

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA AGRÍCOLA,  
GEOLOGÍA Y GEOQUÍMICA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID

ESTUDIO DE LA RESPUESTA DE PLANTAS DE PEPINO (*CUCUMIS SATIVUS* L. CV. HYCLOS) A DIFERENTES RELACIONES  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$

Zornoza Soto, P y Serrano Fernández, S.

RESUMEN

En este trabajo se estudia la respuesta de plantas de pepino a diversas relaciones  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  (100/0, 80/20, 60/40, 30/70), al objeto de comprobar el grado de tolerancia de esta especie vegetal a concentraciones crecientes de  $\text{NH}_4^+$  en el medio de cultivo. Las plantas cultivadas con la relación 60/40 presentaron un peso superior a las testigo (100/0). Por el contrario, las sometidas a las relaciones 80/20 y 30/70 ofrecieron una reducción en el crecimiento. A medida que aumenta el aporte de  $\text{NH}_4^+$  disminuye la concentración de Ca, Mg, Mn y B en hoja, de Ca y Mg en raíz y aumenta la concentración de P, K y Zn en hoja y de Fe, B y Zn en raíz. Finalmente a las plantas de pepino cv. Hyclos no les beneficia el  $\text{NH}_4^+$  cuando la mayor parte del N está como  $\text{NO}_3^-$  (80/20); les resulta eficaz el catión cuando se suministra en concentraciones casi equivalentes a las de  $\text{NO}_3^-$ , a la vez que niveles muy altos de  $\text{NH}_4^+$  (70%) causan efectos perjudiciales.

SUMMARY

STUDY OF CUCUMBER PLANT RESPONSE TO  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  RATIOS

Cucumber plants were hydroponically grown in a greenhouse with four  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  ratios (100/0, 80/20, 60/40 and 30/70), in order to study their tolerance to  $\text{NH}_4^+$  supply. Plants grown in 60/40  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  solution displayed higher weight than  $\text{NO}_3^-$  treated plants. By contrast, plants grown with  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  ratios of 80/20 and 30/70 showed lower growth than plants fed with  $\text{NO}_3^-$  as the sole source of N. As the proportion of  $\text{NH}_4^+$  in the nutrient solution was increased Ca, Mg, Mn and B in the leaf and Ca and Mg in the root decreased, whereas P, K, and Zn concentrations in the leaf and Fe, B and Zn levels in the root increased. Finally,  $\text{NH}_4^+$  supplied in low and high concentrations was

harmful to cucumber plants cv. Hyclos development, whereas it is really efficient when  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{NH}_4^+$  are supplied in about equivalent amounts (60/40).

## INTRODUCCIÓN

Muchas especies vegetales crecen de manera óptima cuando se les suministra conjuntamente  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ . Sin embargo, las proporciones a aportar son muy variables dependiendo de cada cultivo. En general, se acepta que la mayoría de las plantas crecen mejor cuando el nivel de  $\text{NO}_3^-$  en el medio es elevado con respecto a la concentración de  $\text{NH}_4^+$ ; no obstante, existen algunas excepciones (1). Esta diferencia de respuesta ante la forma de nutrición nitrogenada va a depender de que las plantas desarrollen o no mecanismos de tolerancia a ambas formas de N, y esta cuestión adquiere suma importancia al considerar especies de interés agrícola (2).

La nutrición amónica pura es más favorable en especies cuya capacidad para la asimilación de  $\text{NH}_4^+$  es mayor que para la reducción de  $\text{NO}_3^-$ . Tal es el caso de las ericáceas, de las coníferas y de ciertos tipos de pastos (2). Esta restricción en el uso de la forma aniónica se asocia con una muy baja actividad NR-asa. La falta de un sistema bioquímico para utilizar eficazmente el  $\text{NO}_3^-$  podría ser una interesante explicación ecológica a la preferencia de amonio (3).

En lo que se refiere a la respuesta de la planta de pepino a las dos formas de N en el medio de nutrición, hay opiniones contradictorias originadas por las distintas condiciones experimentales de cada ensayo. Así, Ingestad (4) obtiene mayores rendimientos, en peso seco, con una relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  de 60/40 y reducciones significativas del crecimiento al aumentar la concentración externa de  $\text{NH}_4^+$ . Sin embargo, Alan (5) alcanza mejores resultados con una proporción 100/0 y observa un efecto perjudicial para el vegetal a concentraciones de  $\text{NH}_4^+$  mayores del 50%.

Debido a que el pepino es una planta calcícola obligada, que además tiene una alta tasa de consumo de nutrientes, a destacar N, K, Ca y Mg, y a que su resistencia al  $\text{NH}_4^+$  no está muy clara, se ha escogido al objeto de estudiar su grado de tolerancia a concentraciones crecientes de  $\text{NH}_4^+$  en el medio de cultivo.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo con el cv. Hyclos de la especie citada, cuyas semillas se hicieron germinar en caja Petri a una temperatura de 28 °C. Una vez producida la nascencia, se trasladaron a un semillero de plástico y después a los tiestos definitivos cuando las plantas alcanzaron, aproximadamente, 10 cm de altura. A partir de este momento, se mantuvieron en un invernadero durante

7 semanas bajo las condiciones ambientales siguientes: Temperatura máx. diurna, 28 °C; temperatura mín. nocturna, 13 °C; humedad relativa diurna, 55%; humedad relativa nocturna, 80%; irradiación diaria media, 250 W m<sup>-2</sup>.

El sistema de cultivo utilizado fue hidroponía en tiestos tipo Riviera, los cuales están dotados de un mecanismo de ascenso de la disolución nutriente por capilaridad y tienen una capacidad para 3 kg de arena de cuarzo con un diámetro de partícula entre 0.5 y 2 mm. En cada tiesto se dispuso una planta.

La disolución nutritiva usada como control (100% N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) fue la propuesta por Hoagland y Arnon, (6) cuya composición es la siguiente: *Macroelementos* (mol m<sup>-3</sup>), Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, 5.5; KNO<sub>3</sub>, 4; KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 2; MgSO<sub>4</sub>, 1.25; NaCl, 0.2 y *oligoelementos* (g m<sup>-3</sup>), Fe-EDDHA, 2.5; ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 0.1; CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O, 0.1; SO<sub>4</sub>Mn·H<sub>2</sub>O, 0.5; H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, 0.5; (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>·4H<sub>2</sub>O, 0.05. Tomando esta disolución como referencia se prepararon otras tres en las que se modificó la fuente de N, puesto que se introducía el ión NH<sub>4</sub><sup>+</sup> hasta alcanzar un 20%, 40% y un 70% de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, respectivamente. Dos veces por semana se renovaban las disoluciones nutritivas de los tiestos.

Los tratamientos aplicados a las plantas fueron las relaciones NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (100/0, 80/20, 60/40 y 30/70), haciéndose un diseño experimental en bloques al azar con tres repeticiones para cada uno de los tratamientos. En el momento del cuaje de los primeros frutos, se midieron los índices de crecimiento y se realizó el análisis mineral de hoja y raíz.

Los elementos determinados en cada órgano vegetal fueron Ca, Mg, Fe, Mn, Cu y Zn por espectrofotometría de absorción atómica, K y Na por espectrofotometría de emisión y N, P y B por colorimetría automatizada en un autoanalizador Technicon.

Finalmente, con los datos experimentales obtenidos, se realizó un análisis de varianza y se compararon los valores medios por el test de la mínima diferencia significativa, p=0.05 (7).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Indices de crecimiento*

En las figuras 1 y 2 se muestran las longitudes y los pesos medios, respectivamente, de las plantas de pepino sometidas a las relaciones NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (100/0, 80/20, 60/40 y 30/70).

Las longitudes del vástago, de la raíz y del total no presentan diferencias significativas para ninguno de los cuatro tratamientos, si bien la relación 60/40 causa un aumento en la altura total de las plantas.

En lo que se refiere a los pesos de hoja, tallo, raíz, vástago y total, se observa una tendencia a la disminución en los tratamientos 80/20 y 30/70, aunque la pérdida de peso sólo es significativa al considerar el vástago y el

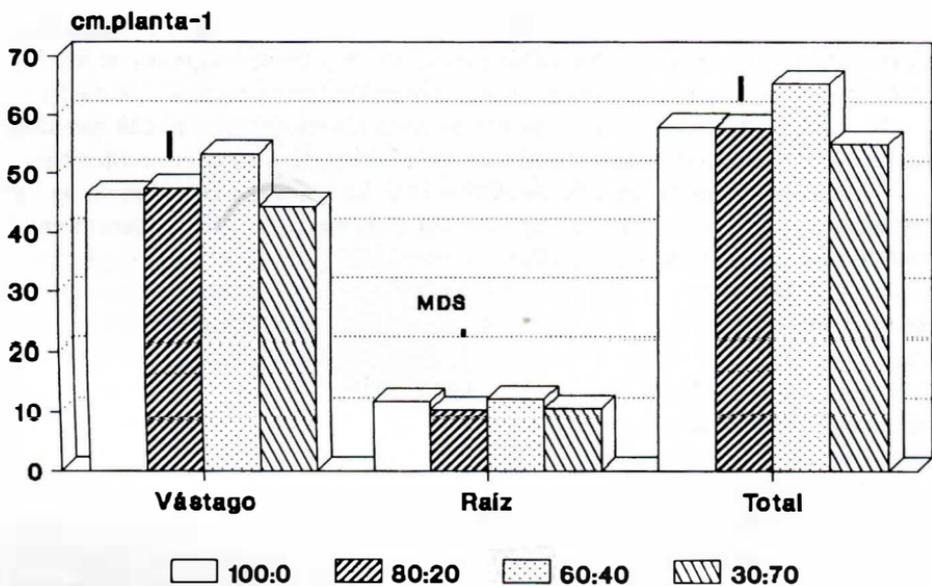


Figura 1. Longitudes medias de la raíz, vástago y total de las plantas tratadas con distintas relaciones  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ .

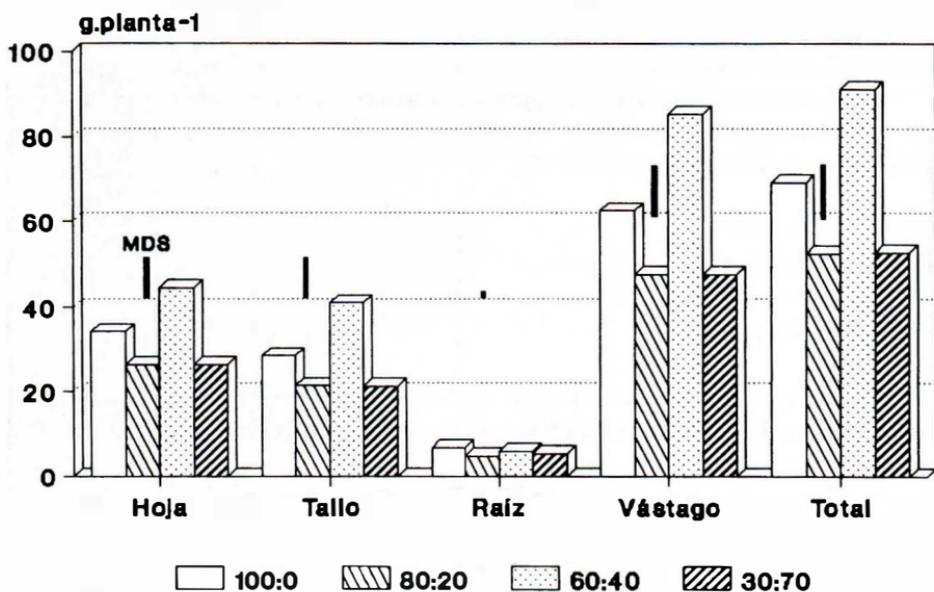


Figura 2. Pesos medios de la raíz, hojas, tallo, vástago y total de las plantas tratadas con distintas relaciones  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ .

total, y en la relación 80/20 además para la raíz. Sin embargo, las plantas cultivadas con la proporción 60/40 ofrecen un peso total superior al testigo (100/0), que representa el 31%-hoja, 44%-tallo y 37%-vástago. En este ensayo no se detectan efectos significativos sobre el crecimiento de las raíces que sean causados por el tipo de nutrición nitrogenada, al igual que advierten Moritsugu et al. (1). Aunque, por otro lado, se aprecia que al comparar con el resto de los órganos, la raíz es el menos beneficiado por el aporte de  $\text{NH}_4^+$ , coincidiendo en ello con otros autores (4)(5)(8).

### Análisis mineral

En las tablas 1 y 2 se muestran las concentraciones medias de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, B, Cu y Zn en hoja y raíz, de las plantas cultivadas con las distintas relaciones  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ .

En cuanto al N, en hoja se aprecia que al comparar con el testigo (100/0) no se encuentran diferencias significativas entre los tratamientos. Por el con-

**TABLA 1**

**Concentraciones medias de N, P, K, Ca y Mg ( $\text{g kg}^{-1}$  m.s.) en hoja y raíz de las plantas sometidas a distintas relaciones  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$**

Nutrientes	Relaciones $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$				MDS <sub>5%</sub>
	100/0	80/20	60/40	30/70	
N hoja	37,9	38,3	33,1	46,0	9,6
N raíz	13,1	13,6	15,3	13,6	2,0
P hoja	10,1	9,3	9,1	13,6	1,3
P raíz	5,8	6,8	7,3	5,6	1,2
K hoja	29,5	26,9	27,0	36,3	6,7
K raíz	37,0	42,5	38,6	31,0	6,1
Ca hoja	62,1	64,0	55,9	42,5	14,6
Ca raíz	12,3	9,6	8,8	7,1	1,2
Mg hoja	6,3	5,6	5,6	5,2	2,0
Mg raíz	4,2	4,3	4,5	3,6	0,7

TABLA 2

Concentraciones medias de Fe, Mn, B, Cu y Zn ( $\text{g kg}^{-1}$  m.s.) en hoja y raíz de las plantas sometidas a distintas relaciones  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$

Nutrientes	Relaciones $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$				MDS <sub>5%</sub>
	100/0	80/20	60/40	30/70	
Fe hoja	0,112	0,099	0,097	0,100	0,013
Fe raíz	0,332	0,333	0,377	0,470	0,055
Mn hoja	0,125	0,087	0,112	0,090	0,024
Mn raíz	0,057	0,056	0,093	0,067	0,030
B hoja	0,086	0,066	0,072	0,065	0,013
B raíz	0,037	0,021	0,032	0,051	0,008
Cu hoja	0,010	0,011	0,009	0,013	0,004
Cu raíz	0,022	0,022	0,025	0,020	0,007
Zn hoja	0,049	0,048	0,052	0,071	0,012
Zn raíz	0,066	0,090	0,118	0,103	0,032

trario, en la raíz se distingue claramente que la concentración de N total tiende a aumentar, como consecuencia de la presencia de  $\text{NH}_4^+$  en el medio de nutrición, siendo la diferencia significativa para la relación 60/40. De igual modo, otros autores (1)(5)(9) han comprobado, en especies clasificadas como tolerantes al  $\text{NH}_4^+$  tales como pepino, maíz, judía y sorgo, incrementos de N en planta cuando se cultivan con  $\text{NH}_4^+$ , y coinciden en que este efecto es más ostensible en la raíz. Lo cual es de esperar ya que, las plantas cultivadas con el catión, necesitan una mayor síntesis de proteínas que las sometidas a nutrición nítrica exclusiva, al objeto de paliar el efecto perjudicial del  $\text{NH}_4^+$  libre.

Respecto al P, se encuentran, en este caso, niveles más elevados de este nutriente en planta cuando la nutrición nitrogenada es mixta, lo que coincide con lo obtenido por otros autores (10)(11). Sin embargo, la influencia del  $\text{NH}_4^+$  sobre la concentración de P es diferente dependiendo del órgano vegetal analizado, así en hoja se obtiene un incremento significativo al suministrar el 70% N- $\text{NH}_4^+$ , mientras que en raíz este aumento se consigue con el 40% N- $\text{NH}_4^+$ .

En lo que se refiere al K, en hoja no se encuentran diferencias significa-

tivas para las relaciones  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  de 80/20 y de 60/40 en comparación al testigo (100/0). En cambio, la relación 30/70 ocasiona un aumento del K foliar (23%). En raíz, se obtiene un solo aumento significativo (15%) pero en este caso para la relación 80/20. Estos resultados están de acuerdo con los obtenidos por Alan (5); no obstante, hay que considerar que en otros ensayos la presencia de  $\text{NH}_4^+$  deprime la absorción de K y esto se entiende como un síntoma de toxicidad amónica (10)(11) (12). En los casos que no se produzca ésta, el K permanecerá invariable. No obstante, Hiatt (14) propone que aunque la concentración de  $\text{NH}_4^+$  en el medio sea baja, existirá una disminución en la absorción de K y cita tres mecanismos para explicar este efecto: a) una competición directa entre el  $\text{NH}_4^+$  y el K; b) una reducción en la capacidad de acumulación del K debido a la baja concentración de ácidos orgánicos indifusibles y c) una menor disponibilidad de contraiones móviles para su absorción, tales como  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{NO}_3^-$ .

En relación al Ca, se observa una reducción significativa en el nivel de este elemento, en los dos órganos analizados para el tratamiento 30/70. Con respecto al resto de tratamientos se aprecia, en raíz, una tendencia a disminuir a medida que aumenta la proporción de  $\text{NH}_4^+$  en el medio de cultivo. Es importante resaltar los elevados porcentajes de Ca encontrados en las hojas en comparación con otros macroelementos (K y Mg). Este hecho no es de extrañar, ya que el pepino es una planta calcícola obligada con requerimientos de altos niveles externos de Ca (4).

El Mg tiene tendencia a disminuir, tanto en hoja como en raíz al aumentar la concentración externa de  $\text{NH}_4^+$ , aunque esta reducción sólo es significativa en la raíz y para el tratamiento 30/70. Macklon y Sim, (12) observaron que la presencia de  $\text{NH}_4^+$  en el medio nutritivo, provocaba un cambio en el potencial eléctrico de la raíz, causado por una variación en el balance iónico, por lo que las fuerzas electroquímicas de entrada de Ca y Mg, se verían disminuidas. Sin embargo, la absorción de K se produce en contra de este potencial debido a mecanismos de absorción activa.

En cuanto a los oligoelementos, el Fe manifiesta un comportamiento distinto en cada uno de los órganos considerados. Así, mientras que disminuye en las hojas de las plantas sometidas a nutrición mixta, sobre todo para la relación 60/40 (13%), en las raíces aumenta al hacerlo la proporción de  $\text{NH}_4^+$  suministrada y más ostensiblemente para la relación 30/70 (42%). Resultados diferentes a éstos, encuentran Bernardo et al., (15) en sorgo, especie que junto al pepino está clasificada como tolerante al  $\text{NH}_4^+$  (1).

Respecto al Mn, su concentración aumenta en hoja, tanto para la relación 80/20 (30%) como para la 30/70 (28%) y se obtienen valores iguales al testigo (100/0) para la 60/40. Sin embargo, en la raíz de las plantas sometidas a esta última relación aumenta significativamente el nivel de Mn (63%).

La concentración de B disminuye en las hojas de las plantas cultivadas con amonio, siendo esta reducción más acusada para el aporte del 40% de  $\text{N-NH}_4^+$ .

En la raíz, su comportamiento no es homogéneo, ya que disminuye y aumenta significativamente para los tratamientos 80/20 y 30/70, respectivamente.

Por último, el Zn muestra una tendencia a aumentar en la planta a medida que lo hace el  $\text{NH}_4^+$  en el medio de cultivo, aunque este efecto es más acusado en la raíz que en la hoja.

## CONCLUSIONES

1) Al cv. Hyclos de la especie *Cucumis sativus* L. no le beneficia el  $\text{NH}_4^+$  cuando la mayor parte del N está como  $\text{NO}_3^-$  (80%).

2) Le resulta eficaz el uso del  $\text{NH}_4^+$  cuando éste se encuentra en una proporción aproximadamente del 50% con respecto al total de N (60/40).

3) El aporte de  $\text{NH}_4^+$  en concentraciones elevadas (70%) le causa efectos perjudiciales.

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) MORITSUGU, M., SUZUKI, T. and KAWASAKI, T. Effect of nitrogen source on growth and mineral uptake in plants under constant pH and conventional culture conditions. Ber. Ohara Inst. Landw. Biol. Okayama Univ., 18: 125-144. (1983)
- (2) RUNGE, M. Physiology and ecology of nitrogen nutrition. Encyclopedia of Plant Physiology. New series, 12C: 163-200.(1983).
- (3) HAVILL, D.C., LEE, J.A. and STEWARD, G.R. Nitrate utilization by species from acid and calcareous soils. New Phytol., 73: 1221-1231. (1974)
- (4) INGESTAD, T. Mineral nutrient requirements of cucumbers seedlings. Plant Physiol., 52: 332-338. (1973)
- (5) ALAN, R. The effect of nitrogen nutrition on growth, chemical composition and response of cucumbers (*Cucumis sativus* L.) to nitrogen forms in solution culture. J. Hort. Sci., 64: 469-47. (1989)
- (6) HOAGLAND, D.R. and ARNON, D.I. The water-culture method for growing plants without soil. Calif. Agrc. Exp. Stat. Circ., 347. (1950)
- (7) ROBERTS, R. and LOPEZ-FANJUL, C. Apuntes de estadística elemental. Ed. I.N.I.A., Madrid. (1974)
- (8) GOYAL, S.S., HUFFAKER, R.C. and LORENZ, O.A. Inhibitory effects of ammoniacal nitrogen on growth of radish plants. II. Investigation on the possible causes of ammonium toxicity of radish plants and its reversal by nitrate. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 107: 130-135. (1982)
- (9) ARZONIS, P.A. and FINDENEGG, G.R. Electrical charge balance in the xylem sap of best and sorghum plants grown with either  $\text{NO}_3^-$  or  $\text{NH}_4^+$ -N. Plant Physiol., 125: 441-449. (1986)
- (10) WILCOX, G.E., MITCHELL, C.A. and HOFF, J.E. Influence of nitrogen form on exudation rate and ammonium, amide and cation composition of xylem exudate in tomato. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 10: 192-196. (1977)
- (11) REISENAUER, H.M. Absorption and utilization of ammonium nitrogen by plants.

Nitrogen in the environment. Eds. D.R. Nielsen and J.G. Macdonald. Vol.2: 157-170. Academic Press, New York. (1978)

- (12) MACKLON, A.E. and SIM, A. Electrophysiological factors in influence of nitrate and ammonium ions on calcium uptake and traslocation in tomato plants. *Physiol. Plant.*, 49: 449-454. (1980)
- (13) FLEMING, A.L., KRIZEK, D.T. and MIRECKI, R.H. Influence of ammonium nutrition on growth and mineral composition of two chrysanthemum cultivars differing in drought tolerance. *J. Plant Nutr.*, 10: 1869-1881. (1987)
- (14) HIATT, A.J. Critique of absorption and utilization of ammonium nitrogen in plants. Nitrogen in the environment. Eds. D.R. Nielsen and J.G. MacDonald. Vol. 2: 191-200. Academic Press, New York. (1978)
- (15) BERNARDO, L.M., CLARK, R.B. and MARANVILLE, J.W. Nitrate/Ammonium ratio effects on mineral element uptake by sorghum. *J. Plant Nutr.*, 7: 1389-1400. (1984)