

ESTUDIO DEL EFECTO DE CUATRO DISTANCIAS DE SIEMBRA Y CUATRO NIVELES DE FERTILIZACION NITROGENADA EN EL RENDIMIENTO, CONTENIDO DE CLOROFILA Y ACTIVIDAD DE LA NITRATO REDUCTASA EN BROCOLI.

Harvey Arjona D.*
Jim Greig**

RESUMEN

El rendimiento total por unidad de área, el número de inflorescencias centrales mayores de 5.0 cm de diámetro, el peso de inflorescencias centrales por planta, el número y peso de inflorescencias laterales, el contenido de clorofila y la actividad de la nitrato reductasa en hojas de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*, Plenck) se incrementaron cuando los niveles de fertilización nitrogenada aumentaron de 0 a 56 y de 0 a 112 kg/ha. Posteriores incrementos en la dosis de fertilizante no afectaron estas variables. La distancia entre plantas tuvo un menor efecto en las variables estudiadas y sólo algunas diferencias se encontraron entre los dos espaciamentos más cercanos (22 y 30 cm) y los dos espaciamentos mayores (38 y 46 cm). Niveles de fertilización nitrogenada por encima de 112 kg/ha se consideran innecesarios dado que no se observaron diferencias significativas en las variables estudiadas. Las plantas espaciadas 60 x 22 cm o 60 x 30 cm y recibiendo dosis de 112 kg/ha de N dieron resultados óptimos.

INTRODUCCION

La importancia del brócoli como hortaliza ha aumentado en los años recientes. Desde el punto de vista nutritivo, el brócoli es una fuente importante de Ca, P, Fe, vitamina A, C, tiamina, riboflavina y niacina, conteniendo cantidades mayores de estos elementos y vitaminas que el repollo y el coliflor (6, 8, 11).

El arreglo espacial de las plantas y la fertilización nitrogenada han demostrado tener un efecto importante en el rendimiento y calidad del brócoli (2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 12, 13). El presente estudio se llevó a cabo para determinar los efectos de 4 niveles de fertilización nitrogenada y 4 distancias entre plantas en el rendimiento, tamaño y peso de las inflorescencias centrales, número y peso de las inflorescencia laterales, contenido de clorofila de la hoja y actividad de la nitrato reductasa en tejido foliar como una indicación de la toma de N por la planta.

MATERIALES Y METODOS

Transplantes de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*, Plenck) del híbrido 'Green Comet' se cultivaron en invernadero durante el primer semestre de 1980 en la Universidad Estatal de Kansas. Los transplantes se cultivaron en 'Jiffy pots' conteniendo una mezcla de una parte de

* Profesor Asistente de la Universidad Nacional de Colombia.

** Profesor Asociado de la Universidad Estatal de Kansas. U.S.A.

arena, una parte de perlita, una parte de turba y dos partes de suelo. Seis semanas después de sembradas las plantas fueron transplantadas en el campo en un suelo arenoso con un adecuado nivel de fertilidad, excepto por nitrógeno cuyo contenido era bajo.

Los niveles de nitrógeno y las distancias entre plantas se arreglaron en un diseño de parcelas divididas en el que los niveles de nitrógeno formaron la parcela principal y las distancias entre plantas las subparcelas. Nitrógeno en forma de nitrato de amonio se aplicó en 4 dosis (0, 56, 112 y 168 kg/ha) una semana, tres semanas y seis semanas después del transplante, como aplicaciones de cobertura. Las plantas se sembraron en arreglos espaciales a 60 cm entre surcos y 22, 30, 38 y 46 cm entre plantas.

La cosecha se inició seis semanas después del transplante. Las plantas se cosecharon manualmente. Las cabezas centrales se cortaron cerca a la primera yema axilar y se clasificaron como: 1. Mayores de 5.0 cm de diámetro. 2. Menores de 5.0 cm de diámetro. El número de cabezas y el peso total de las mismas se registró para cada tratamiento.

Los brotes laterales de 2.5 cm de diámetro y mayores se cosecharon cortándolos por la base y el número y peso se registró para cada subparcela. Una semana después de la última fertilización se tomaron muestras de hojas de los diferentes tratamientos para analizar el contenido de clorofila y la actividad de la nitrato reductasa.

Análisis de Clorofila. Veinte discos de 0.5 cm^2 de la hoja más cercana a la inflorescencia central completamente desarrollada, se tomaron de plantas al azar en cada tratamiento para el análisis de contenido de clorofila. Los discos se colocaron en botellas que contenían entre 40 y 50 c.c. de metanol y la extracción de clorofila se practicó según lo descrito por Greig et al (5). Se hicieron lecturas de absorbancia de los extractos de clorofila a una longitud de onda de 650 nm y el contenido de clorofila obtenido de una curva estandar se expresó como mg de clorofila/ cm^2 de tejido foliar.

Análisis de la Actividad de la Nitrato Reductasa (A.N.R.). Hojas jóvenes, cercanas a la inflorescencia central se muestrearon de plantas al azar en cada tratamiento para análisis de la actividad de la nitrato reductasa. Las hojas se mantuvieron a 0°C hasta que el análisis de laboratorio se inició. El procedimiento seguido para determinar la actividad de la enzima fue el mismo descrito por Paulsen^{1/}. La actividad de la nitrato reductasa se expresó como $\mu \text{ m NO}_2^-$ por gramo de peso fresco por hora ($\mu \text{ m NO}_2^-/\text{g.fwt.h.}$).

RESULTADOS Y DISCUSION

No se encontraron interacciones nitrógeno: espaciamiento para las variables estudiadas excepto para la actividad de la nitrato reductasa en hojas.

El rendimiento total por unidad de área se incrementó linealmente a medida que el nivel de fertilización nitrogenada aumentó para cualquier distancia entre plantas. El rendimiento total por unidad de área se incrementó linealmente a medida que la distancia entre plantas disminuyó para cualquier nivel de fertilización nitrogenada (tabla 1 y 2 fig. 1). Sin embargo, se observó que el nitrógeno tiene un mayor efecto en el rendimiento que la distancia entre plantas. Estos resultados concuerdan con aquellos obtenidos por otros autores en experimentos similares (3, 7, 8, 13).

^{1/} Paulsen, G. 1980. Nitrate reductase *In vivo* assay. Mimeograph report. Department of Agronomy, K. S. U.

Tabla 1. Efecto de 4 niveles de fertilización nitrogenada en el rendimiento, peso de inflorescencias centrales, número de inflorescencias centrales mayores de 5.0 cm. de diámetro, número y peso de inflorescencias laterales y contenido de clorofila en hojas de brócoli (*Brassica Oleracea* L. Var Italica Plenck) híbrido 'Green Comet'

NH ₄ NO ₃ kg/ha	Rendimiento ton/ha	W. Inflores. centrales g/planta	No. Inflores. centrales 5 cm	No. Inflores. laterales 1/ por planta	W. Inflores. laterales por planta g	Contenido de clorofila mg/cm ²	2/
00	1.25 a	42.9 a	11.06 a	1.48 a	10.6 a	0.092 a	
56	2.70 b	79.6 b	13.31 b	2.41 ab	32.3 ab	0.101 b	
112	3.48 c	95.9 b	13.63 b	3.63 c	48.0 b	0.113 c	
168	3.65 c	95.8 b	13.38 b	3.42 bc	54.0 b	0.111 c	
L.S.D. 3/	0.72	17.9	0.94	1.17	22.6	0.007	

1/ Número de inflorescencias centrales mayores de 5.0 cm de diámetro por parcela (5.45 m²)

2/ Contenido de clorofila expresado como Mg/cm² de tejido foliar

3/ Comparación de promedios por la mínima diferencia significativa (L.S.D.) al nivel del 5%

Tabla 2. Efecto de 4 distancias de siembra en el rendimiento, peso de inflorescencias centrales, número de inflorescencias centrales mayores de 5.0 cm de diámetro, número y peso de inflorescencias laterales y contenido de clorofila en hojas de brócoli (*Brassica oleracea* L. var. Italica Plenck) híbrido 'Green Comet'.

Distancia entre plantas cm	Rendimiento ton/ha	W. Inflores. centrales g/planta	No. Inflores. centrales 5 cm	1/	No. Inflores. laterales por planta	W. Inflores. laterales por planta g	Contenido de clorofila mg/cm ²	2/
22	3.17 a	69 a	17.75 a	1.91 a	21.0 a	0.096 a		
30	2.76 ab	72 a	13.63 b	2.40 ab	28.7 a	0.105 b		
38	2.60 b	81 ab	10.94 c	3.13 bc	41.0 b	0.105 b		
46	2.54 b	90 b	9.06 d	3.50 c	54.1 c	0.109 b		
L.S.D. 3/	0.46	12	1.00	0.79	13.0	0.006		

1/ Número de inflorescencias centrales mayores de 5.0 cm de diámetro por parcela (5.45 m²)

2/ Contenido de clorofila expresado como mg/cm² de tejido foliar

3/ Comparación de promedios por la mínima diferencia significativa (L.S.D.) al nivel del 5%

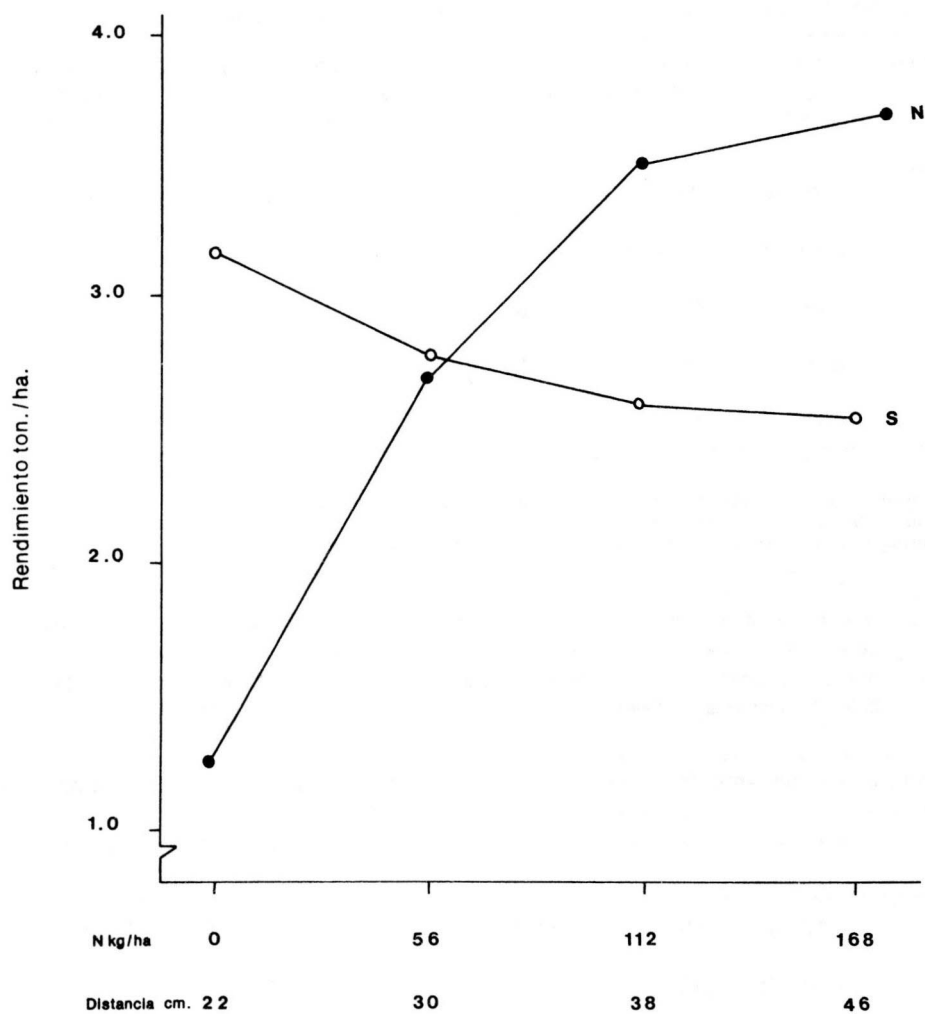


Figura 1. Efecto de 4 niveles de fertilización nitrogenada (N) y 4 distancias de siembra (S) en el rendimiento de brócoli.

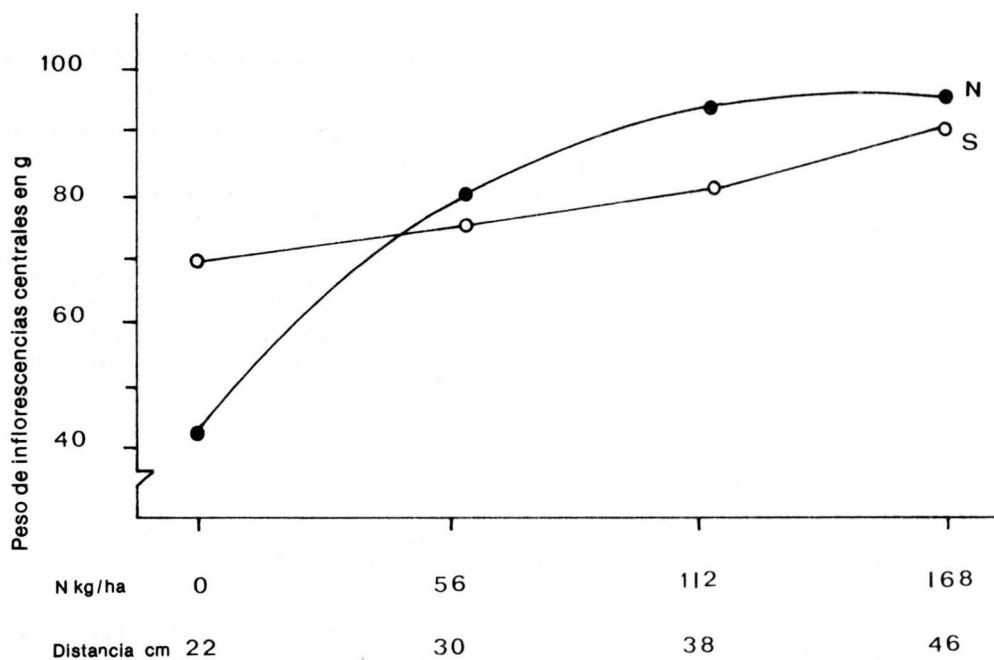


Figura 2. Efecto de 4 niveles de fertilización nitrogenada (N) y 4 distancias de siembra (S) en el peso promedio de inflorescencias centrales por planta.

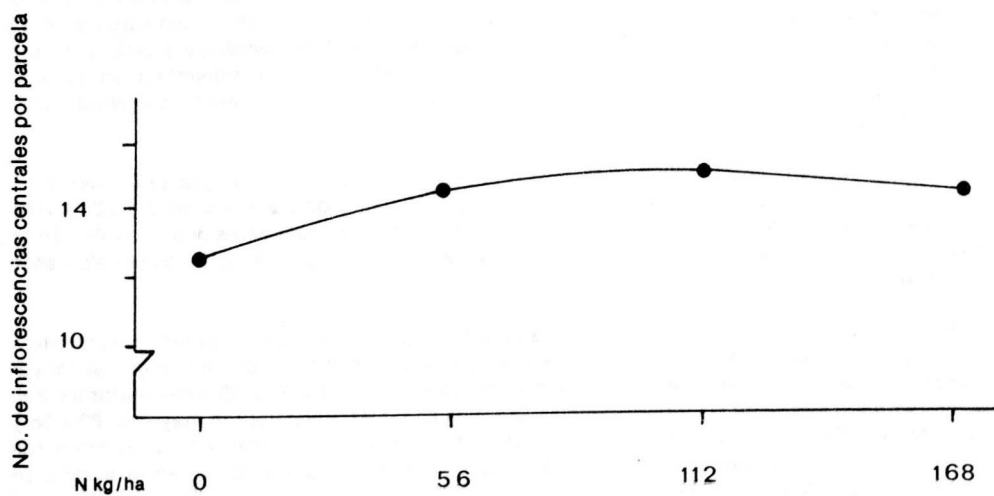


Figura 3. Efecto de 4 niveles de fertilización nitrogenada en el número de inflorescencias centrales mayores de 5.0 cm de diámetro por unidad de área.

Tabla 3. Efecto de 4 niveles de fertilización nitrogenada y 4 distancias de siembra en la actividad de la nitrato reductasa en hojas de brocoli.

NH ₄ NO ₃ kg/ha	Distancia entre plantas cm.			
	22	30	38	46
00	.0321 ab _α ^{1/}	.0144 a _α	.0476 b _α	.0477 b _α
56	.0609 a _α ^{2/}	.0615 a _β	.0719 a _{αβ}	.0847 a _β
112	.0715 a _{αβ}	.1005 b _γ	.0662 a _{αβ}	.1320 c _γ
168	.0597 a _{αβ}	.0839 ab _{βγ}	.0944 b _β	.0872 b _β
L.S.D. ^{3/} entre hileras	0267			
L.S.D. entre columnas	0305			

^{1/} Hileras con la misma letra árabe no son significativamente diferentes

^{2/} Columnas con la misma letra griega no son significativamente diferentes

^{3/} Comparación de promedios por la mínima diferencia significativa (L.S.D.) al nivel del 5%.

Tanto el número de las cabezas centrales mayores de 5.0 cm de diámetro como el peso de las mismas por planta, se incrementaron en una relación cuadrática cuando la dosis de N se aumentó de 0 a 56 kg/ha (figs. 2 y 3). Posteriores incrementos en el nivel de nitrógeno no afectaron estas dos variables. En consecuencia, aplicaciones de N superiores a 56 kg/ha son innecesarias en cultivos donde se coseche únicamente la inflorescencia central, cuando éstos se desarrollen en condiciones similares a las descritas en este experimento.

El peso promedio de inflorescencias centrales disminuyó linealmente a medida que la distancia entre plantas disminuyó (fig. 2), lo cual coincide con lo reportado por otros autores en la literatura (1, 3, 4, 9, 12). Sin embargo, las mayores densidades de siembra en los espaciamientos más cercanos (60 x 22 cm y 60 x 30 cm) contrarrestaron la disminución en peso por inflorescencia y el rendimiento total por unidad de área se incrementó en estos espaciamientos.

Tanto el número como el peso de las inflorescencias laterales por planta aumentaron linealmente a medida que el nivel de nitrógeno se incrementó de 0 a 112 y de 0 a 168 kg/ha (tabla 1, fig. 4 y 5). No se encontraron diferencias significativas para estas dos variables entre los niveles de 112 y 168 kg/ha de N, de manera que aplicaciones de 168 kg/ha se consideraron excesivas.

El número y el peso de inflorescencias laterales por planta se incrementaron linealmente a medida que la distancia entre plantas aumentó (tabla 2, fig. 4 y 5). Sin embargo, el mayor número de plantas en los espaciamientos más cercanos (60 x 22 y 60 x 30 cm) contrarrestó el mayor número y peso de las inflorescencias laterales en los espaciamientos mayores (60 x 38 y 60 x 46 cm). En consecuencia, mayores rendimientos se obtuvieron con los espaciamientos más cercanos por lo cual distancias de 22 o 30 cm entre plantas y 60 cm entre surcos se consideran como las óptimas.

El contenido de clorofila en las hojas aumentó significativamente a medida que el nivel de nitrógeno se incrementó de 0 a 112 kg/ha (tabla 1, fig. 6), demostrando que la toma de N por la

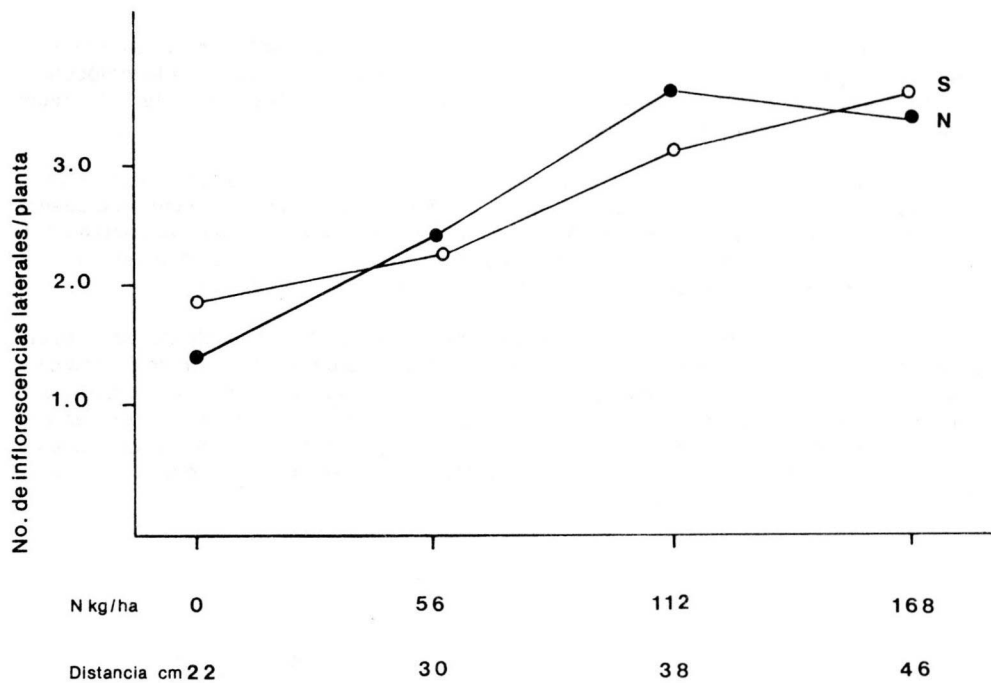


Figura 4. Efecto de 4 niveles de fertilización nitrogenada (N) y 4 distancias de siembra (S) en el número de inflorescencia laterales por planta.

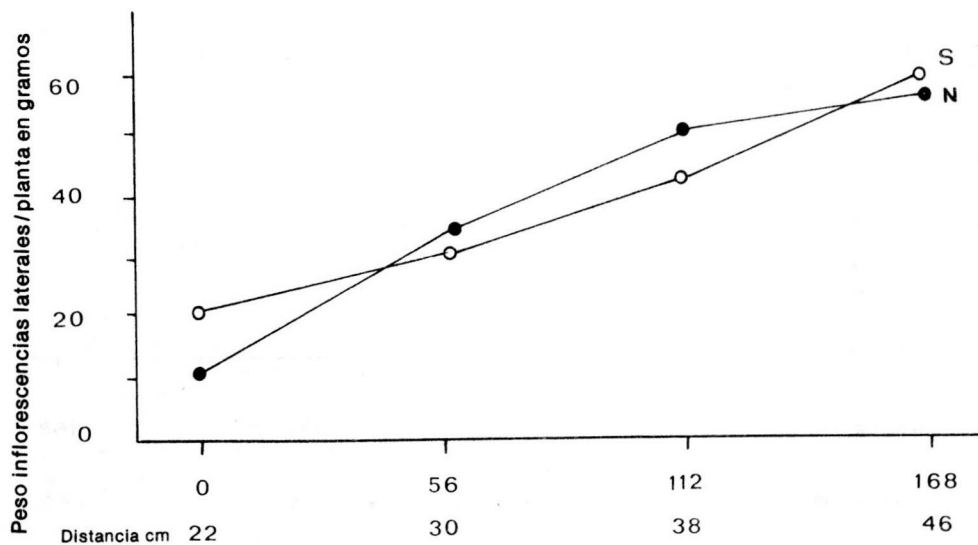


Figura 5. Efecto de 4 niveles de fertilización nitrogenada (N) y 4 distancias de siembra (S) en el peso promedio de inflorescencias laterales por planta.

planta aumentó a medida que el nivel de N del suelo se incrementó dentro de ciertos límites. A medida que se sintetiza más clorofila, más N se necesita para ser incorporado a la molécula de clorofila y ésta puede ser la razón por la que incrementos en los niveles de nitrógeno producen incrementos en el contenido de clorofila.

El contenido de la clorofila aumentó significativamente cuando la distancia entre plantas se incrementó de 22 a 30 cm pero no se obtuvieron cambios en el contenido de clorofila cuando las plantas se espaciaron por arriba de 30 cm (tabla 2, fig. 6). La diferencia en el contenido de clorofila entre plantas distanciadas 22 cm y aquellas distanciadas 30 cm puede deberse a un efecto de sombreamiento cuando las plantas se espaciaron tan solo 22 cm.

Se encontró interacción nitrógeno: espaciamiento para la actividad de la nitrato reductasa en hojas. A 22, 30 y 46 cm entre plantas, la actividad de la enzima aumentó con incrementos en el nivel de fertilización nitrogenada de 0 a 112 kg/ha. Posteriores incrementos en el fertilizante causaron una disminución en la actividad de la enzima que fué significativo únicamente cuando las plantas se espaciaron 46 cm aparte (tabla 3, fig. 7). Diferencias significativas en la actividad de la enzima se observaron entre 0 y 112 y 0 168 kg/ha de nitrógeno en plantas distanciadas 38 cm (tabla 3, fig. 7).

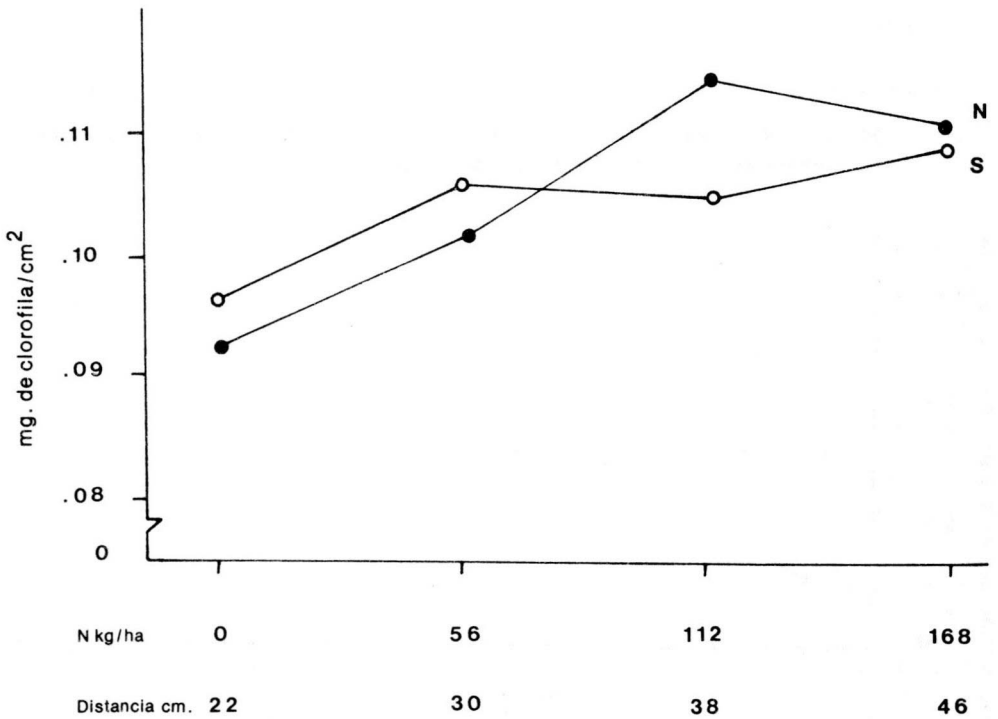


Figura 6. Efecto de 4 niveles de fertilización nitrogenada (N) y 4 distancias de siembra (S) en el contenido de clorofila de las hojas de brócoli.

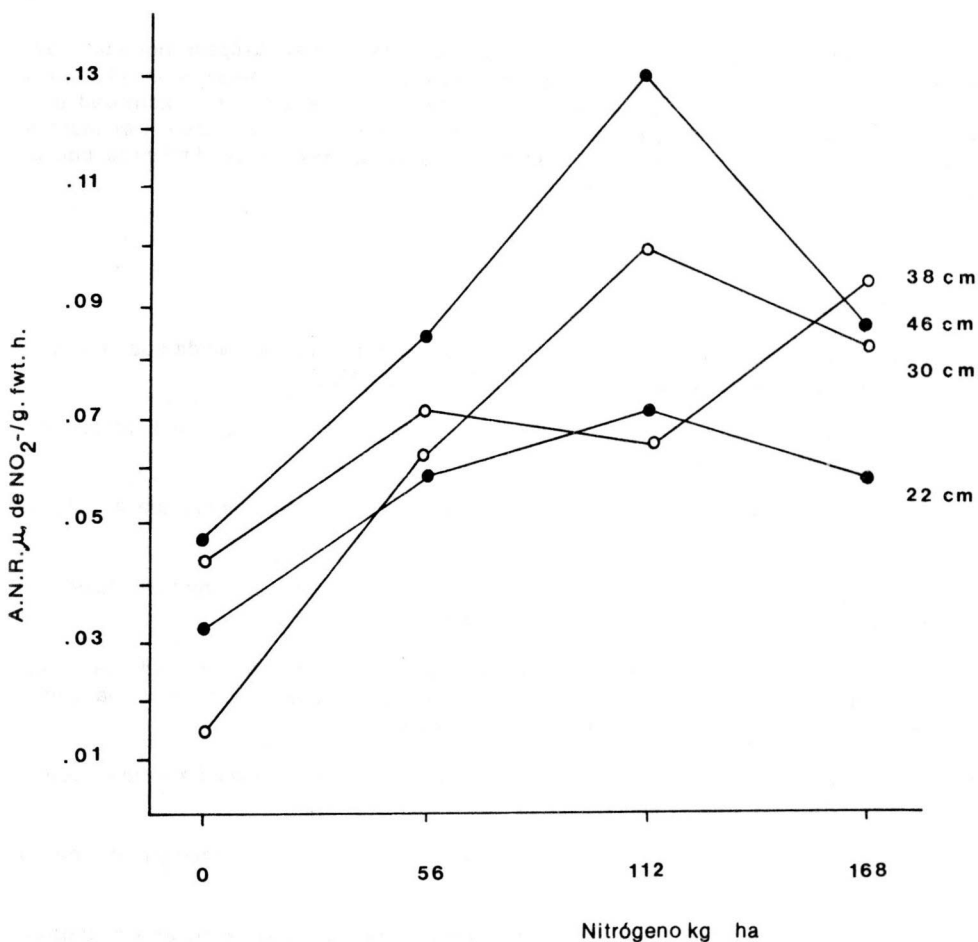


Figura 7. Efecto de 4 niveles de fertilización nitrogenada y 4 distancias de siembra en la actividad de la nitrato reductasa en hojas de brócoli.

La nitrato reductasa es una enzima inducible y por ello incrementos en la concentración de NO_3^- en el tejido de la planta producen incrementos en la actividad de la enzima. Por lo tanto, incrementos en la actividad de la enzima a medida que el nivel de fertilización nitrogenada aumenta, indican un incremento en la toma de NO_3^- por la planta a medida que el fertilizante aumenta dentro de ciertos límites. La disminución en la actividad de la enzima ocurrida entre 112 y 168 kg/ha en plantas distanciadas 46 cm puede tener varias explicaciones, dos de las cuales se presentan aquí. Plantas espaciadas 46 cm y recibiendo 168 kg/ha de nitrógeno presentan un crecimiento vegetativo vigoroso, especialmente la parte superior de la planta. Esto implica una mayor demanda de agua y por ello un mayor estrés por agua que plantas que crecen menos vigorosas. La nitrato reductasa es muy sensible al estrés por agua, puesto que la síntesis de NADH que se usa como donante de electrones en la reducción de NO_3^- se afecta bajo estas condiciones de estrés. Es posible también que estas plantas acumulan tal cantidad de NO_3^- que éste a su vez inhibe la actividad de la enzima.

Los resultados obtenidos en este experimento demuestran que el nitrógeno tiene un mayor efecto que el espaciamiento en todas las variables estudiadas. Incrementos en el nivel de nitrógeno por encima de 112 kg/ha afectaron significativamente tan solo la actividad de la nitrato reductasa en las hojas, en tanto que otras variables no se afectaron. Las mayores densidades de siembra (60 x 22 y 60 x 30 cm) produjeron mayores rendimientos que las densidades menores (60 x 38 y 60 x 46 cm).

CONCLUSIONES

1. El rendimiento total de brócoli por unidad de área se incrementó a medida que el nivel de fertilización nitrogenada aumentó hasta 112 kg/ha de nitrógeno.
2. El rendimiento total de brócoli por unidad de área aumentó a medida que la distancia entre plantas disminuyó de 46 a 22 cm.
3. El nivel de fertilización nitrogenada tuvo mayor efecto en los rendimientos que la distancia entre plantas.
4. Los mayores rendimientos se obtuvieron cuando las plantas se espaciaron 22 o 30 cm y se fertilizaron con 112 o 168 kg de nitrógeno/ha.
5. Aplicaciones de nitrógeno mayores de 56 kg/ha en suelos con bajo contenido de materia orgánica no se justifican cuando sólo se cosecha la inflorescencia central ni mayores de 112 kg/ha cuando se cosechan también las laterales.
6. El tamaño de las inflorescencias centrales y el número de las laterales disminuyen cuando la distancia entre plantas disminuye.
7. El contenido de clorofila aumenta a medida que el nivel de fertilización nitrogenada aumenta de 0 a 112 kg/ha.
8. El incremento consistente en la actividad de la nitrato reductasa en las hojas a medida que el nivel de nitrógeno aumenta, demuestra que la concentración de NO_3^- en la planta aumenta, lo cual hace suponer un incremento en la toma de nitrógeno por la planta debida a incrementos dentro de ciertos límites en el nivel de nitrógeno del suelo.
9. Tomando en consideración el costo de la mano de obra, se recomiendan distancias de 60 x 30 cm y niveles de fertilización nitrogenada no mayores de 112 kg/ha para cultivos en suelos con bajos contenidos de materia orgánica.

LITERATURA CITADA

1. ALDICH, T. M., M. L. SNYDER and T. M. LITTLE, 1961. Plant spacing in broccoli. *California Agriculture* 15(12):10-11.
2. CUTCLIFFE, J. A., D. C. MUNRO, And D. C. MACKAY. 1968. Effect of nitrogen, phosphorus, potassium und manure on terminal, lateral and total yields and maturity of broccoli. *Can J. Plant Sci.* 48:439-466.

3. CUTLIFFE, J. A. 1971. Effects of plant population, nitrogen and harvest date on yield and maturity of single harvest broccoli. *Hort Science* 6(5):482-483.
4. _____ . 1972. Effects of plant spacing on single-harvest yields of several broccoli cultivars. *Hort Science* 10(4):417-419.
5. GREIG, J. K., J. E. MOTES, And A. S. Al-Tikriti. 1967. Effect of nitrogen levels and micronutrients on yield, chlorophyll and mineral content of spinach. **Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.** 92:508-515.
6. NIEUWHOF, M. 1969. Cole crops. Leonard Hill Book Company, London.
7. PALEVITCH, D. 1970. Effects of plant population and pattern on yield of broccoli : **Brassica oleracea** var. **Italica**) in single harvest. *Hortscience* 5(4): 230-231.
8. RAMOS, L. G. And MARTINEZ, W. L. 1975. Distancia de siembra y variedades de broccoli (**Brassica oleracea** var. **Italica**) en la zona de Juan Vinas. Boletín técnico, Fac. de Agronomía, Univ. de Costa Rica 8(4):1-18.
9. TERESHKOVICH, G. 1968. The effect of spacing and season on yield of 'Primo F1' hybrid broccoli in Georgia. **Res. Rep. Univ. Ga. Coll. Agric. Exp. Stat.** 33:1-10.
10. THOMPSON, L. M. 1957. Soils and Soil fertility. McGraw Hill Book Company Inc., New York, Toronto, London pp. 215-218.
11. WEBSTER, A. B. 1962. Sprouting broccoli: a crop that deserves to be more widely grown. **New Zealand Journal of Agriculture.** 106(6):517-523.
12. ZINK, F. W. And AKANA, D. A. 1951. The effect of spacing on the growth of sprouting broccoli. **Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.** 58:160-164.
13. ZINK, F. W. 1952. Sprouting broccoli spacing. *California Agriculture.* 6(5):6.