

Respuesta a la Densidad, Rendimiento Máximo y Eficiencia del Rendimiento de Maíz 'Olotón' en los Altos de Chiapas, México¹

L. García-Barrios*, J. Kohashi**

ABSTRACT

Density trials comprising 2 to 10 plants m⁻² were undertaken with *Zea mays* L. var. Olotón in order to quantify density effects on plant growth and development, plant form, dry matter production, leaf area, and components of grain yield. Estimates of maximum yield, leaf area index, and yield efficiency when grown in a favorable environment were obtained to evaluate potentialities and constraints in this indigenous race for the purpose of monocropping and intercropping. Carmer and Jackobs' (1965) density tolerance parameter (K) was estimated for grain production, and extended to other plant parts and efficiency indexes. Grain production was the variable most affected by increasing density, mainly because of a reduction or loss of secondary ears, while leaf area was the least affected. Maximum yield in favorable agronomical conditions was relatively high (7.1 t ha⁻¹), but was achieved with very low harvest (0.22) and yield efficiency indexes (1.22 g of grain per dm² of leaf area), and with a very high leaf area index (5.18). We discuss its possible causes and different management and selection options which could increase yield efficiency.

RESUMEN

Se incrementó sistemáticamente la densidad de población de *Zea mays* L. var. Olotón desde dos hasta diez plantas por metro cuadrado en condiciones ambientales muy favorables de cultivo y se estudiaron los efectos sobre la fenología, el crecimiento, la producción de materia seca aérea, la forma de la planta en el área foliar y en los componentes del rendimiento de grano. Se estimó, además, el rendimiento, el índice del área foliar y los índices de eficiencia de esa raza. Se determinó, para cada órgano y para los índices de eficiencia, el parámetro de tolerancia a la densidad (K) del modelo de Carmer y Jackobs (1965). La variable menos afectada fue el área foliar; la más afectada, el rendimiento de grano. El rendimiento máximo de grano en condiciones ambientales favorables fue de 7.1 t por hectárea. El índice de cosecha (0.22 g) y la eficiencia del rendimiento (1.22 g.dm² de grano de área foliar) fueron bajos, y el índice de área foliar excesivo (5.18 g). Se discuten las posibles causas de esa baja eficiencia y algunas opciones para elevarla mediante selección y manejo del grano.

Palabras-clave: *Zea mays* var. Olotón, densidad, eficiencia, rendimiento, evaluación, variedades criollas.

INTRODUCCIÓN

Las características fenológicas, morfológicas y fisiológicas de las variedades criollas de maíz, cultivadas por los campesinos indígenas de México en parcelas de ladera, han sido poco estudiadas. De ellas dependen las capacidades y limitaciones para

la producción de la planta (García *et al.* s.f.; García-Barrios y Kohashi s.f.).

Las variedades de maíz se evalúan comúnmente por su rendimiento, aunque pueden y deben evaluarse también por la economía con que se usan diversos recursos para alcanzar ese rendimiento. Para eso, son útiles los siguientes índices (Elsahookie y Wasson 1984; Evans 1972; Hunt 1982; Radford 1967):

¹ Recibido para publicar el 22 de diciembre de 1992. Los autores agradecen el apoyo y la generosidad de los pobladores de Bautista Chico, Chamula, quienes brindaron su semilla; asimismo a E. Betanzos, L. Hernández, J. Díaz, A. Martínez, J. Franco, D. Hernández, A. Hernández, F. Martínez, H. Plascencia, B. Díaz, J. Díaz, M. Parra, L. Pool, A. Márquez, T. Ramos, A. Dorcé, L. Dorcé, J. Franco, S. Meza, M. González, V. González, M. Franco, P. Quintana y C. Gutiérrez; y al revisor técnico de este artículo por sus valiosas sugerencias.

* Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste; Apartado Postal 63, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, C. P. 29200

** Centro de Botánica, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Estado de México. C. P. 56230, Méx.

- Índice de cosecha (IC) = Peso de grano x 100/peso de materia seca aérea.
- Eficiencia del rendimiento (ER) = Peso de grano/área foliar en anthesis.
- Relación de área foliar (RAF) = Área foliar en anthesis/peso de materia seca aérea.

Si en la densidad óptima se observa un alto valor de IC, la variedad tendrá ventajas para la producción de grano en monocultivo, por su economía en la producción de materia seca aérea (MSA), y, por lo tanto, en el

uso de agua y nutrimentos. Si, además, presenta altos valores de ER, tendrá ventajas para la producción de grano en policultivo por su economía en la producción de área foliar (AF) y MSA, pues aumenta la disponibilidad de luz, agua y nutrimentos para las especies asociadas.

EIIC y la ER en la densidad óptima dependen de su valor en la planta sin interferencia y de su tolerancia a la densidad. Este cambio en los índices de eficiencia se relaciona con el distinto efecto de la densidad sobre los órganos de la planta, el que a su vez es diferente entre las variedades de maíz (García-Barrios s.f.).

Para estudiar el efecto diferencial de la densidad sobre los órganos de 'Olotón' se eligió un modelo que, sin tener la flexibilidad de algunos modelos inversos (Willey y Heath 1969), posee la ventaja de que la respuesta del peso de la planta o sus partes a la densidad se expresa en un parámetro único (K), para facilitar los análisis comparativos en este caso. Se trata del modelo propuesto por Duncan (1983), Willey y Heath (1969) y formalizado por Carner y Jackobs (1965) en las siguientes ecuaciones:

$$P = (A_{\text{grano}})(K_{\text{grano}})N_{\text{.....}} \text{ (ec. 1)}$$

$$R = (N)(A_{\text{grano}})(K_{\text{grano}})N_{\text{.....}} \text{ (ec. 2)}$$

donde:

- P= Producción de grano por planta
 R= Producción de grano por metro cuadrado.
 N= Número de plantas por metro cuadrado.
 A_{grano} = Producción de grano de la planta en ausencia de interferencia
 K_{grano} = Constante de proporcionalidad que indica la capacidad de la planta para mantener la producción de grano al incrementarse la densidad. (K_{grano} toma valores entre cero y uno; cuanto más cercano a 1, mayor tolerancia a la densidad).

Se derivó una ecuación adicional de estos modelos para el propósito de este estudio:

$$N_{\text{óptima}} = -1/\text{Ln}(K_{\text{grano}}) = \text{Número de plantas por metro cuadrado en el cual se alcanza el rendimiento máximo de grano.}$$

Estas ecuaciones pueden aplicarse satisfactoriamente a otros órganos de la planta, área foliar e índices de eficiencia.

Los objetivos de este estudio fueron: Determinar el efecto de la densidad de población en condiciones ambientales favorables sobre la fenología, la materia seca de la porción aérea de la planta, las variables foliares, los componentes del rendimiento de grano y los índices de eficiencia de la planta de *Zea mays* var. Olotón; estimar el rendimiento máximo de MSA y grano del cultivo y la eficiencia de elaboración del rendimiento de grano; e inferir algunas aptitudes y limitaciones de la raza para su manejo en monocultivo o policultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El maíz criollo 'Olotón' fue llevado a México desde los altos de Guatemala antes del Descubrimiento de América (Wellhausen *et al.* 1951). Presenta mazorcas medianas o largas con abultamiento común en la base y raquis muy grueso. Su distribución en México en su forma más pura se restringe a los Altos y a la Sierra Madre de Chiapas, a alturas entre 2000 msnm y 2400 msnm (Wellhausen *et al.* 1951). La investigación se realizó en 1987, en San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, altitud: 2130 msnm; precipitación media anual: 1187 mm; temperatura media anual: 14 °C; clima $Cw_2(w)bi$ (García 1973).

Se usó la variedad amarilla de esta raza, identificada por el Dr. Efraím Hernández. Se exploraron cinco densidades (2, 4, 6, 8 y 10 plantas por metro cuadrado) en un diseño de cinco bloques en los que se distribuyeron al azar los tratamientos. Se sembraron las plantas en cepas individuales. Se mantuvo constante la distancia entre surcos (80 cm) y se redujo la distancia entre cepas. La siembra se hizo el 10 de abril. Se fertilizó con 150 N-100 P_2O_5 -60 K_2O ; a los 15 días se aplicó el fósforo y el potasio, y un tercio del nitrógeno; a los 56 días, el otro tercio de N y a los 100 días, el restante. Durante el ciclo, se mantuvo la disponibilidad de agua en el suelo sobre un 25% de humedad aprovechable mediante un riego previo a la siembra y cuatro de auxilio al temporal. El cultivo se mantuvo libre de arvenses mediante deshierbes y de plagas por medio de aplicaciones periódicas de insecticidas al suelo y al follaje. Se lograron condiciones ambientales muy favorables y se obtuvo un plantío uniforme.

En cada etapa fenológica explorada (4 hojas, 7 hojas y 14 hojas liguladas, anthesis femenina, grano lechoso y madurez fisiológica), se tomaron al azar 10 plantas con competencia completa (dos por bloque), y

se determinó el peso seco de los órganos de su porción aérea. El área foliar se midió con un integrador electrónico (Portable Area Meter LI-COR 43000). Se obtuvieron la longitud y el diámetro del tallo, el número de hojas, así como la cantidad, posición, dimensiones y componentes del rendimiento de las mazorcas.

En el muestreo final (madurez fisiológica) se incrementó a 20 el número de plantas cosechadas por cada densidad. El peso del grano se evaluó como peso seco y peso comercial al 12% de humedad. Para el estudio de fenología se eligieron al azar 25 plantas por densidad (cinco en cada bloque) y se observó semanalmente la exposición de las hojas, la floración y el desarrollo del grano.

La producción de MSA de la planta puede expresarse como el producto del área foliar integrada (AFI) y la tasa en promedio de asimilación neta del área foliar (TAN). El AFI es el área bajo la función de crecimiento del AF, desde la siembra hasta la madurez fisiológica; se expresa en decímetros cuadrado al día (García-Barrios y Kohashi s.l.). Para calcular el AFI de cada tratamiento, se integraron las funciones de crecimiento del área foliar mediante la regresión contra el tiempo del AF promedio presente en cada estadio fenológico. Para todas las densidades, el crecimiento del AF se ajustó a una función logística: $r^2 > 0.81$ y la pérdida de AF postanthesis se ajustó a una función exponencial: $r^2 > 0.97$ (García-Barrios y Kohashi s.l.).

La TAN midió el aumento neto que tuvo en promedio la MSA al día por cada decímetro cuadrado de AF expuesta; se expresó en gramos por decímetro cuadrado (Evans 1972). La TAN promedio se estimó como MSA total/AFI. La MSA incluyó los fragmentos de espiga masculina y las hojas desprendidas de la planta.

Mediante un análisis de regresión (Batschelet 1979), se estimaron los valores de A y K para las variables: peso de cada órgano, área foliar, MSA total, MSA en pie, AFI, TAN, RAF, IC y ER. Se hizo la comparación estadística entre las K (Zar 1984).

Se compararon los índices de eficiencia del maíz 'Olotón' y su respuesta a la densidad, con los de otras variedades de maíz de zonas templadas consideradas de alta eficiencia y rendimiento. Para ello se estimaron los valores de A_{af} , K_{af} , A_{grano} , K_{grano} , A_{er} , K_{er} , el rendimiento máximo y los índices de área foliar de 16 variedades mejoradas, cultivadas en condiciones favorables de humedad y nutrientes, para las cuales se

encontró la información pertinente en la literatura (Elsahookie y Wasson 1984; Tanaka y Yamaguchi 1977; Tetio-Kagho y Gardner 1988ab; Tollenar y Bruuselman 1988). Los parámetros se calcularon con base en los promedios consignados por los autores en cuadros y figuras. En todos los casos, el ajuste a los modelos utilizados en este estudio (ecuaciones 1 y 2) fue satisfactorio ($p < 0.01$; $r > 0.96$). Se comparó también la proliferación de la producción de mazorcas de 'Olotón' con la descrita en la literatura para algunas variedades mejoradas (Buren *et al.* 1974; Colville 1962; Dungan *et al.* 1958; Giesbrecht 1969; Karim *et al.* 1983; Milbourn *et al.* 1978; Prior y Russell 1975; Stinson y Moss 1960)).

RESULTADOS

Respuesta de la planta al incremento en densidad

Los resultados empezaron a manifestarse al principio del llamado período vegetativo activo (Tanaka y Yamaguchi 1977), en la fase entre la séptima y la decimocuarta hoja ligulada. A partir de la decimocuarta hoja, el abatimiento relativo de la MSA en pie fue similar en todos los estadios (Fig. 1). En las hojas liguladas cuarta y séptima, el valor de K no es significativamente distinto de 1, i.e.; y todavía no hay interferencia entre plantas.

Los cambios observados en las variables fenológicas, morfológicas y de crecimiento estudiadas, al aumentar la densidad poblacional de dos plantas a diez plantas por metro cuadrado, fueron los siguientes:

- Período de llenado del grano en cinco días.
- Tasas de crecimiento absoluto y relativo de la materia seca de la porción aérea y, en menor medida, las del área foliar.
- Diámetro del tallo (Fig. 2).
- Tasa de exposición de hojas (filocrón).
- Área foliar en antesis; en menor medida que el peso de los órganos vegetativos y del peso de grano (Fig. 3).
- Área foliar integrada (Fig. 4).

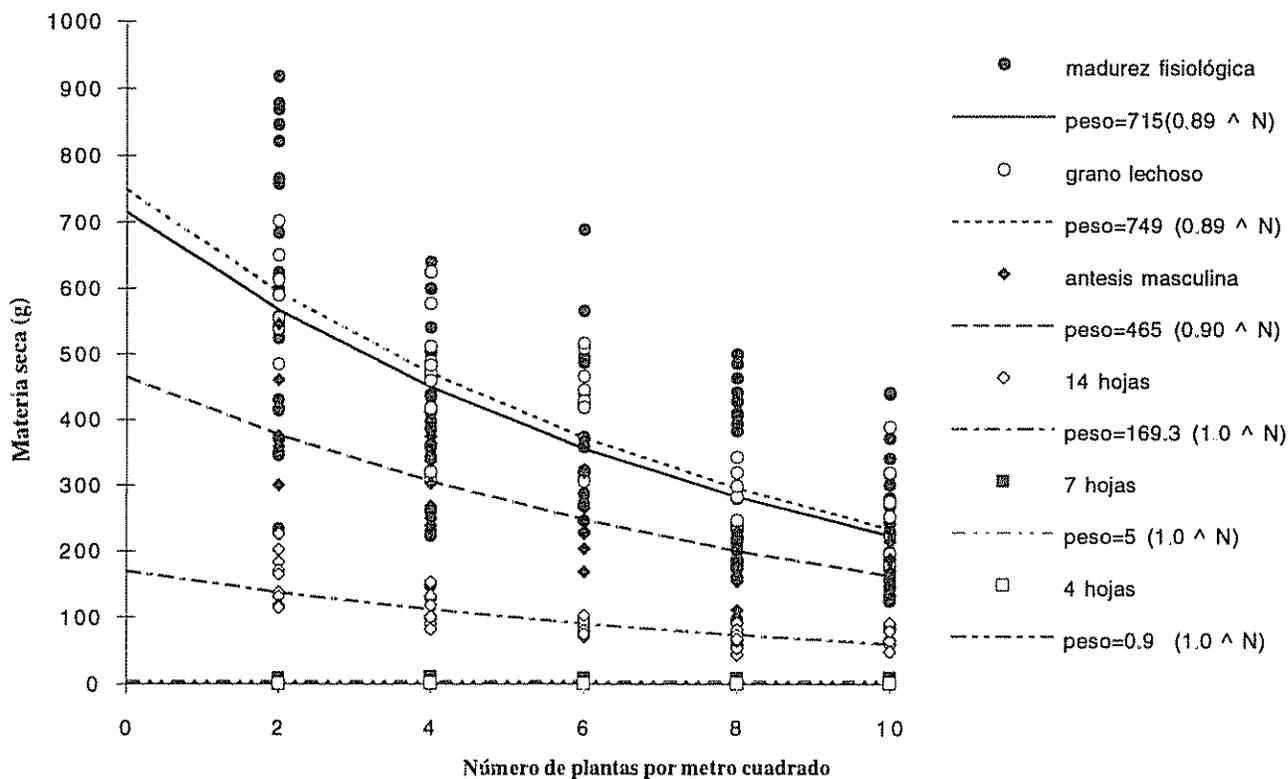


Fig. 1. Efecto del número de plantas por metro cuadrado (N) sobre MSA en pie en sus estadios fenológicos.

Nota: En cada estadio N = 50; madurez fisiológica n = 100

Valores de KMSA en los estadios siguientes no fueron estadísticamente diferentes (P = 0.05).

- Tasa de asimilación neta (Fig. 4).
 - Peso de los distintos órganos vegetativos. El parámetro de tolerancia a la densidad (K) no difirió entre estos órganos (Fig. 5).
 - Peso de los órganos que forman la mazorca. El parámetro de tolerancia a la densidad (K) fue diferente entre las mazorcas superior e inferior, pero no entre los órganos de cada mazorca (Fig. 6).
 - Frecuencia de plantas con dos o más mazorcas (Cuadro 3).
 - Frecuencia de plantas sin mazorca (0.5% a 8.7%).
 - Porcentaje de la superficie del raquis cubierta por granos (94% a 75% en las mazorcas superiores y 83% a 60% en las inferiores).
 - Componentes del rendimiento de grano, excepto el peso promedio de un grano (Cuadro 1).
 - Índices de eficiencia del rendimiento (Fig. 7).
 - Índice de cosecha (Fig. 7).
- Se incrementaron la duración del periodo vegetativo en siete días; el desfase entre la floración masculina y la femenina en un día; la altura del tallo hasta la lígula de la última hoja (Fig. 2); la altura de la mazorca superior; la proporción de plantas acanadas por el viento (2 % a 17%); la velocidad de pérdida de área foliar, sobre todo a partir del estadio de grano lechoso; la proporción de MSA asignada a las láminas foliares (21.7% a 25.9 %), incremento marginalmente significativo (p=0.10); el área específica foliar (AEF) en antesis (1.21 dm² a 1.85 dm² de AF por gramo de lámina foliar); la razón del área foliar (Fig. 7).

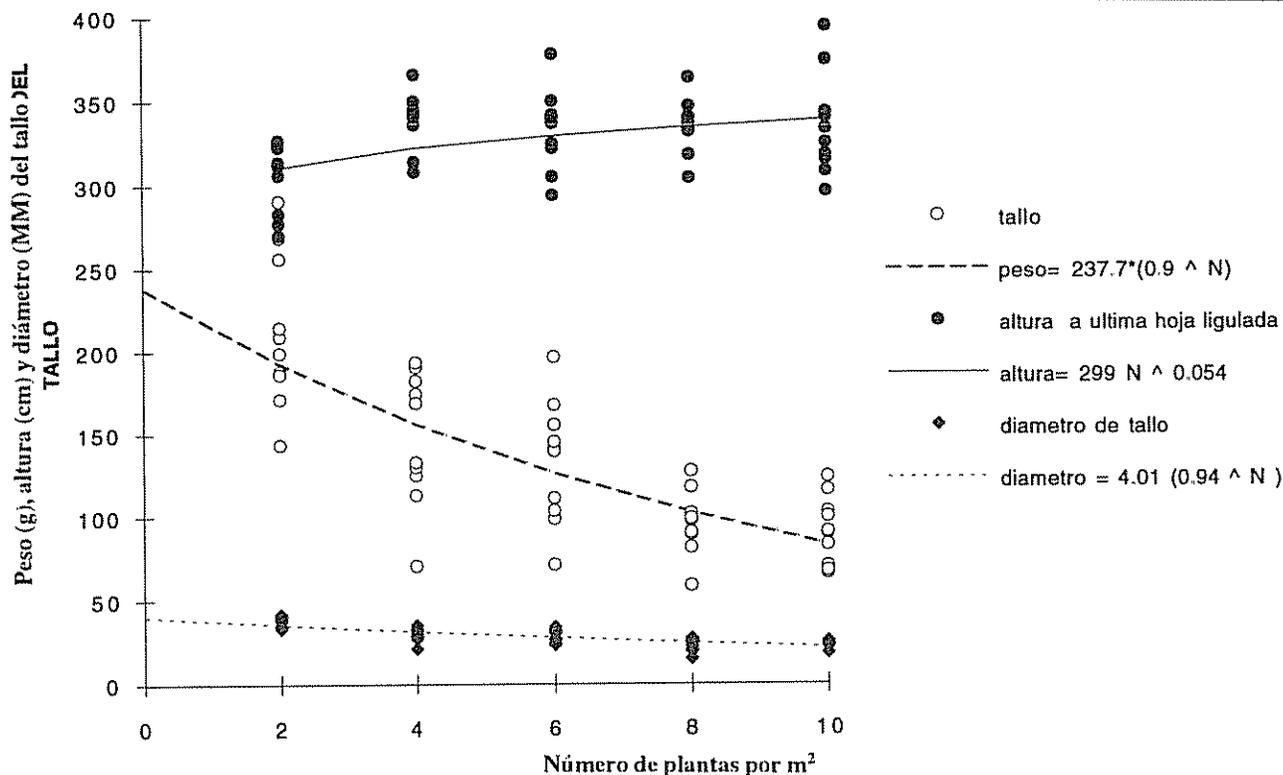


Fig. 2. Efecto del número de plantas por metro cuadrado sobre la altura del tallo (cm) hasta la lígula de la última hoja; el diámetro del tallo (mm) en el décimo entrenudo; el peso del tallo (g) en antesis.

Nota: Para la altura se ajustó un modelo potencial aNb en el que N = número de plantas por metro cuadrado. Para cada variable n = 50

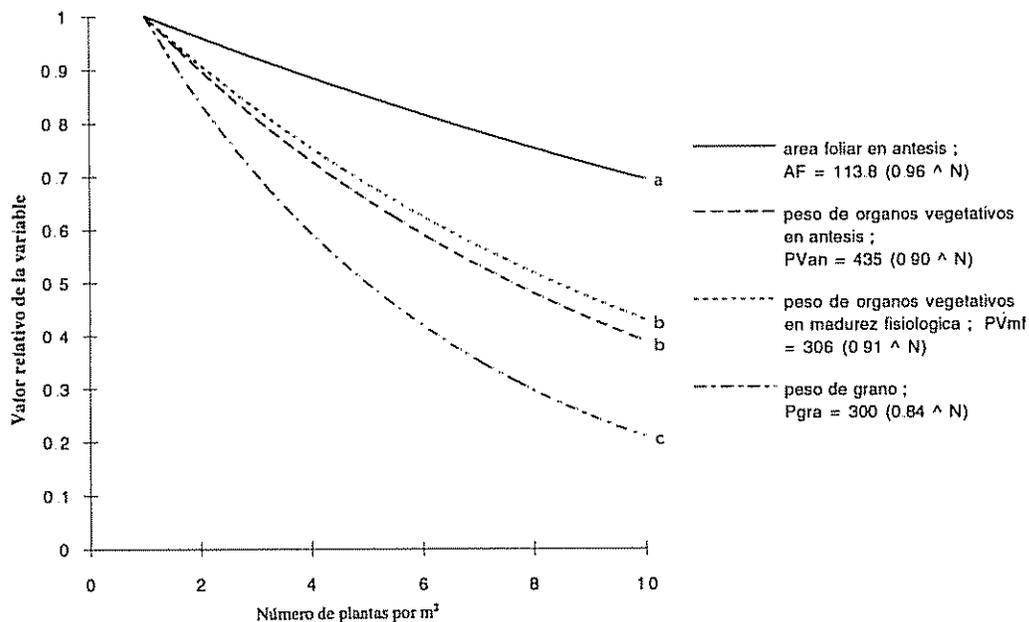


Fig. 3. Respuesta del área foliar (Af), del peso seco de órganos vegetativos en madurez fisiológica (PVmf) y del peso seco del grano a la densidad.

Nota: Para comparar las respuestas de las cuatro variables, se expresa el efecto de la densidad en forma relativa; y, respecto de sus valores a la densidad estándar de una planta por metro cuadrado, en el margen derecho de la figura se dan las funciones de (N) que define los valores absolutos de estas cuatro variables. Funciones con distinta letra tienen valores K, significativamente distintos a $P > 0.01$

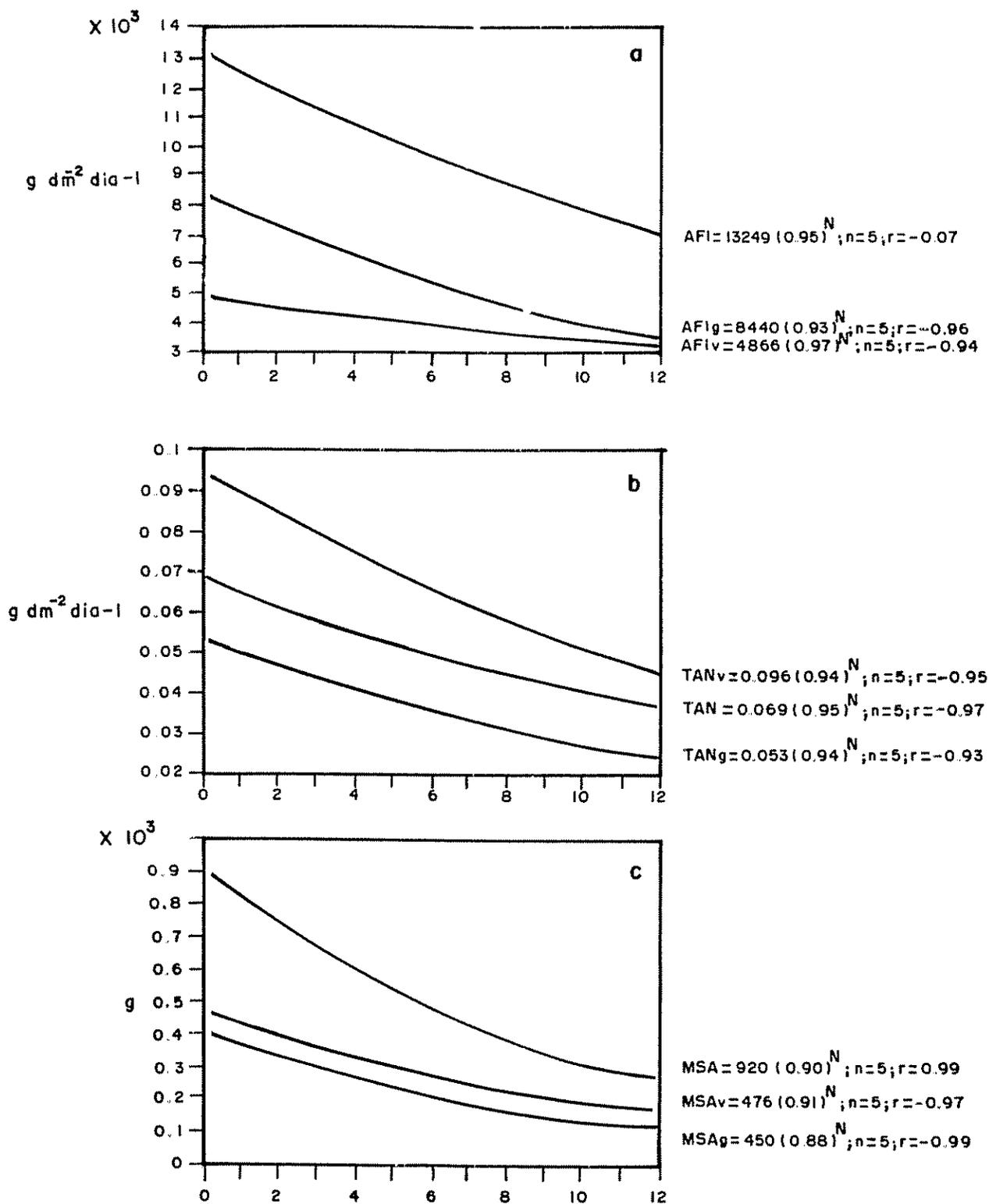


Fig. 4. Efecto del incremento en el número de plantas por metro cuadrado sobre el área foliar integrada (AFI); la tasa media de asimilación neta (TAN) y la materia seca de la porción aérea de la planta individual (MSA).

Nota: Se presentan los valores para todo el ciclo y para los períodos (v) y de llenado del grano (g) por separado.

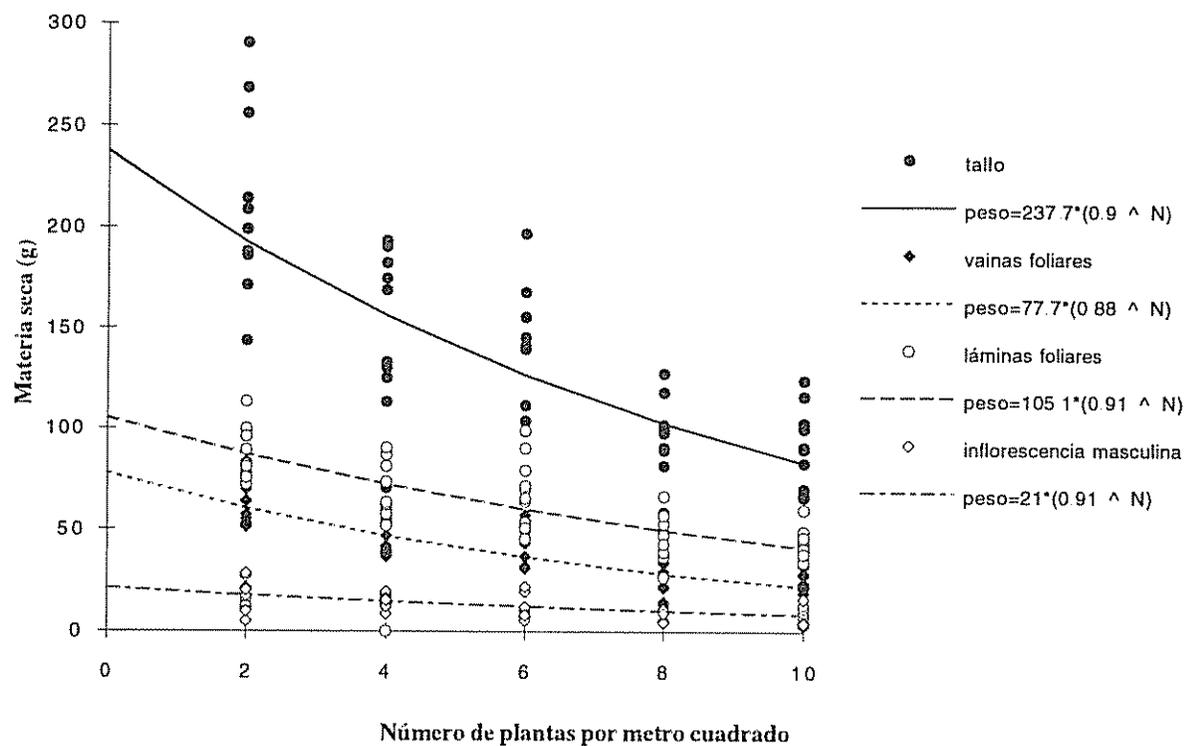


Fig. 5. Efecto del número de plantas por metro cuadrado (N) sobre el peso de los órganos vegetativos aéreos y la espiga masculina en el estadio de anthesis.

Nota: Para cada variable n = 50. Los valores de K de estos órganos no fueron estadísticamente diferentes entre sí.

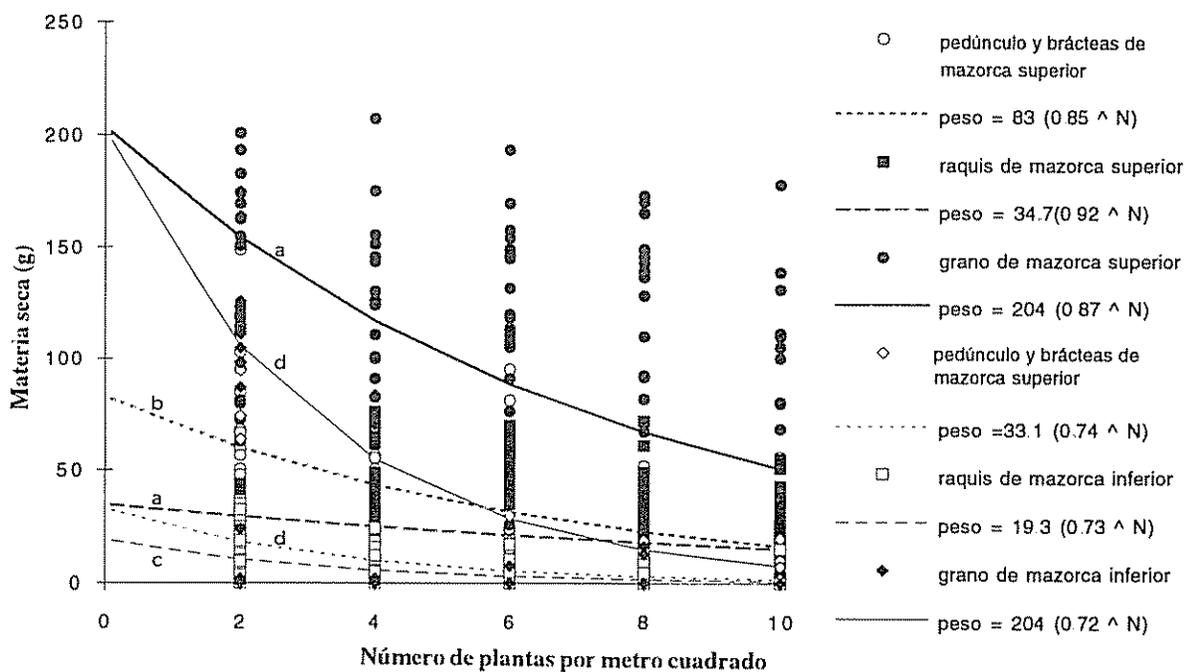


Fig. 6. Efecto del número de plantas por metro cuadrado (N) sobre el peso (g) del grano, el raquis y el pedúnculo con las brácteas en el estadio de madurez fisiológica.

Nota: Se presentan modelos para la(s) mazorca(s) superior(es) e inferior(es). Para cada variable n = 100. Las curvas señaladas con distinta letra tuvieron parámetros K, estadísticamente diferentes.

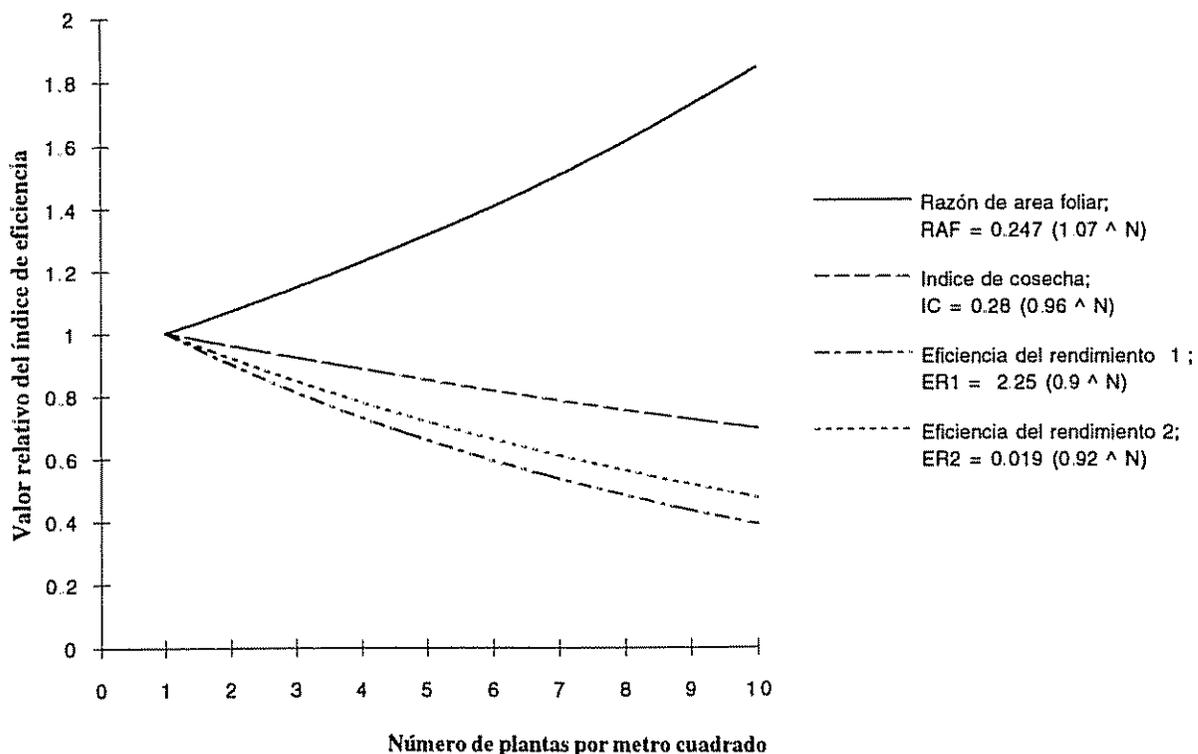


Fig. 7. Efecto del número de plantas por metro cuadrado (N) sobre los índices de eficiencia de la planta: Razón del área foliar; índice de cosecha; eficiencia del rendimiento 1 (gramos de grano por decímetro cuadrado de área foliar en antesis); eficiencia de rendimiento 2, expresada como gramos de grano por unidad de área foliar integrada.

Nota: En el caso de la razón del área foliar, el tamaño de muestra para la regresión fue 50; en los otros casos, la estimación de los parámetros se hizo con los valores en promedio de cada densidad (n = 5).

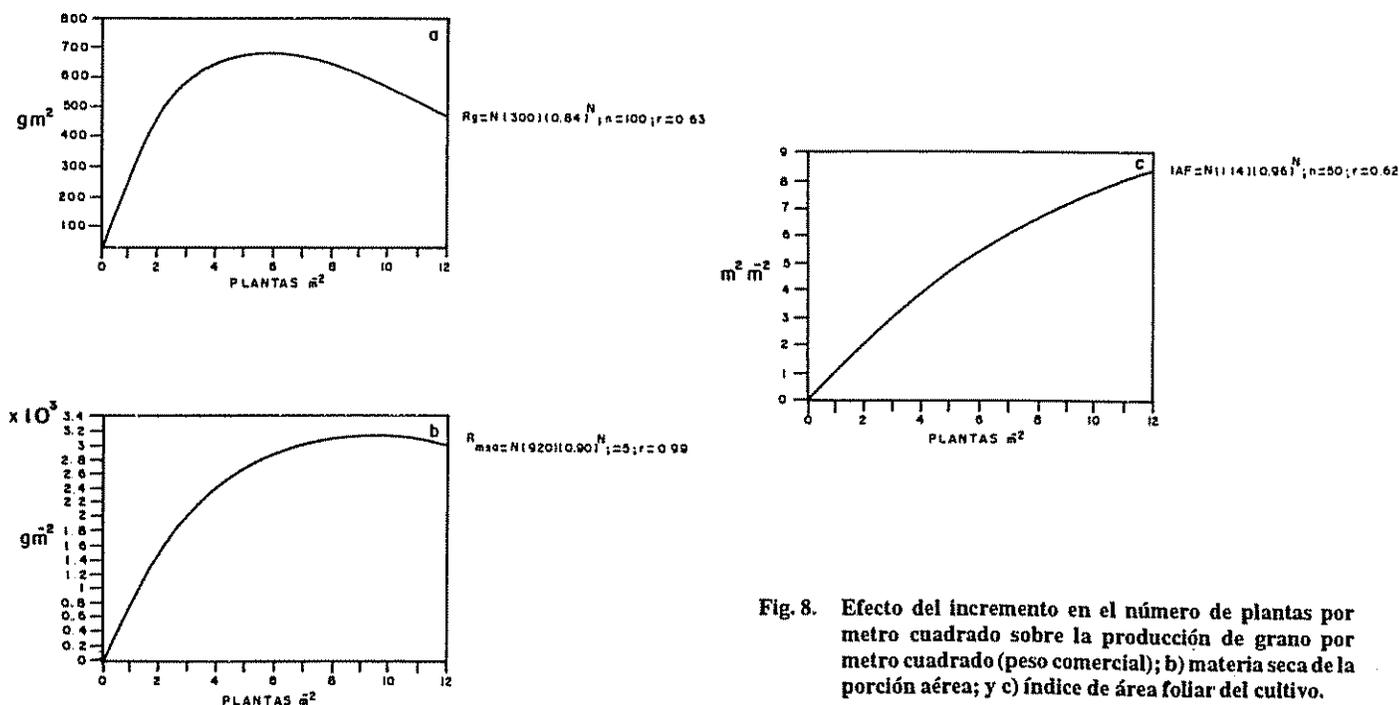


Fig. 8. Efecto del incremento en el número de plantas por metro cuadrado sobre la producción de plantas por metro cuadrado (peso comercial); b) materia seca de la porción aérea; y c) índice de área foliar del cultivo.

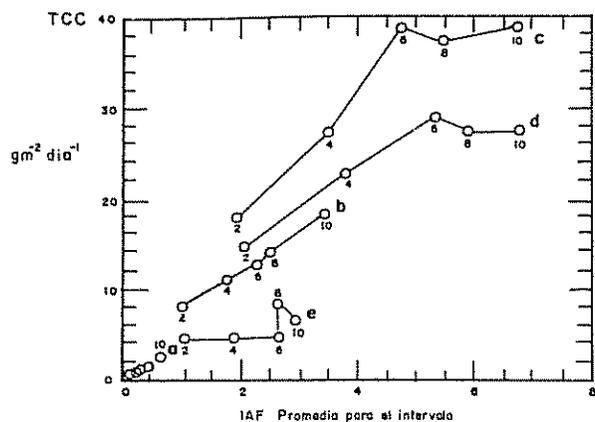


Fig. 9. Tasas de crecimiento del cultivo (TCC) entre distintos estadios fenológicos, en función de la IAF promedio para el intervalo: a) cuarta a séptima hoja ligulada; b) séptima a decimocuarta hoja ligulada; c) decimocuarta hoja a antesis femenina; d) antesis femenina a grano lechoso; y e) grano lechoso a madurez fisiológica.

No hubo modificaciones en el número de hojas; el patrón de distribución del área foliar en el eje vertical de la planta; el número de hileras de granos en la mazorca inferior (Cuadro 1) y en el peso promedio de un grano (Cuadro 1).

Cultivo: Consecuencias sobre rendimiento y eficiencia de elaboración de rendimiento

En el Cuadro 2 y la Fig. 8 se presentan las estimaciones del rendimiento máximo de grano y de MSA, y las densidades en que se obtienen. Se exhiben el índice de área foliar (IAF) y su relación con el rendimiento máximo de grano, así como la tasa máxima y la tasa promedio de crecimiento del cultivo (TCC)

Debido a la alta tolerancia del área foliar a la densidad, el IAF creció rápidamente al aumentar el número de plantas por metro cuadrado hasta alcanzar $7.6 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ como valor. La TCC respondió a este incremento, pero hasta valores del IAF entre 4.5 m^2 y $5.5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ (Fig. 9).

Cuadro 1. Efecto del número de plantas sobre algunos componentes del rendimiento del grano.

Número de plantas por metro cuadrado	Peso seco promedio (g)	Número de granos por hilera	Número de hileras por mazorca	Número promedio de mazorcas por plantas
Mazorca superior				
2	0.36 a	29.9 a	12.4 a	1.00 a
4	0.50 a	25.5 ab	10.7 ab	0.95 a
6	0.34 a	27.8 ab	10.8 ab	1.00 a
8	0.30 a	25.5 ab	11.0 ab	1.00 a
10	0.31 a	23.1 b	10.3 b	0.90 a
Mazorca inferior				
2	0.36 a	26.1 a	10.8 a	0.70 a
4	0.32 a	16.8 b	9.0 a	0.35 b
6	0.33 a	15.0 b	10.0 a	0.10 c
8	0.15 b	15.3 b	9.1 a	0.15 c
10	0.23 a	17.0 b	10.0 a	0.05 c

Nota: Cada valor es la media de 20 observaciones. Para cada componente del rendimiento y tipo de mazorca se señalan con diferente letra las medias estadísticamente distintas (Prueba HSD de Tukey, $P = 0.05$).

Cuadro 2. Valor de las variables de crecimiento, rendimiento y eficiencia del rendimiento del maíz 'Olotón' a nivel de cultivo.

Tipo de variable	Valor
Rendimiento máximo de MSA	3 210.2 g m ⁻² (peso seco)
Densidad óptima para MSA	9.49 planta por metro cuadrado
Rendimiento máximo de grano	709 g m ⁻² al 12% de humedad
Densidad óptima para grano	5.74 plantas por metro cuadrado
Rendimiento de MSA en la densidad óptima para grano	2880.4 g m ⁻² (peso seco)
Rendimiento de esquilmos útiles como forraje en la densidad óptima para grano	2250 g m ⁻² (peso seco)
Valor máximo de la tasa de crecimiento del cultivo (se presenta en la fase entre 14 hojas y antesis masculina)	40 g m ⁻² d ⁻²
Tasa promedio de crecimiento del cultivo para todo el ciclo	13.7 g m ⁻² d ⁻²
Índice de área foliar en la densidad óptima para grano	5.18 m ² m ⁻²

DISCUSIÓN

El incremento de la densidad de población redujo, en mayor o menor medida, la expresión de todos los órganos de la porción aérea y modificó los índices de eficiencia de la planta de *Zea mays* var. Olotón. Otros investigadores han encontrado respuestas similares en otras variedades para el rendimiento (Duncan 1958; Dungan *et al.* 1958; Ramírez 1985), los parámetros foliares y vegetativos (Dungan *et al.* 1958; Huerta 1969; Williams *et al.* 1968), los componentes del rendimiento (Duncan 1983; Espinoza 1985; Milthorpe y Moorby 1975; Ramírez 1977; Tanaka y Yamaguchi 1977; Wilson y Allison 1978) y la eficiencia del cultivo (Dungan *et al.* 1958; Elshookie y Wasson 1984; Hunt 1982; Radford 1967).

El maíz 'Olotón', como otras variedades criollas tropicales en temperaturas relativamente bajas, tiene un ciclo de desarrollo largo y acumula gran cantidad de MSA (Higgins 1978), y canaliza una proporción importante de ella a los órganos vegetativos (CIMMYT 1986). Cuando dispone de abundante agua y nutrientes, experimenta un excesivo crecimiento vegetativo y una desmesurada elongación del tallo. Ese elongamiento adicional al elevarse la densidad es una respuesta común de las poblaciones de maíz al autosombreado (Duncan 1983; Tetio-Kagho y Gardner 1988b).

'Olotón' ha sido consignada como una de las variedades criollas mexicanas con mayor número de hojas (García-Barrios y Kobashi s.f.; Wellhausen *et al.* 1951). Este número parece estar correlacionado positivamente con la precipitación de la zona, en la que se cultiva cada variedad (Pedrizco 1965) y, en el caso de 'Olotón', podría deberse, según Efraim Hernández Xolocotzi, a una adaptación a condiciones de baja transpiración y alta nubosidad.

El AF se vio menos afectada que el peso de los órganos por las siguientes razones:

- El AF de la planta sobre el número de hojas quedó determinada en estadios muy tempranos de la planta, antes de que se iniciara la interferencia entre las plantas sembradas en cepas individuales (Duncan y Hesketh 1968; González *et al.* 1984; Márquez 1989).
- Al reducirse la materia seca asignada a la lámina, el efecto se repartió entre la disminución de su área y de su grosor. Esta tolerancia del AF podría provocar la disminución de la capacidad de fotosíntesis en relación con la capacidad potencial para interceptar la radiación directa, por el adelgazamiento de las láminas y el autosombreado. Se ha demostrado que variedades de maíz con hojas más pequeñas y gruesas tienen mayor eficiencia de utilización de luz y toleran mayores densidades que las que presentan hojas anchas y delgadas (Charles-Edwards 1982).

En general, el AF del maíz mostró poca plasticidad después del período vegetativo inicial de la planta y menos posibilidades de reducción mediante selección artificial que otros órganos (Tanaka y Yamaguchi 1977).

El mayor efecto de la densidad se manifestó en la formación de la mazorca inferior y en su desarrollo, en

coincidencia con otros autores (Buren *et al.* 1974; Leng 1954; Prior y Russell 1975). Sin embargo, las causas de ese abatimiento no han sido suficientemente estudiadas (Buren *et al.* 1974; Dungan *et al.* 1958). En el caso de 'Olotón', la pérdida de la mazorca inferior, e incluso de la superior, no se debió a la ausencia de inflorescencias sino a insuficiencias en su desarrollo. Diversos autores señalan la necesidad de una cantidad y concentración de azúcares en el tallo por arriba de un umbral para el desarrollo de las mazorcas (Charles-Edwards 1982; Williams *et al.* 1968). Es interesante señalar que en 'Olotón' el diámetro del tallo fue la variable vegetativa que tuvo mayor correlación ($r=0.63$) con la producción del grano y que, además, hubo una diferencia significativa en los diámetros de los tallos que produjeron una, dos y tres mazorcas (Kruskall-Wallis $p = 0.0018$).

Diversos autores distinguen variedades de maíz prolíficas y no prolíficas (Cross 1977; Harris *et al.* 1976; Prior y Russell 1975). La categoría "prolíficas" se ha utilizado en dos sentidos: una, para designar a las variedades que producen alta frecuencia de plantas con dos o más mazorcas en baja densidad, pero que cuando ésta aumenta, comúnmente pierden esa capacidad; y otra, para nombrar las variedades que, sin producir tantas plantas con dos mazorcas, mantienen la producción de una mazorca en densidades altas.

Se comparó la proliferación de 'Olotón' con la de más de 50 variedades mejoradas y cultivadas en condiciones ambientales favorables citadas (Buren *et al.* 1974; Colville 1962; Dungan *et al.* 1958; Giesbrecht 1969; Karim *et al.* 1983; Milbourn *et al.* 1978; Prior y Russell 1975; Stinson y Moss 1960). El número en promedio de mazorcas producidas por 'Olotón' en una densidad de dos plantas por metro cuadrado está por arriba de las variedades consideradas no prolíficas, pero por abajo de las prolíficas tipo 1. En densidades altas, el porcentaje de plantas de 'Olotón' sin mazorca fue menor que el observado en la mayoría de las variedades. En el Cuadro 3 se compara la proliferación de 'Olotón' con la de 21 variedades registradas en uno de los estudios más completos sobre este tema (Prior y Russell 1975). 'Olotón' resultó ser una variedad medianamente prolífica, más cercana a la modalidad 2 que a la 1.

Incluso con un número reducido de plantas por metro cuadrado, 'Olotón' mostró valores de RAF, IC y ER relativamente bajos; que se agudiza al aumentar la densidad. Se compararon estos parámetros con los correspondientes promedios de 16 variedades sintéticas (Cuadro 4). Se encontró que a muy baja densidad, 'Olotón' tiene un AF superior y una producción de grano inferior, y, por lo tanto, una ER notablemente menor a

Cuadro 3. Proliferación de la raza Olotón.

Porcentajes de plantas con dos o más mazorcas	Plantas por hectárea (miles)								
	20	30	40	50	60	70	80	90	100
'Olotón'	53		26		5		5		5
No prolíficas		0			0	0	0		
Medianamente prolíficas		100	15		5	5			
Muy prolíficas		100	40		5	5			

Porcentajes de plantas sin mazorca	Plantas por hectárea (miles)								
	20	30	40	50	60	70	80	90	100
'Olotón'	0.5		0.5		2.1		4.6		8.7
No prolíficas		0	0		4	9			
Medianamente prolíficas		0	0		1	5			
Muy prolíficas		0	0		0	0			

Nota: Comparación con los resultados Prior y Rusell (1974) para variedades de maíz muy prolíficas, medianamente prolíficas y no prolíficas (promedios de siete variedades por cada categoría).

Cuadro 4. Comparación de los índices de eficiencia de 'Olotón' respecto de los valores promedio de 16 variedades mejoradas.

	'Olotón' (promedio)	Variedades mejoradas (promedio desviación estándar)	
Plantas sin interferencia (una planta por metro cuadrado)			
Area foliar (dm ²)	111	86.3	16.8
Peso de grano (g)	214	245.9	37.2
Eficiencia del rendimiento (g dm ⁻²)	2.02	2.61	0.56
Población			
K área foliar	0.96	0.95	0.16
K grano	0.84	0.84	0.4
K er	0.90	0.89	0.4
Rendimiento máximo (peso seco en g m ⁻²)	633	669	191.2
Densidad óptima (plantas por metro cuadrado)	5.74	5.7	1.2
IAF en la densidad óptima	5.18	3.96	1.0
Eficiencia del rendimiento en la densidad óptima (g dm ⁻²)	1.22	1.71	0.08

Nota: Variedades: Pioneer 3191 (Tetio-Kagho 1988); Pioneer 3925, Pioneer 3851 (Tollenar y Bruuselmma 1988); Fukko 8, Colden Bantam (Tanaka y Yamaguchi 1977); H22, K55*P8, H28*K64, Oh7b*K41, H28, K731*H28, Oh7B*K41, H82, K731*H28, Oh7b*K201G, H57 (Elsahookie y Wasson 1984)

la ER promedio. No obstante, la tolerancia de estos parámetros al incremento de la densidad no fue menor en 'Olotón'. El valor relativamente bajo de ER que presentó 'Olotón' en la densidad de rendimiento máximo se confirmó con la siguiente comparación: En un estudio previo (Félix-Valencia 1986) se cultivaron en Chapingo (Méx.) tres variedades mejoradas de maíz de la Mesa Central (H28, H30, V25) con una densidad de seis plantas por metro cuadrado (muy cercana a la óptima para 'Olotón'), con idéntico arreglo espacial y dosis de fertilización, en condiciones de clima y riego similares a las de nuestro estudio. En promedio, las tres variedades produjeron 30% menos AF y 47% más grano por planta, por lo que su ER fue el doble de la estimada para 'Olotón'.

Si bien la TCC de 'Olotón' respondió hasta valores de IAF mayores que los reportados en la literatura (Sánchez *et al.* 1983; Wellhausen *et al.* 1951), el IAF de rendimiento máximo estuvo, sin duda, por arriba del IAF crítico (i.e. el IAF con el cual se intercepta 95% de la radiación directa a las 12 m.) (Brougham 1956; Tetio-Kagho y Gardner 1988b). Constituye un problema para

el monocultivo (Duncan 1983; Ottman y Welch 1989), pero, sobre todo, para las especies que se asocian al maíz en policultivo.

El rendimiento obtenido en este estudio casi triplicó el observado actualmente en las parcelas temporales campesinas más fértiles de la zona templada de las montañas centrales de Chiapas (García-Barrios *et al.* s.f.; 1991). Algunas evidencias sugieren que los problemas de eficiencia planteados se presentan también en sus parcelas (García-Barrios *et al.* s.f.; Márquez 1989).

Las características de 'Olotón' pueden aprovecharse para la producción de forrajes frescos, ensilados, esquilmos agrícolas y abonos verdes mediante el manejo de altas densidades. Como hipótesis, para futuros trabajos, se propone que la asociación de otros cultivos (no trepadores) con 'Olotón', generalmente tendrá un desempeño positivo en densidades de dos a tres plantas de maíz por metro cuadrado.

Es deseable un fenotipo de 'Olotón' que favorezca la producción de grano en policultivo mediante se-

lección y mejoramiento genético o prácticas de manejo de la planta. En el primer caso, se tendrían dos opciones:

- Selección de plantas que reducen proporcionalmente su AF, MSA y peso de grano al aumentar la densidad;
- selección de plantas más prolíficas (tipo 1).

Se prefiere la primera opción para mantener los índices de eficiencia de la planta, pero puede resultar difícil lograrlo. No obstante se han encontrado variedades híbridas de otras razas que se acercan a esta situación (Tetio-Kagho y Gardner 1988a,b). El achaparramiento de la planta brinda buenos resultados con otras variedades (CIMMYT 1986); sin embargo puede acarrear problemas de fecundación (Dungan *et al.* 1958; Giesbrecht 1969). En cuanto a la segunda, se aconseja promover una frecuencia mayor de plantas con dos o más mazorcas en baja densidad para su manejo en policultivo.

En cualesquiera de estos casos, el mejoramiento genético debe realizarse con cautela para evitar la pérdida de otras características apreciadas por el agricultor. Quizás resulte más factible, en el corto plazo, generar o promover prácticas de manejo que propicien el desarrollo de plantas más pequeñas y eficientes (arreglos y densidades, fecha de siembra, fecha de fertilización o abono, selección de tamaño de semilla, desespigue, doblado, defoliación selectiva, otros). En estos casos, deberían considerarse otros efectos agroecológicos y económicos de dichas prácticas.

LITERATURA CITADA

- BATSCHLET, E. 1979. Introduction to mathematics for life scientists. New York, Springer Verlag. 634 p.
- BROUGHAM, R. W. 1956. Interception of light by the foliage of pure and mixed stands of pasture plants. Australian Journal of Agricultural Research 9:39-52.
- BUREN, L. L.; MOCK, J. J.; ANDERSON, I. C. 1974. Morphological and physiological traits in maize associated with tolerance to high plant density. Crop Science 14:426-429.
- CARMER, S. G.; JACKOBS, J. A. 1965. An exponential model for predicting optimum plant density and maximum corn yield. Agronomy Journal (57):241-244.
- CHARLES-EDWARDS, D. A. 1982. Physiological determinants of crop growth. London, Academic Press. 161 p.
- CIMMYT (CENTRO INTERNACIONAL DE MEJORAMIENTO DE MAÍZ Y TRIGO) 1986. Mejoramiento de la excelencia: Logros en el mejoramiento con la raza Tuxpeño. Méx., D.F. 24 p.
- COLVILLE, W. L. 1962. Influence of rate and method of planting on several components of irrigated corn yield. Agronomy Journal 54:297-300.
- CROSS, H. Z. 1977. Interrelationships among yield stability and yield components in early maize. Crop Science 17:741-745.
- DUNCAN, W. G. 1958. The relation between corn population and yield. Agronomy Journal 50:82-84.
- DUNCAN, W. G.; HESKETH, J. D. 1968. Net photosynthetic rates, relative leaf growth rates and leaf numbers of 22 races of maize grown at eight temperatures. Crop Science 8:670-674.
- DUNCAN, W. G. 1983. Maíz. In Fisiología de los cultivos. L. T. Evans (Ed.) Hemisferio Sur. 402 p.
- DUNGAN, G. H.; LANG, A. L.; PENDLETON, J. W. 1958. Corn plant population in relation to soil productivity. Advances in Agronomy 10:435-474.
- ELSAHOOKIE, M. M.; WASSON, C. E. 1984. Moisture regime and plant density effects on yield, yield efficiency and other agronomic traits of several hybrids of corn (*Zea mays* L.). Iraqi Journal of Agricultural Sciences Zanco 2:29-42.
- ESPINOZA-PAZ, N. 1985. Rendimiento de grano y componentes del rendimiento de tres variedades de maíz (*Zea mays* L.). Tesis de Maestría en Ciencias. Chapingo, Méx., Colegio de Postgraduados. 117 p.
- EVANS, G. C. 1972. The quantitative analysis of plant growth. London, Blackwell Scientific. 734 p.
- FÉLIX-VALENCIA, P. 1986. Patrón y análisis del crecimiento de tres variedades de maíz (*Zea mays* L.). Tesis de Maestría en Ciencias. Chapingo, Méx., Colegio de Postgraduados. 135 p.
- GARCIA, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. UNAM, Méx., Instituto de Geografía. 246 p.
- GARCIA-BARRIOS, L.; SOTO, L.; POOL, L.; MEZA, S. 1991. Efectos agroecológicos de la roturación del

- suelo y la rotación pastizal-cultivo en los sistemas de producción de maíz del carst chamula, Altos de Chiapas, Méx. *Agroecología Neotropical* 2(1):14-22.
- GARCIA-BARRIOS, L.; KOHASHI, J. s.f. Fenología, crecimiento y componentes del rendimiento de un maíz criollo (*Zea mays* L. raza Olotón) de Los Altos de Chiapas cultivado bajo condiciones ambientales favorables. CIES (Sin publicar)
- GARCIA-BARRIOS, L. s.f. Fenótipos de maíz: Eficiencia del rendimiento y aptitud para el policultivo. Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste (CIES)
- GARCIA-BARRIOS, L.; ALEMAN, T.S.; PARRA, M.R. s.f. Estudio exploratorio de los factores que determinan el rendimiento de grano en el sistema de producción anual de maíz en el área agropecuaria intensiva de la subregión San Cristóbal. Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste (CIES) (Sin publicar)
- GIESBRECHT, J. 1969. Effect of population and row spacing on the performance of four corn (*Zea mays* L.) hybrids. *Agronomy Journal* 62:439-441.
- GONZALEZ, V.; ORTIZ, J.; MENDOZA, L. 1984. Rendimiento del maíz y sus componentes de respuesta a diversas prácticas culturales y criterios de selección. Chapingo, Méx., Colegio de Postgraduados. *Agronomía* 58:101-112.
- HARRIS, R.E.; MOLL, R.H.; STUBER, C.V. 1976. Control and inheritance of prolificacy in maize. *Crop Science* 16:843-850.
- HIGGINS, G.M. 1978. Report on the agroecological zones project: Methodology and results for Africa. *World Soil Resources Reports* FAO 48(1):168.
- HUERTA, N.R. 1969. Influencia de la densidad de población, distancia entre surcos y dosis de nitrógeno sobre el rendimiento y otras características de los híbridos H-125 y H-129 en Chapingo, Méx. Tesis de Maestría en Ciencias. Chapingo, Méx., Colegio de Postgraduados. 97 p.
- HUNT, R. 1982. Plant growth curves: The functional approach to plant growth analysis. A. Edwards (Ed.) U.K. 247 p.
- KARIM, M.; BABSH, A.; SHAN, P. 1983. Effects of plant population, nitrogen application and irrigation on yield components of synthetic-66 maize. *Journal of Agricultural Research* p. 57-69.
- LENG, E.R. 1954. Effects of heterosis on the major components of grain yield in corn. *Agronomy Journal* 46:502-505.
- MARQUEZ, G.A. 1989. Efecto de la competencia intraespecífica en la fenología, crecimiento y rendimiento de *Zea mays* L. raza Olotón. Tesis de Licenciatura en Biología. Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Instituto de Ciencias y Artes.
- MILBOURN, G.M.; TILEY, G.E.D.; CARR, M.K.V. 1978. Planting density for grain maize in southeast England. *Experimental Agriculture* 14:261-268.
- MILTHORPE, F.L.; MOORBY, J.L. 1975. An introduction to crop physiology. Cambridge University Press. 201 p.
- OTTOMAN, M.J.; WELCH, L.F. 1989. Planting patterns and radiation interception: Plant nutrient concentration, and yield in corn. *Agronomy Journal* 81:167-174.
- PEDRIZCO, R.M. 1965. Características foliares en maíz, relacionadas con precipitación y altura sobre el nivel del mar. Tesis de Maestría en Ciencias. Chapingo, Méx., Colegio de Postgraduados. 123 p.
- PRIOR, C.L.; RUSSELL, W.A. 1975. Yield performance of nonprolific and prolific maize hybrids at six plant densities. *Crop Science* 15:482-486.
- RADFORD, P.J. 1967. Growth analysis formulas: Their use and abuse. *Crop Science* 7:171-175.
- RAMIREZ, J.L. 1977. Efecto de la eliminación de órganos sexuales sobre el rendimiento del maíz. Tesis de Licenciatura. Chapingo, Méx., ENA. 126 p.
- RAMIREZ, J.L. 1985. Análisis de crecimiento y componentes del rendimiento de los híbridos de maíz H-30 y H-31 y de sus progenitores. Tesis de Maestría en Ciencias. Chapingo, Méx., Colegio de Postgraduados. 181 p.
- SANCHEZ, L.A.; GIRALDO, L.F.; COCK, J.H. 1983. Crecimiento de maíz *Zea mays* L. en función del índice de área foliar y fertilización. *Acta Agronómica* 33(2): 5-15.
- SOKAL, R.R.; ROHLF, J.F. 1981. Biometry: The principles and practice of statistics in biological research. 2nd edition. San Francisco, Freeman. 861 p.
- STINSON, H.T. JR.; MOSS, D.N. 1960. Some effects of shade upon corn hybrids tolerant and intolerant to dense planting. *Agronomy Journal* 52:482-484.

- TANAKA, A.; YAMAGUCHI, J. 1977. Producción de materia seca, componentes del rendimiento y rendimiento del grano de maíz. 1a ed. Chapingo, Méx., Colegio de Postgraduados. Rama Botánica. 124 p.
- TETIO-KAGHO, F.; GARDNER, F.P. 1988a. Response of maize to plant population density. I. Canopy development, light relationships, and vegetative growth. *Agronomy Journal* 80(6):930-935.
- TETIO-KAGHO, F.; GARDNER, F.P. 1988b. Response of maize to plant population density. II. Reproductive development, yield and yield adjustments. *Agronomy Journal* 80(6):935-940.
- TOLLENAR, M.; BRUUSELMA, T.W. 1988. Efficiency of dry matter production during periods of complete leaf area expansion. *Agronomy Journal* 80(4):580-585.
- WELLHAUSEN, E.J.; ROBERTS, L.M.; HERNANDEZ, E. 1951. Razas de maíz en México: Su origen, características y distribución. Méx. D.F. O.E.E./S.A.G. Folleto Técnico no. 5. 28 p.
- WILLIAMS, W.A.; LOOMIS, R.S.; LEPLEY, C.R. 1965. Vegetative growth corn as affected by population density. II. Components of growth, net assimilation rate and leaf area index. *Crop Science* 5:215-219.
- WILLIAMS, W.D.; LOOMIS, R.S.; DUNCAN, W.G.; DOVRAT, A.; NÚÑEZ, F. 1968. Canopy architecture at various population densities and the growth and grain yield of corn. *Crop Science* 8:303-388.
- WILSON, J.H.; ALLISON, J.C.S. 1978. Effect of plant population on ear differentiation and growth in maize. *Annals of Applied Biology* 90:127-132.
- WILLEY, R.W.; HEATH, S.B. 1969. The quantitative relationships between plant population and crop yield. *Advances in Agronomy* 21:281-321.
- ZAR, J.H. 1984. *Biostatistical analysis*. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall. 718 p.

RESEÑA DE LIBROS

SOIL BIOCHEMISTRY. 1992. G. Stotzky, Jean-Marc Bollag (Eds.). New York, M. Dekker. v. 7, 416 p.

Este séptimo volumen, como los anteriores, familiariza a los lectores sobre varios aspectos novedosos de la bioquímica de suelos.

El rápido desarrollo y actividad actual de los procesos en la bioquímica se deben a la preocupación sobre su efecto en la salud ambiental del suelo. Sin duda alguna, cada año se introducen más sustancias químicas, tanto orgánicas como inorgánicas en los suelos, sea para fomentar la degradación de estas sustancias, sea para fomentar la fertilidad. Es necesario lograr una mejor comprensión de los procesos bioquímicos en los suelos.

En este volumen se discuten numerosos tópicos que incluyen los últimos adelantos acerca del entendimiento de la bioquímica del azufre en suelos, de los

procesos referentes a la formación de humus en condiciones templadas, del comportamiento de hongos nematófagos, de la aplicación de técnicas moleculares a la bioquímica de suelos, de la extracción de enzimas de suelos, de los factores que afectan el movimiento de microorganismos en suelos y su interacción con los minerales.

Los autores de los diversos capítulos son reconocidos internacionalmente; y su lectura requiere un adecuado conocimiento de la bioquímica y la microbiología de suelos. Se incluyen amplias bibliografías que permitirán una mayor profundización en los nuevos campos discutidos en esta publicación.

Se recomienda para los investigadores de la ecología y agrónomos interesados en la bioquímica del suelo.

ELEMER BORNEMISZA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA