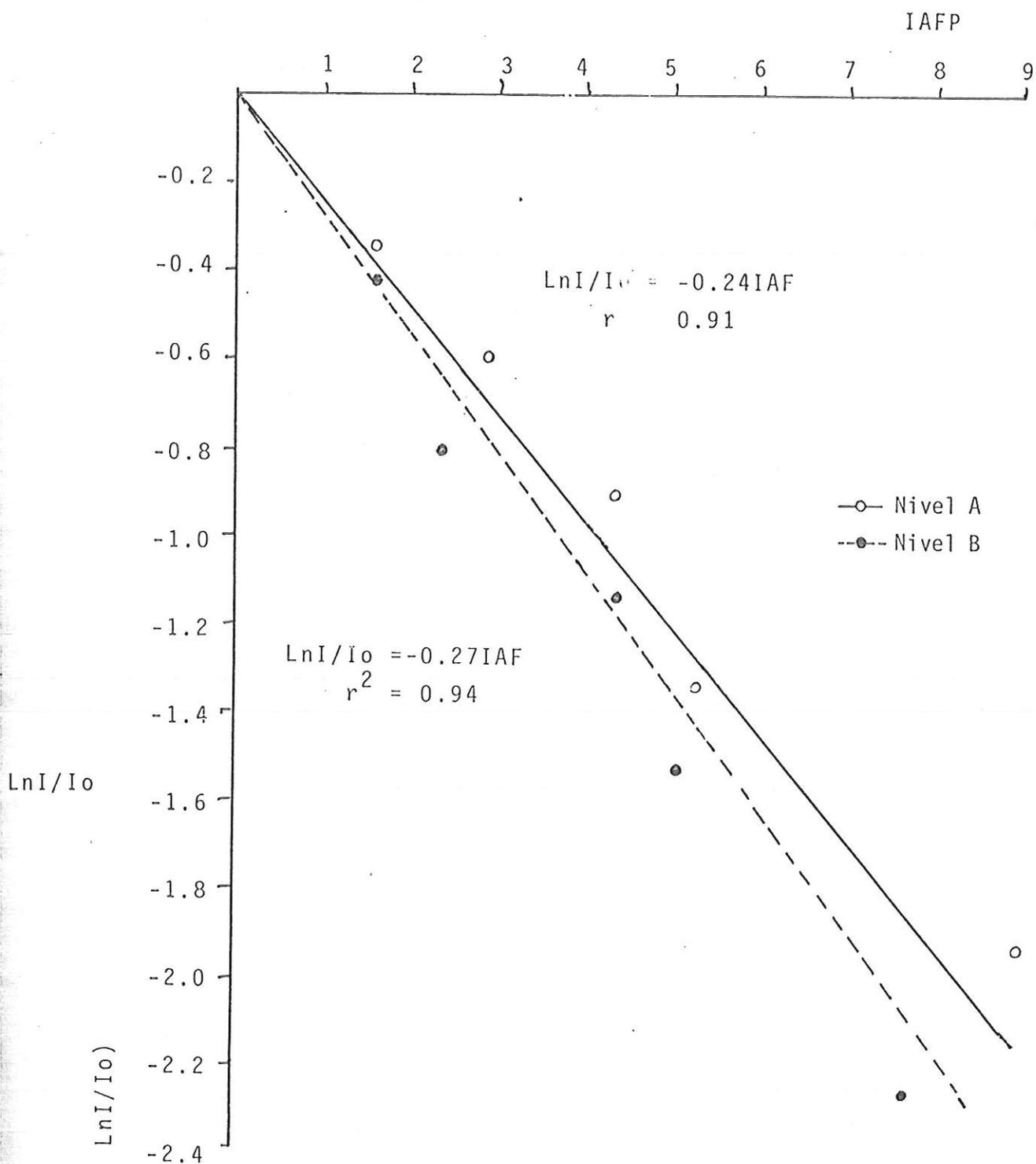


FIGURA 21. Relación entre el logaritmo de la luz no interceptada (LnI/Io) y el índice de área foliar promedio entre las dos cosechas (IAFP). (Nivel de significancia al 5%).

En base a los modelos anteriores y por ecuaciones simultáneas se encontraron las siguientes funciones para la tasa de crecimiento, el índice de área foliar y la intercepción de luz entre la cuarta y la séptima - semana de crecimiento :

Nivel alto de fertilización :

$$TCr = 31.65 + 38.05 \text{ LnIAF} + \text{Ln}^{-1} (3.94 + 0.017 \text{ IL})^{1/2}$$

Nivel bajo de fertilización :

$$TCr = 31.35 + 36.3 \text{ LnIAF} + \text{Ln}^{-1} (3.75 + 0.019 \text{ IL})^{1/2}$$

4. CONCLUSIONES

1. Mediante el presente experimento no se pudo probar la hipótesis de trábajo, pues las plantas no limitaron su área foliar como respuesta a la disminución en el suministro de nutrimentos.
2. En forma contraria a la esperada las plantas poco fertilizadas disminuyeron la concentración de nutrimentos al transcurrir el tiempo, aún en las densidades bajas.
3. El patrón de distribución de los nutrimentos en las diferentes partes de la planta de maíz presentó variaciones cuando se modificó la densidad de siembra y el nivel de fertilización.
4. Entre el nitrógeno, fósforo y potasio, este último fué el elemento que mayores variaciones presentó en cuanto a su distribución dentro de la planta.
5. El tallo mostró ser el órgano de reserva del maíz durante la época de crecimiento.
6. La disminución en el nivel de fertilización no tuvo un efecto significativo sobre la tasa de crecimiento y la intercepción de luz por el cultivo.

5. RESUMEN

El híbrido ICA H-211 se sembró en un suelo de baja fertilidad tipo Inseptisol Typic Distropet localizado en Santander de Quilichao, Departamento del Valle del Cauca (Colombia). Se usaron densidades de siembra de 20.000, 40.000, 80.000, 160.000 y 320.000 plantas/ha y dos niveles de fertilización: alto y bajo. Las plantas se cosecharon a la cuarta y séptima semanas de su crecimiento. Se determinó el peso seco total por m² de raíces, tallos y hojas y la concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en estos órganos. Se midió el índice del área foliar y la intercepción de luz por el cultivo, y se evaluó la tasa de crecimiento entre las dos cosechas.

Se presumía que, bajo condiciones críticas de fertilización y de competencia entre plantas, éstas deberían limitar su área foliar a fin de conservar en sus tejidos una concentración alta de nutrientes. De esta manera aseguraría una tasa máxima de crecimiento.

Sin embargo, los resultados obtenidos se apartaron de este planteamiento. En la segunda cosecha hubo una disminución de los nutrientes en todos los tejidos de las plantas, aún en densidades bajas en donde las condiciones de crecimiento eran más favorables.

Se determinó que la fertilización y la densidad de siembra influyen en el patrón de distribución de los nutrientes en los diferentes órganos de la planta de maíz. A medida que aumenta la densidad de siembra, las hojas contienen la mayor proporción de nutrientes totales de la planta. Este efecto fue mayor en la segunda cosecha y con el nivel bajo de fertilización. Las mayores variaciones las presentó el potasio.

La fertilización no produjo variaciones significativas sobre el índice de área foliar en la segunda cosecha, sobre la tasa de crecimiento, ni en el porcentaje de intercepción de luz. En cambio, la densidad de siembra sí tuvo un efecto altamente significativo sobre estas variables.

6. SUMMARY

The hibrid ICA H-211 was sowed in a low fertility soil of the Inseptisol Typic Distropet type located at Santander de Quilichao, Cauca-Valley department (Colombia). It was used sowing densities of 20.000, 40.000, 80.000, 160.000 and 320.000 plants/ha. and two levels of fertilization: high and low. The plants were harvested at the fourth - and seventh weeks of growth. It was determined the total dried weight by m^2 of roots, stems and leaves and the concentration of nitrogen, phosphorus and potash in the se organs. It was measured the leaf index area and the lighth intercepted by the crop, and the growing rate between the two harvest was evaluated.

It was presumed that, under critical conditions of fertilization and competition between the plants, these had to limite their leaf area - in order to keep in their tissues a high nutrient concentration. In - this way, the plants assured a high rate. of growing.

Howewver, the obtained results disagree of that hypothesis. At the - second harvest it was a decrease of the nutrient contained in all - the tissues of the plants, even at the low densities where the grow - conditions were more favorables.

It was determined that the fertilization and the sowing density affect the distribution pattern of the nutrients in the different plant corn-organs.

As the sowing density increase, the leaves contain the high ratio of the total plant nutrients. This effect was higher at the second harvest with the low level of fertilization. The higher variations were showed by the potash.

The fertilization had not significant variations on the leaf index at the second harvest, neither on the growing rate and the light percentage interception. On the other hand the sowing density had an high significant effect on these variables.

BIBLIOGRAFIA

1. BLACK, J.N. The interrelationship of solar radiation and leaf area index in determining the rate of dry matter production of swards of subterranean clover, *Trifolium subterraneum* L. Australian Journal of Agricultural Research. 14:20-28. 1963.
2. BUTTERY, B.R. Effects on variation in leaf area index on growth of maize and soybeans. Crop Science. 10:9-13. 1970.
3. DE MOOY, C.J., J.L. YOUNG and J.C. KAAP. Comparative response of soybeans and corn to phosphorus and potassium. Agronomy Journal. 6: - 851-855. 1961.
4. DENMEAD, O.T., J.L. FRITSCHEN, and R.H. SHAW. Spatial distribution of net radiation in a corn field. Agronomy Journal. 54:505-510. 1962.
5. HANWAY, J.J. Corn growth and composition in relation to soil fertility: I. Growth of different plant parts and relation between leaf weight and grain yield. Agronomy Journal. 54:143-146. 1962.
6. _____. Corn growth and composition in relation to soil fertility : II. Uptake of N, P and K, and their distribution in different plant parts during the growing season. Agronomy Journal. 54: 217-222. 1962.
7. _____. Corn growth and composition in relation to soil fertility : III. Percentages of N, P and K in different plant parts in relation to stage of growth. Agronomy Journal. 54: 222-229. 1962
8. INSTITUTO AGUSTIN CODAZZI. Estudio general de suelos de los municipios de Santander de Quilichao. Piendamó, Morales, Buenos Aires, Cajibío y Caldonó (Departamento del Cauca). V.2, no.1. Bogotá. 1976.
9. ISHII, R., M. SHIBAYAMA, and Y. MURATA. Effect of light on the CO₂ evolution of C₃ and C₄ plant in relation to the Kok effect. Japanese Journal of Crop Science. 48 (1): 52-57. 1977
10. JORDAN, H.V., and K.D. LAIRD. Growth rates and nutrient uptake by corn in a fertilizer-spacing experiment. Agronomy Journal. 42: 261-268. 1950.

11. KUBOTA, F, and K.KANEKO. Effects of light and air temperature on - dry matter production of ten corn varieties at early growth - stage. Japanese Journal of Crop Science. 48 (1) : 75-80. 1977.
12. LOOMIS, R.S., m W.A. WILLIAMS, and A.E. HALL. Agricultural producti - vity. Annual review of plant physiology. 22: 431-468. 1971.
13. MEDINA, E. et al. Diferenciación fotosintética en plantas superio - res. Interciencia, Caracas. 1: 96-104. 1976.
14. MOSS, D.N., and D.E. PEASLEE. Photosynthesis of maize leaves as - affected by age and nutrient status. Crop Science. 5: 280-281.- 1965.
15. NATR, L. Influence of mineral nutrients on photosynthesis of higher plants. Photosynthetica 6 (1) : 80-99. 1972.
16. NELSON, L.B. The mineral nutrition of corn as related to its growth and culture. Advances in Agronomy. 8: 321-375. 1956.
17. PENDLETON. J.W. et at. Field investigations of the relationship of leaf angle in corn to grain yield and apparent photosynthesis. Agronomy Journal. 60: 422-424. 1968
18. SNYDER, F.W. Comparativa leaf area and dry matter acumulation by - maize and sugar beet. Crop Science. 14: 559-561. 1974.
19. VONG, N.Q. and Y. MURATA. Studies on the physiological characteris - tics of C₃ and C₄ crop species. I. The effects of air temperatu - re on the apparent photosynthesis, dark respiration and nutrient absorption of some crops. Japanese Journal of Crop Science. 46 (1): 45-52. 1977.
20. WILLIAMS, W.A., R.S. LOOMIS, and C.R. LEPLEY. Vegetative growth of corn as affected by population density. I. Productivity in rela - tion to interception of solar radiation. Crop Science. 5: 211-215. 1965.

APENDICES

TABLA 4. Análisis de varianza de las variables peso seco de raíces/m² (P.SR/m²), peso seco de tallos/m² (PST/m²), peso seco de hojas/m² (PSH/m²) y peso seco total/m² (PSTOT/m²)

Fuentes de variación	Grados de libertad	PSR/ m ²		PST/ m ²		PSH/ m ²		PSTOT/ m ²	
		CM	FC	CM	FC	CM	FC	CM	FC
Repetición	3	10.82	0.73	1931.97	1.44	425.15	0.40	5356.3	0.91
Nivel	1	198.50	13.44 *	10998.58	8.22 *	5953.00	5.62 *	35921.3	6.08 *
Error (a)	3	14.77		1337.74		1059.47		5905.61	
Cosecha	1	7157.3	1161.9 **	1172234.5	759.6 **	663815.0	1286.43 **	479689.80	991.85 **
Nivel X Cos	1	21.31	3.46	2745.53	1.78	321.60	0.62	3920.00	0.87
Error (b)	6	6.16		1543.31		516.0		4516.50	
Densidad	4	335.60	18.6 *	87927.70	135.76 **	10048.5	194.08 **	522055.3	171.93 **
Nivel X Den	4	7.99	0.44	363.80	0.56	418.60	0.81	1996.84	0.66
Den X Cos	4	110.81	6.14 **	24698.50	38.13 **	16992.3	32.83 **	101122.80	33.3 **
Nivel X Den X Cos	4	1.85	0.10	147.50	0.23	351.15	0.68	877.66	0.29
Error (c)	48	18.0		647.68		517.5		3036.5	
Total	79								

** Efecto altamente significativo (1.0%)

* Efecto significativo (5.0%)

CM : Cuadrado medio

FC : F. Calculado.

TABLA 5. Análisis de varianza de las variables tasa de crecimiento (TCr), índice de área foliar en la primera y segunda cosecha (IAF1 e IAF2), índice de área foliar promedio (IAFP) e intercepción de luz (I.L)

Fuentes de variación	TCr		IAF1		IAF2		IAFP		IL		
	CM	FC	CM	FC	CM	FC	CM	FC	CM	FC	
Repetición	3	617909.9	3.61	0.043	0.15	1.17	1.0	0.25	0.46	4.3	0.42
Nivel	1	368179.34	2.15	0.449	1.6 *	1.49	1.3	0.89	1.6 *	11.0	1.0
Error (a)	3	170880.25		0.283		1.12		0.54		10.15	
Densidad	4	11166144.1	43.11 **	18.09	280.9 **	115.0	190.4 **	55.97	339.0 **	3407.3	301.74 **
Nivel X Den	4	7878861.1	30.41	0.028	0.44	0.67	1.1	0.22	1.34	34.04	8.01 **
Error (b)	24	259013.04		0.0644		0.604		0.165		4.25	
Total	39										

** Efecto altamente significativo (1%) CM = Cuadrado medio

* Efecto significativo (5%) FC = F. Calculado

TABLA 6. Análisis de varianza del porcentaje de nitrógeno en las raíces (NR), tallos (NT), y hojas (NH)

Fuentes de variación	Grados de libertad	NR		NT		NH	
		CM	FC	CM	FC	CM	FC
Repetición	3	0.03	1.0	0.035	0.58	0.053	0.88
Nivel	1	0.08	2.66	0.034	0.56	0.022	0.36
Error (a)	3	0.03		0.06		0.06	
Cosecha	1	8.47	498.2 **	43.3	1082.5 **	16.4	328.0 **
Nivel X Cos.	1	0.04	2.35	0.26	6.5 *	0.04	0.8
Error (b)	6	0.017		0.04		0.05	
Densidad	4	0.64	50.4 **	0.3	47.3 **	0.6	27.2 **
Nivel X Den	4	0.007	0.55	0.03	1.58	0.03	1.36
Den X Cos.	4	0.045	3.53 **	0.16	8.42 **	0.06	2.72 *
Nivel X Den X Cos	4	0.006	0.47	0.01	0.52	0.03	1.3
Error (c)	48	0.012		0.019		0.022	
Total	79						

** Efecto altamente significativo (1%)

CM = Cuadrado Medio

* Efecto significativo (5%)

FC = F. Calculado

TABLA 7. Análisis de varianza del porcentaje de fósforo en las raíces (PR), tallos (PT) y hojas (PH)

Fuentes de Variación	Grados de libertad	PR		PT		PH	
		CM	FC	CM	FC	CM	FC
Repetición	3	0.0002	1.0	0.0013	0.65	0.0004	0.4
Nivel	1	0.003	15.0 *	0.0004	0.2	0.009	9.0
Error (a)	3	0.0002		0.002		0.001	
Cosecha	1	0.012	26.0 **	0.38	1.900 **	0.03	5.0 **
Nivel X Cos	1	0.00045	0.97	0.0004	2.0	0.0001	0.16
Error (b)	6	0.00046		0.0002		0.0006	
Densidad	4	0.002	11.76 **	0.005	25.0 **	0.008	40.0 **
Nivel X Den	4	0.003	1.76	0.0004	2.0	0.0001	0.5
Den X Cos	4	0.001	5.8 **	0.006	30.0 **	0.02	10.0 **
Nivel X Den X Cos	4	0.0003	1.76	0.0005	2.5	0.0008	4.0
Error (c)	48	0.00017		0.0002		0.0002	
Total	79						

** Efecto altamente significativo (1%)

CM = Cuadrado Medio

* Efecto significativo (5%)

FC = F.Calculado

TABLA 8. Análisis de varianza del porcentaje de potasio en las raíces (KR), en los tallos (KT) y en las hojas (KH).

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	KR		KT		KH	
		CM	FC	CM	FC	CM	FC
Repetición	3	0.10	2.17	0.37	1.0	0.096	2.0
Nivel	1	0.43	9.34	2.50	7.35 *	0.18	3.9
Error (a)	3	0.046		0.34		0.046	
Cosecha	1	10.8	180.0 **	224.2	974.8 **	22.4	658.8 **
Nivel X Cos	1	0.2	3.3	0.10	0.43	0.036	1.6
Error (b)	6	0.06		0.23		0.034	
Densidad	4	1.26	46.6 **	4.27	30.5 **	0.4	17.4 **
Nivel X Den	4	0.09	3.3 *	0.17	1.2	0.03	1.3
Den X Cos	4	0.14	5.2 **	1.46	10.43 **	0.25	10.9 **
Nivel X Den X Cos	4	0.05	1.85	0.085	0.6	0.013	0.5
Error (c)	<u>48</u>	0.027		0.14		0.023	
Total	79						

** Efecto altamente significativo (1%) CM : Cuadrado medio

* Efecto significativo (5%) FC : F. Calculado

TABLA 9. Análisis de varianza del modelo $Y = a + b \ln X$ de mayor ajuste para la relación entre la tasa de crecimiento (TCr) y el índice de área foliar (IAF).

Nivel A		Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	R ²	Coefficiente de variación	Promedio XTCr
	Modelo		1	50481.7	79.7**	0.81	15.5	162.4
	Error		18	633.25				
	Total		19					
	LnIAF		1	5048.70	79.7**			
		a = 63.37		b = 76.17		TCr = 63.37 + 76.17 Ln IAF		
Nivel B		Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	R ²	Coefficiente de variación	Promedio XTCr
	Modelo		1	44012.23	123.6**	0.87	12.3	153.0
	Error		18	356.13				
	Total		19					
	LnIAF		1	44012.23	123.6**			
		a = 62.7		b = 72.6		TCr = 62.7 + 72.6 LnIAF		

** Hay una relación altamente significativa entre los valores observados y los valores ajustados según el modelo.

TABLA 10. Análisis de varianza del modelo $\ln y = a + bx$, de mejor ajuste para la relación entre la tasa de crecimiento (TCr) y la intercepción de luz (IL).

Nivel A		Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	R ²	Coefficiente de variación	Promedio LnTCr
	Modelo		1	2.25	80.35**	0.81	3.32	5.02
	Error		18	0.028				
	Total		19					
	I/Io		1	2.25	80.35**			
		a = 3.94		b = 0.017		LnTCr = 3.94 + 0.017 (IL)		
Nivel B		Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	R ²	Coefficiente de variación	Promedio LnTCr
	Modelo		1	2.08	90.4**	0.83	3.04	4.97
	Error		18	0.023				
	Total		19					
	I/Io		1	2.08	90.4**			
		a = 3.75		b = 0.019		LnTCr = 3.75 + 0.019 (IL)		

** Relación altamente significativa entre los valores observados y los valores ajustados según el modelo.

TABLA 11. Análisis de varianza de la ecuación $y = a + bx$ de mejor ajuste, para la relación entre el logaritmo de la luz no interceptada $(I/I_0)^*$ y el índice de área foliar (IAF).

Fuente de variación		Grados de libertad	Cuadrado medio	F calculado	R^2	Coefficiente de variación	Promedio $L(I/I_0)$
Nivel A							
Modelo	1	6.5916					
Error	18	0.033	199.74**	0.916	15.13	-1.21	
Total	19						
IAF	1	6.5916	199.74**				
a = 0.18		b = -0.23		L(I/I ₀) = 0.18 - 0.23 IAF			
Nivel B							
Modelo	1	4.75					
Error	18	0.016	296.87**	0.94	10.64	-1.19	
Total	19						
IAF	1	4.75	296.87**				
a = -0.3		b = 0.21		L(I/I ₀) = - 0.3 - 0.21 IAF			

** Hay una relación altamente significativa entre los valores observados y los valores ajustados a la recta.

* I₀ : Intensidad de la luz que recibe el follaje

I : Intensidad de la luz que recibe el suelo

Las rectas anteriores se ajustaron al origen mediante las siguientes relaciones:

$L(I/I_0) = -0.24$ IAF para el nivel alto de fertilización

$L(I/I_0) = -0.27$ IAF para el nivel bajo de fertilización

Entre las dos ecuaciones anteriores se hizo una prueba estadística y se concluyó que no hay diferencias significativas entre ellas con una probabilidad del 5%.

TABLA 12. Pruebas de Duncan de las variables peso seco de raíces/m² (PSR/m²), peso seco de tallo/m² (PST/m²), peso seco de hojas/m² (PSH/m²), peso seco total m² (PSTOT/m²), tasa de crecimiento (TCr), índice de área foliar promedio (IAFP) e intercepción de luz (IL) con respecto a los distintos grupos de tratamientos.*

Grupos de tratamientos	PSR/m ² (g)	PST/m ² (g)	PSH/m ² (g)	PSTOT/m ² (g)	TCr(g.m ⁻² sem ⁻¹)	IAFP	IL(%)
Cosecha 1	11.30b	59.7b	79.5b	168.8b	-	-	-
Cosecha 2	30.22a	301.8a	261.7a	642.0a	-	-	-
Nivel alto	22.33a	192.2a	179.2a	426.6a	162.4a	4.5a	64.6a
Nivel bajo	19.18b	169.1b	162.0b	384.2b	153.1a	4.2b	65.6a
Densidad 1	13.73c	83.9e	67.0e	169.6e	83.3d	1.3e	35.1e
Densidad 2	19.40b	134.7d	118.8d	292.1d	130.5c	2.4d	53.5d
Densidad 3	22.36b	183.7c	178.3c	415.4c	162.7b	4.1c	71.7c
Densidad 4	26.0b	232.7b	225.0b	527.5b	194.8a	5.9b	79.7b
Densidad 5	22.3a	269.0a	263.8a	622.4a	217.3a	7.9a	85.4a

* Los promedios de niveles o modalidades del mismo factor identificados con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Nivel de significancia del 5%)

TABLA 13. Pruebas de Duncan de los porcentajes de nitrógeno, fósforo y potasio, en las raíces (NR, PR, -
KR), tallos (NT, PT, KT) y hojas (NH, PH, KH) con respecto a los diferentes grupos de trata -
mientos. *

Grupos de tratamientos	NR	NT	NH	PR	PT	PH	KR	KT	KH
Cosecha 1	1.50a	2.53a	2.99a	0.100a	0.239a	0.254a	1.82a	5.13a	3.11a
Cosecha 2	0.85b	1.06b	2.08b	0.076b	0.100b	0.213b	1.1 b	1.78b	2.05b
Nivel alto	1.20a	1.82a	2.55a	0.094a	0.172a	0.244a	1.52a	3.63a	2.63a
Nivel bajo	1.14b	1.78a	2.52a	0.082b	0.167a	0.223b	1.38b	3.28b	2.54b
Densidad 1	1.43a	2.09a	2.78a	0.103a	0.094a	0.259a	1.78a	4.09a	2.79a
Densidad 2	1.33b	1.99a	2.69a	0.094ab	0.181b	0.253a	1.70a	3.91a	2.72a
Densidad 3	1.16c	1.74b	2.49b	0.090b	0.159c	0.227b	1.38b	3.18b	2.49b
Densidad 4	1.00d	1.62c	2.38c	0.077c	0.158c	0.221b	1.24c	3.13b	2.46b
Densidad 5	0.96d	1.55c	2.32c	0.076c	0.156c	0.206c	1.14c	2.94b	2.44b

* Los promedio de niveles ó modalidades del mismo factor identificadas con letras iguales no son esta -
dísticamente diferentes (Nivel de significancia del 5%)

TABLA 14.. Promedios generales y coeficientes de variación de las variables: porcentajes de nitrógeno fósforo y potasio en raíces (NR, PR, y KR), tallos (NT, PT, y KT) y hojas (NH, PH, y KH), peso seco de raíces/m² (PSR/m²) peso seco de tallos/m² (PST/m²), peso seco de hojas/m² (PSH/m²), peso seco total/m² (PSTOT/m²), tasa de crecimiento (TCr), índices de área foliar en la primera y segunda cosecha (IAF1 e IAF2), índice de área foliar promedio (IAFP), e intercepción de luz (IL).

	NR	NT	NH	PH	PT	PH	KR	KT	KH
Promedio general	1.17	1.80	2.53	0.08	0.017	0.23	1.45	3.45	2.58
Coefficiente de variación (%)	9.6	7.7	5.8	15.0	8.4	6.0	11.3	11.0	6.0
	PSR/m ²	PST/m ²	PSH/m ²	PSTOT/m ²	TCr	IAF1	IAF2	IAFP	IL
Promedio general	20.76	180.80	170.61	405.42	157.75	2.16	6.48	4.32	65.1
Coefficiente de variación (%)	20.4	14.0	13.3	13.6	16.1	11.7	11.9	9.4	3.1

TABLA 15. Promedios de las variables peso seco/m² de raíces tallos, hojas, y toda la planta (PSR/m², PST/m², PSH/m², y PSTOT/m²) y porcentaje de raíces, tallos y hojas con respecto al peso seco total/m² (PPR, PPT y PPH).

C	N	D	Peso seco/m ²				% del PSTOT/m ²		
			PSR/m ²	PST/m ²	PSH/m ²	PSTOT/m ²	PPR	PPT	PPH
1	A	1	4.6	19.5	30.1	50.3	9.1	34.2	60.3
		2	9.3	40.1	61.6	111.0	8.3	36.0	55.6
		3	13.2	51.7	109.3	186.0	7.0	34.8	59.2
		4	16.7	91.6	45.7	247.6	6.7	36.8	59.0
		5	18.0	110.0	190.6	320.0	5.6	34.6	59.5
	B	1	3.4	14.4	22.15	40.1	8.4	36.0	60.9
		2	6.4	28.3	47.5	81.8	7.7	35.2	58.3
		3	10.9	55.4	90.4	156.6	7.0	35.3	57.8
		4	13.8	76.5	151.9	222.8	6.2	34.6	59.5
		5	16.8	93.6	163.4	272.8	6.0	34.2	58.7
2	A	1	24.8	159.2	134.6	298.1	8.2	53.4	45.2
		2	30.8	250.8	237.5	521.7	6.3	48.0	45.5
		3	35.7	321.8	322.0	679.5	5.2	47.5	47.6
		4	39.8	410.2	433.0	867.2	4.6	47.3	50.4
		5	28.2	438.0	505.6	988.0	2.8	46.0	51.1
	B	1	22.3	142.5	126.4	291.0	7.6	48.8	43.5
		2	27.5	219.1	207.6	454.1	5.8	48.2	45.7
		3	29.6	292.3	321.3	643.0	4.6	45.5	49.5
		4	33.8	352.0	399.6	772.4	4.3	45.5	51.6
		5	23.9	415.6	455.0	908.8	2.9	45.7	49.8

C = Cosecha N = Nivel de fertilización D = Densidad de siembra

TABLA 16 . Promedios de los porcentajes de nitrógeno, fósforo y potasio de raíces (NR, PR, Y KR), tallos (NT, PT, y KT), hojas (NH, PH, KH).

C	N	D	NR	NT	NH	PR	PT	PH	KR	KT	KH
1	A	1	1.7	2.7	4.0	0.12	0.29	0.31	1.3	5.9	3.4
		2	1.5	2.8	3.2	0.12	0.26	0.29	2.1	5.9	3.3
		3	1.5	2.5	3.2	0.10	0.22	0.25	1.8	4.8	2.8
		4	1.3	2.2	2.7	0.08	0.20	0.23	1.8	5.1	3.1
		5	1.2	2.1	2.7	0.08	0.20	0.21	1.5	4.4	2.9
	B	1	1.8	2.9	3.2	0.11	0.27	0.27	2.2	5.9	3.5
		2	1.7	2.8	3.2	0.10	0.27	0.27	2.1	5.8	3.3
		3	1.4	2.4	2.9	0.09	0.23	0.23	1.6	4.7	2.8
		4	1.3	2.4	2.8	0.09	0.23	0.23	1.5	4.6	2.9
		5	1.2	2.1	2.7	0.07	0.19	0.20	1.3	3.9	2.7
2	A	1	1.1	1.3	2.2	0.09	0.01	0.22	1.5	2.3	2.1
		2	0.9	1.2	2.2	0.07	0.10	0.23	1.3	2.1	2.1
		3	0.9	1.0	2.0	0.09	0.09	0.22	1.1	1.8	2.0
		4	0.7	0.9	2.0	0.98	0.10	0.22	0.8	1.5	1.9
		5	0.7	1.0	2.1	0.08	0.12	0.22	1.0	2.0	2.2
	B	1	1.0	1.3	2.3	0.07	0.10	0.22	1.4	2.2	2.0
		2	0.8	1.0	2.1	0.06	0.09	0.21	1.0	1.6	2.0
		3	0.7	0.9	2.0	0.06	0.08	0.19	0.8	1.1	1.9
		4	0.6	0.8	1.9	0.06	0.09	0.19	0.7	1.3	1.9
		5	0.6	0.8	1.8	0.06	0.10	0.18	0.7	1.4	1.9

C = Cosecha N = Nivel de fertilización D = Densidad de siembra.

TABLA 17. Promedios de las variables tasa de crecimiento(TCr), índice de área foliar de la primera y segunda cosechas (IAF1 e IAF2), porcentaje de luz interceptada (IL), y luz no interceptada (I/Io).

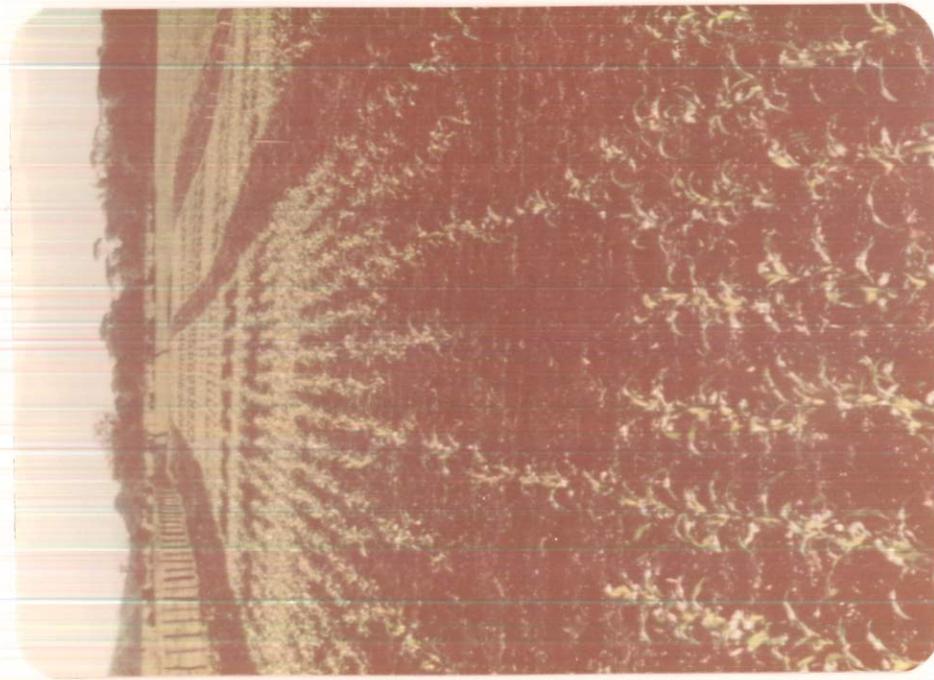
Nivel	Densidad	TCr ² gr/m ² semana	IAE1	IAF2	IAFP	IL %	I/Io *
A	1	83.0	0.6	2.1	1.4	33.5	0.66
	2	137.0	1.2	3.9	2.6	51.0	0.49
	3	172.0	2.1	6.1	4.1	70.0	0.30
	4	193.0	3.1	9.2	6.1	82.0	0.18
	5	223.0	4.5	12.0	8.3	86.0	0.14
B	1	84.0	0.5	2.0	1.3	37.0	0.63
	2	124.0	1.0	3.7	2.3	56.0	0.44
	3	162.0	1.9	6.4	4.2	73.5	0.26
	4	183.0	2.9	8.5	5.6	77.0	0.23
	5	211.0	4.1	10.8	1.5	84.5	0.15

* I_o = intensidad de la luz que recibe el follaje.

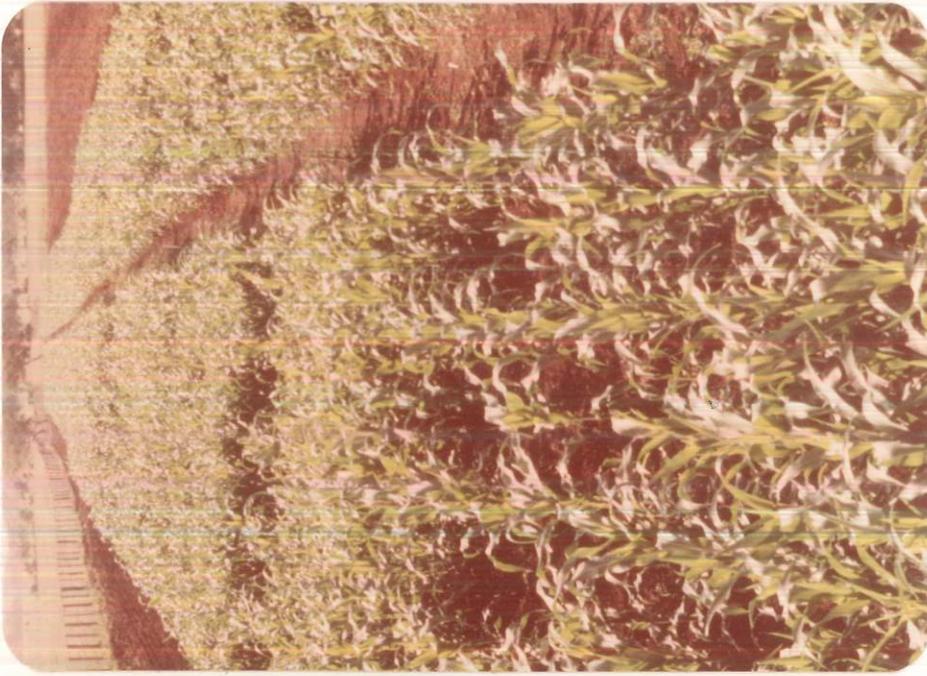
I = intensidad de la luz que recibe el suelo.

TABLA 18. Promedios de los porcentajes del nitrógeno, fósforo y potasio totales/m² distribuidos en las raíces (PNR, PPR, y PKR), tallos (PNT, PPT, y PKT) y hojas (PNH, PPH, y PKH).

C	N	D	PNR	PNT	NPH	PPR	PPT	PPH	PKR	PKT	PKH
1	A	1	4.9	33.7	61.7	5.5	35.0	53.1	4.3	50.5	45.1
		2	4.9	34.6	60.3	4.0	35.3	60.5	4.3	51.6	44.0
		3	4.2	33.0	62.5	3.4	36.0	60.0	4.1	49.5	46.5
		4	3.5	32.7	63.7	2.8	4.3	62.8	3.1	49.0	47.7
		5	2.9	30.3	66.7	2.5	35.6	61.8	2.5	45.6	51.8
	B	1	5.0	35.0	60.0	3.8	37.9	58.2	4.5	49.8	45.6
		2	4.4	33.7	61.8	3.3	36.5	60.1	4.5	50.0	45.4
		3	3.8	32.6	63.6	3.1	36.8	60.0	3.3	48.3	48.3
		4	2.8	29.1	68.0	2.3	35.7	61.9	2.9	41.3	55.6
		5	3.0	29.9	67.0	2.2	34.4	62.2	2.7	43.1	54.1
2	A	1	5.1	39.1	55.6	3.6	33.7	62.6	5.6	53.0	51.3
		2	3.5	36.4	60.0	2.0	30.5	66.5	3.8	49.4	46.7
		3	3.0	33.3	63.6	3.0	27.3	69.7	3.2	45.4	51.3
		4	2.1	29.4	68.4	2.3	29.4	68.3	2.2	41.6	56.0
		5	1.4	30.2	68.4	1.3	30.7	67.9	1.4	44.0	54.5
	B	1	4.6	37.4	58.0	3.8	33.7	62.5	5.1	52.1	42.7
		2	3.4	30.4	64.1	2.5	30.3	67.1	3.7	44.2	52.0
		3	2.4	28.3	69.2	2.0	27.1	70.3	2.4	37.3	60.2
		4	2.0	26.6	71.3	1.8	28.9	69.2	1.9	37.5	60.5
		5	1.3	30.2	68.5	1.1	33.2	65.6	1.1	39.5	59.3



A



B

FIGURA 23. Aspectos del experimento : A) a los ocho días y B) a los treinta días.



A



B

FIGURA 23. Aspecto de las plantas en las parcelas con densidades de 20.000 plantas/ha (A) y 320.000 plantas/ha (B)



A



B

FIGURA 25. Procesamiento de las muestras: A) Fraccionamiento y B) mollienda