

# ABSORCION DE NITRATO Y AMONIO POR PLANTAS DE NOPAL EN HIDROPONIA

## Nitrate and Ammonium Uptake by Cactus Pear in Hydroponics

Clemente Gallegos-Vázquez<sup>1</sup>, Emilio Olivares-Sáenz, Rigoberto Vázquez-Alvarado y Francisco Zavala-García<sup>2</sup>

### RESUMEN

El nitrógeno (N) es el elemento de mayor influencia en el crecimiento de cualquier cultivo y del nopal para nopalito (*Opuntia ficus-indica*). Sin embargo, son muy escasos los estudios que se han realizado para establecer las bases relacionadas con la fuente, dosis y época de suministro del fertilizante nitrogenado en función de la capacidad de extracción y selectividad por la planta del nopal. El objetivo del presente trabajo fue detectar la cinética de la absorción de los iones  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  en *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. en función de la fuente nitrogenada en la solución nutritiva. Para tal efecto se usó  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  y  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  como fuentes de N a una concentración de  $150 \text{ mg L}^{-1}$ . Se empleó un diseño experimental de bloques al azar con siete repeticiones. La unidad experimental estuvo representada por una planta. La velocidad de absorción de los iones se estimó por el método de agotamiento en la solución. En los resultados se observó una mayor absorción de nitrógeno con N- $\text{NO}_3$  como fuente nitrogenada en la solución nutritiva; esta mayor absorción de N- $\text{NO}_3$  se asoció con una mayor producción de materia seca de los brotes y un incremento en el pH de la solución nutritiva comparado con el N- $\text{NH}_4$ .

**Palabras clave:** Metabolismo del N, fuentes de N, reducción del nitrato, *Opuntia*.

### SUMMARY

Nitrogen (N) is the element that most influences growth of all crops, including cactus pear (*Opuntia* sp.) grown for 'nopalitos.' However, there are few studies that establish the bases relative to source, dosage, and time of application of nitrogenous fertilizers in function of the plant's capacity for extraction and selectivity. The objective of this study was to study kinetic absorption of  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{NH}_4^+$  ions by *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  and  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  were used as sources of nitrogen at a concentration of  $150 \text{ mg L}^{-1}$ . The experimental design was randomized complete block with seven replications. The experimental unit was one plant. The speed of ion absorption was estimated with the depletion method. Results showed higher nitrogen absorption with N- $\text{NO}_3$  as the nitrogen source in the nutrient solution. Absorption was associated with higher production of dry matter in the young pads and a higher pH in the nutrient solution compared with plants with N- $\text{NH}_4$  as the nitrogen source.

**Index words:** N metabolism, N sources, nitrate reduction, *Opuntia*.

### INTRODUCCION

En estudios de fertilidad y nutrición de agaves y cactus, se ha dado mayor énfasis al nitrógeno (N), debido a que este elemento tiene mayor influencia en su crecimiento (Nobel, 1988). En México, la gran mayoría de los trabajos realizados sobre este tema se han llevado a cabo mediante tratamientos de prueba y error, sin que existan las bases teóricas y técnico-científicas relacionadas con las fuentes, dosis y épocas de aplicación de los nutrimentos en función de la capacidad de extracción y selectividad de los mismos por la planta del nopal.

<sup>1</sup> Centro Regional Universitario Centro Norte, Universidad Autónoma Chapingo. Apartado Postal 196, 98000 Zacatecas, Zac., México. Telefax (492) 46147.  
e-mail: clemgava5@hotmail.com

<sup>2</sup> Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Apartado Postal 358, 66450 San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México. Telefax (824) 80022.

Recibido: Junio de 1998.  
Aceptado: Octubre de 2000.

Epstein (1972), Mengel y Kirkby (1987), Jingquan y Dewei (1988), Hageman (1992), Maldonado (1993) y Salisbury y Ross (1994) han documentado ampliamente que las plantas pueden utilizar  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  como fuente de nitrógeno. Sin embargo, no está perfectamente definida la forma de nitrógeno ( $\text{NO}_3^-$  o  $\text{NH}_4^+$ ) adecuada para obtener la máxima productividad de la cosecha. Mengel y Kirkby (1987) reportaron los resultados de diversos trabajos, a partir de los cuales se estableció que muchas especies de plantas crecen mejor cuando son suministradas con  $\text{NO}_3^-$  que con sales de  $\text{NH}_4^+$ . Hageman (1992) consideró que tal respuesta es válida, especialmente cuando las condiciones culturales son optimizadas para cada fuente de N, reconociendo que bajo muchas condiciones de campo, la pregunta es difícil de responder debido a que bajo condiciones favorables para el crecimiento de la planta, los microorganismos del suelo convierten rápidamente el  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_3^-$ . Al respecto, Mengel y Kirkby (1987) agregaron que en contraste con el  $\text{NO}_3^-$ , el  $\text{NH}_4^+$ , debido a sus propiedades catiónicas, es fuertemente adsorbido por arcillas minerales cargadas negativamente, tales como la illita, vermiculita y montmorillonita. Estos autores reportan que los suelos ricos en este tipo de arcillas, contienen frecuentemente cantidades que pueden promediar entre 2000 y 3000 kg ha<sup>-1</sup> de  $\text{NH}_4^+$  fijado.

En relación con los efectos de N- $\text{NO}_3^-$  y N- $\text{NH}_4^+$ , solos o combinados, ha sido documentado que una proporción óptima de  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  favorece el crecimiento de la planta de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) (Jingquan y Dewei, 1988) y rendimiento (Kwak *et al.*, 1989), mientras que una absorción y acumulación excesivas de  $\text{NH}_4^+$  pueden causar toxicidad y concentración baja de Ca y Mg en el tejido de tomate (Jingquan y Dewei, 1988). De acuerdo con Sandoval (1992), en el caso del trigo (*Triticum aestivum* L.), es posible obtener una mayor producción de grano y de materia seca cuando se emplea  $\text{NH}_4^+$  en relaciones menores que o iguales a 50% de la cantidad de N que cuando la planta es suministrada exclusivamente con  $\text{NO}_3^-$ .

Hageman (1992), después de realizar un análisis del efecto de las formas de N sobre el crecimiento de las plantas, concluyó que, pareciera que “no existe nada nuevo bajo el sol” y que las conclusiones logradas por Arnon en 1937, hoy día parecen ser igualmente válidas, en el sentido de que las sales de  $\text{NO}_3^-$  son consideradas como la “caja de caudales” para la producción de plantas. Sin embargo, existen excepciones para este enunciado, ya que la fuente

preferente para el crecimiento de la cosecha depende de la especie de la planta y otros factores ambientales, como temperatura y humedad. En este contexto, Griffith y Streeter (1994) reportaron que bajo temperaturas frías y condiciones de suelo húmedo (con frecuencia inundado), el  $\text{NH}_4^+$  es la forma nitrogenada más importante para el crecimiento y desarrollo del ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam. cv. Surrey).

Asimismo, Cao y Tibbitts (1994) argumentaron que el valor del pH en la zona de raíces es influenciado por la forma nitrogenada ( $\text{NH}_4^+$  o  $\text{NO}_3^-$ ) que se utiliza en la fertilización; con fertilización y absorción de  $\text{NO}_3^-$ , el valor del pH se incrementa, mientras que con fertilización y absorción de  $\text{NH}_4^+$  el pH se disminuye. Se ha reportado que la temperatura y el pH del medio radicular afectan diferencialmente la absorción de ambos tipos de iones. Hageman (1992) sostuvo que la absorción de  $\text{NH}_4^+$  fue altamente dependiente de la temperatura (óptima 27 °C) cuando el pH fluctuó entre 4.0 y 6.5 y fue independiente de ésta a un intervalo de pH de 6.5 a 8.5. En tanto, la absorción de  $\text{NO}_3^-$  fue altamente dependiente de la temperatura con un óptimo de 35 °C.

La absorción de cualquiera de las dos formas nitrogenadas ha sido asociada con condiciones favorables de pH existentes en el medio de crecimiento. Se ha encontrado en varias especies de cultivos que los incrementos en el pH promueven la absorción de  $\text{NH}_4^+$ , mientras que una reducción del mismo favorece la absorción de  $\text{NO}_3^-$  (Cao y Tibbitts, 1994). En general, un medio nutritivo con un pH de 4.5 a 6.0 se considera óptimo para la absorción de  $\text{NO}_3^-$ , mientras que un pH de 6.0 a 7.0 se considera el óptimo para el  $\text{NH}_4^+$  (Hageman, 1992).

Finalmente, el N absorbido por las raíces de las plantas es trasladado en el xilema a las partes superiores de la planta. La forma en la cual el nitrógeno es transportado depende de la fuente de N absorbida y del metabolismo de la raíz. La forma y cantidad de nitrógeno suministrado a la planta puede influenciar la separación y acumulación de carbohidratos en diferentes partes de la misma, debido a diferencias en requerimientos energéticos de la absorción y asimilación del N- $\text{NH}_4^+$  y N- $\text{NO}_3^-$ . En medios hidropónicos, Jingquan y Dewei (1988) evaluaron el efecto de diferentes formas de nitrógeno en tomate y reportan que los tratamientos consistentes en  $\text{NH}_4^+$  solo y  $\text{NH}_4^+$  más amidas produjeron el contenido de azúcares solubles más alto; sin embargo,

los autores recomendaron que se requerían de más estudios para dilucidar si este incremento en el azúcar soluble fue causado por la absorción directa del  $\text{NH}_4^+$  sin la necesidad del proceso de la reducción asimilable del  $\text{NO}_3^-$ .

Aunque el efecto de la forma de nitrógeno sobre el crecimiento de las plantas ha sido objeto de un gran número de estudios, aún existen fuertes discrepancias en los resultados (Mengel y Kirkby, 1987; Cao y Tibbitts, 1994; Griffith y Streeter, 1994; Osaki *et al.*, 1995a,b), sobre todo si se consideran la especie de la planta y otros factores ambientales, tales como temperatura, humedad y pH del suelo. En adición a lo anterior, el estado nutricional mineral de las plantas, el cual afecta de muchas maneras su actividad metabólica, ha sido estudiado en detalle para plantas  $\text{C}_3$  y  $\text{C}_4$ , en tanto que las plantas CAM en general y el nopal en particular han recibido una escasa atención, de manera que son pocos los estudios que revelan el efecto de los iones minerales sobre este tipo de plantas (Nobel, 1983).

Con base en lo precedente, se realizó el presente experimento en el cual se estableció como objetivo principal estudiar la cinética de la absorción de los iones  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  en nopal en función de la fuente nitrogenada en una solución hidropónica.

## MATERIALES Y METODOS

El experimento se desarrolló en las instalaciones de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Se utilizaron plantas del clon de nopal para verdura *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., las cuales se habían establecido previamente en macetas de 25 cm de diámetro por 25 cm de altura, con drenaje en el fondo; se usó arena de río (Cuadro 1) como medio de soporte.

La arena de río se pasó por una malla de 2 mm y se lavó con una solución de ácido sulfúrico (0.2%). Las plantas se establecieron en el mes de junio de 1995 y se mantuvieron por un período de ocho meses; se les suministraron dos riegos por semana con una solución nutritiva estándar, utilizada con éxito por

Calderón (1997) en estudios de tres especies de nopal, cuya composición fue la siguiente: N ( $150 \text{ mg L}^{-1}$ ), P ( $40 \text{ mg L}^{-1}$ ), K ( $225 \text{ mg L}^{-1}$ ), Ca ( $210 \text{ mg L}^{-1}$ ), Mg ( $40 \text{ mg L}^{-1}$ ), Fe ( $12 \text{ mg L}^{-1}$ ), Mn ( $2 \text{ mg L}^{-1}$ ), Cu ( $0.1 \text{ mg L}^{-1}$ ), Zn ( $0.25 \text{ mg L}^{-1}$ ), Mo ( $0.05 \text{ mg L}^{-1}$ ) y B ( $0.6 \text{ mg L}^{-1}$ ).

Las plantas enraizadas se extrajeron mediante lavado con agua corriente de manera de no lastimar la raíz, la cual se lavó además con agua destilada, y finalmente fueron transferidas el 12 de marzo de 1996 a recipientes de plástico con soluciones nutritivas aireadas, con un pH que se ajustó a 5.8. Las cubiertas de los recipientes se acondicionaron a fin de dar cabida a las plantas, cada agujero se ajustó con hule espuma para una mejor posición de los cladodios y evitar en lo posible pérdidas de solución por evaporación; asimismo a cada tapa se le hicieron dos orificios, uno para la toma de muestras y reposición de solución y otro para el acceso de las mangueras de aireación.

Las plantas se mantuvieron por un período de diez días con la solución nutritiva al 50% de la concentración original. Posteriormente, la solución nutritiva se volvió a cambiar por otra con 50 % de la concentración inicial pero sin nitrógeno; las plantas se mantuvieron en esta condición durante otro período de 10 días con el propósito de inducir la absorción de nitrógeno. Después de este tiempo, las soluciones se cambiaron por aquellas que incluyeron N- $\text{NO}_3^-$  y N- $\text{NH}_4^+$ :  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  y  $(\text{NH}_4)_2 \cdot \text{SO}_4$ . Las dos soluciones nutritivas se prepararon a la misma concentración ( $150 \text{ mg L}^{-1}$  de N). En el Cuadro 2 se presenta la composición química completa de las soluciones nutritivas utilizadas, en tanto que en el Cuadro 3 se presentan las concentraciones de aniones y cationes de ambas soluciones.

Para evitar la posible nitrificación, antes de diluir el  $(\text{NH}_4)_2 \cdot \text{SO}_4$  se aplicó el inhibidor de la nitrificación N-SERVE 24 a razón de 2% (peso/peso) con base en N- $\text{NH}_4$  suministrado.

Los tratamientos evaluados fueron:  $\tau_1 = \text{N-NO}_3^-$  y  $\tau_2 = \text{N-NH}_4^+$ , como fuentes de nitrógeno. Se empleó un diseño experimental de bloques al azar, con siete

**Cuadro 1. Algunas características físicas y químicas del sustrato utilizado en este estudio.**

Textura			CC <sup>†</sup>	PMP	HA	pH	CE	N	K	Ca	Mg
Arcilla	Limo	Arena									
----- % -----			----- % -----				$\text{dS m}^{-1}$	%	----- $\text{mg L}^{-1}$ -----		
4.0	6.0	90.0	5.84	3.5	2.27	7.6	0.081	0.07	6.4	38.2	10.5

<sup>†</sup>CC = Capacidad de campo. PMP = Punto de marchitez permanente. HA = Humedad aprovechable. CE = Conductividad eléctrica.

**Cuadro 2. Composición de las dos soluciones nutritivas de acuerdo con las fuentes nitrogenadas utilizadas.**

Elemento	Concentración mg L <sup>-1</sup>	Fuente (Comp. químico)	Cantidad requerida	
			Tratamiento	
			N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>
			g 100 L <sup>-1</sup>	
N	150	KNO <sub>3</sub>	2.163	-
		Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	123.90	-
		(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	70.809
P	40	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	17.56	17.560
K	225	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	37.056	38.923
Ca	210	CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	-	58.153
Mg	40	MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	41.078	41.078
g para preparar 1000 L de solución patrón				
B	0.6	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	3.4320	3.4320
Mn	2.0	MnSO <sub>4</sub> · 4H <sub>2</sub> O	0.6091	0.6091
Zn	0.2	ZnSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	0.8794	0.8794
Cu	0.1	CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	0.3929	0.3929
Mo	0.05	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> · 4H <sub>2</sub> O	0.0920	0.0920
Fe	12.0	Maxiquel Fe 930 <sup>†</sup>	71.42	71.42

<sup>†</sup> El Fe se aplicó en forma de EDTA con 7% de Fe.

repeticiones. La unidad experimental consistió en una planta.

Se tomaron muestras (25 mL) de la solución nutritiva de cada contenedor a los 5, 10, 15, y 20 días después del inicio del ensayo (DDIE), manteniendo el volumen constante mediante la adición diaria de agua deionizada, sin cambiar la solución; asimismo, se determinaron diariamente el pH y la temperatura de la solución; para ello se utilizaron el potenciómetro y un sistema de termopares, respectivamente. La determinación de N-NO<sub>3</sub> se hizo mediante el método para el análisis de agua y aguas residuales propuesto por Clesceri *et al.* (1989). Para la determinación del N-NH<sub>4</sub> se utilizó el método Kjeldahl. La velocidad de absorción de los iones se estimó por el método de agotamiento empleado por Olivares (1987), a partir del cual se construyeron las curvas de absorción para cada ion respectivo.

En la etapa final del ensayo (20 DDIE), 25 días después de establecidos los tratamientos, se tomaron

muestras de raíz y tallo (cladodio basal y brotes), las cuales se secaron a 65 °C durante 72 horas y se cuantificó tanto la materia seca de los brotes producidos (MSB) como la de la raíz (MSR).

Para el análisis estadístico se empleó el software del Statistical Analysis System (SAS, ver. 6.11) disponible para el ambiente windows; también se incluyó el análisis de varianza y correlación.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados del experimento (Cuadro 4) indican que existe diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) en los niveles de absorción de nitrógeno en función de la fuente nitrogenada en la solución nutritiva. Estas diferencias se mostraron en cada fecha de observación (Figura 1) y en la absorción acumulada; se registró una mayor absorción de nitrógeno en el tratamiento que incluyó N-NO<sub>3</sub> comparado con él que se suministró N-NH<sub>4</sub>.

**Cuadro 3. Balance de aniones y cationes de las dos soluciones nutritivas empleadas (meq L<sup>-1</sup>).**

Solución nutritiva (tratamiento)							
N-NO <sub>3</sub>				N-NH <sub>4</sub>			
Cationes		Aniones		Cationes		Aniones	
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	10.70	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	10.70		
K <sup>+</sup>	5.76	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	1.29	K <sup>+</sup>	5.76	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	1.29
Ca <sup>++</sup>	10.50	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	7.59	Ca <sup>++</sup>	10.50	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	18.46
Mg <sup>++</sup>	3.33			Mg <sup>++</sup>	3.33	Cl <sup>-</sup>	7.91

**Cuadro 4.** Nitrógeno absorbido en diferentes fechas de medición y materia seca producida por plantas de *Opuntia ficus-indica* en condiciones de hidroponía.

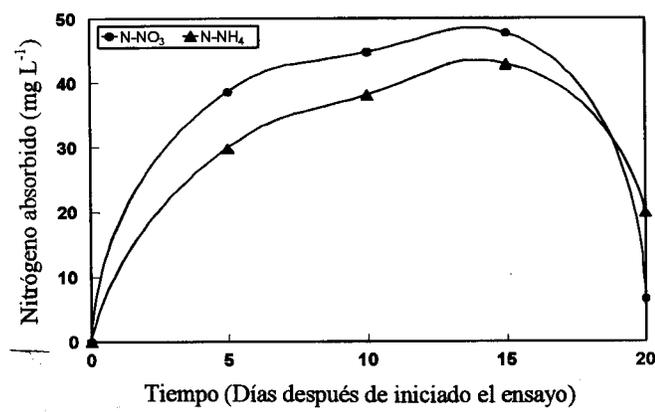
Fuente nitrogenada	Absorción acumulada de nitrógeno				MSB	MSR
	5 DDIE <sup>†</sup>	10 DDIE	15 DDIE	20 DDIE		
	----- mg L <sup>-1</sup> -----				----- g planta <sup>-1</sup> -----	
N-NO <sub>3</sub>	38.457 a	83.07 a	130.80 a	137.35 a	51.759 a	25.177 a
N-NH <sub>4</sub>	29.800 b	68.86 b	111.68 b	131.54 a	41.782 b	20.833 a

Medias con la misma letra en columna no son estadísticamente diferentes  $\alpha=0.05$ .

<sup>†</sup> DDIE = Días después de iniciado el ensayo. MSB = Materia seca en brotes. MSR = Materia seca en raíz

Aunque el efecto de la forma nitrogenada sobre el crecimiento de las plantas ha sido objeto de un gran número de estudios, aún existen fuertes discrepancias en los resultados, se acepta que la fuente preferente depende de la especie de la planta y otros factores ambientales. Para el caso particular de la planta de nopal en soluciones nutritivas aireadas, la mayor absorción de nitrógeno en forma de N-NO<sub>3</sub>, se asoció también con una mayor cantidad de materia seca de los brotes producidos (MSB), en promedio fue 20% mayor que cuando se suministró N-NH<sub>4</sub> (Cuadro 4) y se observó una tendencia similar en materia seca de la raíz, aunque no se registraron diferencias estadísticamente significativas.

En la Figura 1 se aprecia una tendencia clara de la mayor absorción de nitrógeno en forma de N-NO<sub>3</sub>; sin embargo, se registró una deflexión en la absorción de ambos tipos de iones en la última fecha de observación (20 DDIE), siendo de mayor magnitud en el caso del N-NO<sub>3</sub>. Esta tendencia podría ser, en cierto modo, debido a que para la última fecha se había consumido aproximadamente 96% del N-NO<sub>3</sub> suministrado en la solución nutritiva, lo cual guarda

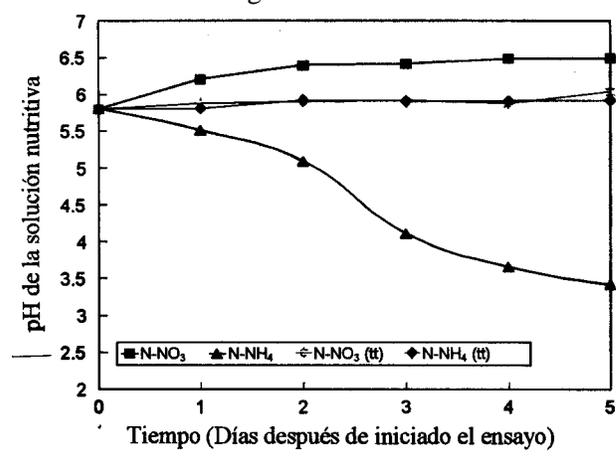


**Figura 1.** Dinámica de absorción de N-NO<sub>3</sub> y N-NH<sub>4</sub> en plantas de *Opuntia ficus-indica* L. Mill. por período de muestreo en condiciones de hidroponía.

correspondencia con lo reportado por Santos *et al.* (1992), Lainé y Boucaud (1995) y Sood *et al.* (1995), quienes encontraron que la cinética de la absorción del nitrógeno es dependiente de la concentración del mismo.

Con los resultados anteriores se puede sostener que las plantas de nopal, al igual que muchas especies de plantas [Mengel y Kirkby (1987); Hageman (1992)], presentan tasas de absorción más altas y crecen mejor cuando son suministradas con NO<sub>3</sub><sup>-</sup> que con sales de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

En la Figura 2 se presenta la variación del pH de la solución nutritiva producida por las plantas de nopal al ser sometidas a los tratamientos de fuentes nitrogenadas. Los cambios registrados revelan un ligero incremento del pH de la solución nutritiva suministrada con NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, en tanto que en el caso del tratamiento sobre la base de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> la modificación del pH fue a la baja en forma más marcada. El monitoreo del pH se realizó diariamente durante los 20 días que se mantuvo el experimento; sin embargo, únicamente se confeccionaron gráficas de los valores de los



**Figura 2.** Cambios en el pH de la solución nutritiva producidos por plantas de *Opuntia ficus-indica* L. Mill. sometidas a dos tratamientos de fuentes nitrogenadas. (tt = tratamiento testigo).

primeros cinco DDIE en virtud de que a partir de esa fecha, el pH de la solución suministrada con  $\text{NH}_4^+$  se ajustó diariamente a pH de 5.8 unidades mediante la adición de KOH 0.5 N.

Los cambios del pH de la solución nutritiva, en el tiempo, pueden explicarse a partir del principio de electroneutralidad de las células de la planta; la carga total de cationes es igualada a la carga de aniones. Cuando un catión es absorbido por la raíz, un anión también es absorbido o un catión es liberado; así, la absorción de  $\text{NH}_4^+$  puede ser acompañada de la liberación de  $\text{H}^+$  y afecta con ello el pH de la vecindad de la raíz. La absorción del  $\text{NO}_3^-$  es de tipo activo, ya que su transporte al interior de la célula se reduce considerablemente cuando se inhibe la síntesis de ATP y se acepta que el  $\text{NO}_3^-$  es cotransportado con  $\text{H}^+$  (Maldonado, 1993), con una estequiometría de  $2\text{H}^+:\text{NO}_3^-$ , lo cual explica la alcalinización del medio externo cuando las plantas absorben  $\text{NO}_3^-$ . Al respecto, Salisbury y Ross (1994) establecieron que los incrementos en el pH de la solución nutritiva se deben a que la absorción de  $\text{NO}_3^-$  se acompaña de absorción de  $\text{H}^+$  o excreción de  $\text{OH}^-$  para mantener el balance de cargas. Este tipo de comportamiento ha sido documentado con anterioridad por diversos autores [Marschener (1986); Nobel (1988); Hageman (1992); Cao y Tibbitts (1994); Salisbury y Ross (1994)], con lo que se confirma que con el suministro y la absorción de  $\text{NO}_3^-$  disminuye la concentración de  $\text{H}^+$ , mientras que con el suministro de  $\text{NH}_4^+$  el valor del pH disminuye.

La magnitud de la reducción del pH de la solución suministrada con N- $\text{NH}_4$  puede explicar en cierta medida la menor producción de materia seca de tallos y raíces de las plantas que crecieron en dicho tratamiento, puesto que se registraron reducciones de pH por debajo de valores de 4.0, lo cual guarda correspondencia con lo reportado por Dirr (1975) para plantas de *Viburnum plicatum* cuando crecen en un medio con pH de 3.0 a 4.0 y se suministra N- $\text{NH}_4$ , condiciones que generaron peso de materia fresca de tallos y raíces significativamente más bajo, que cuando se mantuvo el pH bajo pero se suministró el N en forma de N- $\text{NO}_3$  o N- $\text{NO}_3$  más N- $\text{NH}_4$ , o bien que cuando se utilizó cualquiera de las mismas combinaciones pero a valores de pH de 7.0 a 8.0.

## CONCLUSIONES

1. Las plantas de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., en condiciones de hidroponía, absorbieron más N cuando

fueron suministradas con N- $\text{NO}_3$ , que con sales de N- $\text{NH}_4$

2. Los valores de absorción más altos de N- $\text{NO}_3$  resultaron en una mayor producción de materia seca, con lo que se confirma que el nopal, así como muchas otras especies vegetales, crece mejor cuando se suministra esta forma nitrogenada.

3. El pH de la solución nutritiva cambió durante el desarrollo del experimento, se elevó en el tratamiento de N- $\text{NO}_3$  y disminuyó en el tratamiento con N- $\text{NH}_4$ , debido al balance de cargas o principio de electroneutralidad.

## LITERATURA CITADA

- Arnon, D.I. 1937. Ammonium and nitrate nitrogen nutrition of barley of different seasons in relation to hydrogen-ion concentration, manganese, copper and oxygen supply. *Soil Sci.* 44: 91-120.
- Calderón P., N., A.A. Estrada L. y J. de J. Martínez H. 1997. Efecto de la salinidad en el crecimiento y absorción nutricional de plantas micropropagadas de nopal (*Opuntia* spp.). pp. 165-166. *In:* R. Vázquez A., C. Gallegos V., N.E. Treviño H. y Y. Díaz T. (eds.). Conocimiento y aprovechamiento del nopal. Memorias del 7o Congreso Nacional y 5o Internacional. Universidad de Monterrey, NL., México.
- Cao, W. y T.W. Tibbitts. 1994. Responses of potatoes to solution pH levels with different form of nitrogen. *J. Plant Nutr.* 17: 109-126.
- Clesceri, L.S., A.E. Greenberg y R.R. Trussell. 1989. Standard methods for the examination of water and wastewater. 17th ed. American Public Health Association, Washington, D.C., USA.
- Dirr, M.A. 1975. Effect of nitrogen form and pH on growth,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$  and total N content of container-grown doublefile viburnum. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 100: 216-218.
- Epstein, E. 1972. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. John Wiley Inc., New York.
- Griffith, S. M. y D. Streeter. 1994. Nitrate and ammonium nutrition in ryegrass: changes in growth and chemical composition under hidroponic conditions. *J. Plant Nutr.* 17: 71-81.
- Hageman, R.H. 1992. Ammonium versus nitrate nutrition of higher plants. pp. 67-88. *In:* R.D. Hauck, J.D. Beaton, C.A.I. Goring, R.G. Hoef, G.W. Randall y D.A. Russel (eds.). Nitrogen in crop production. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America and Soil Society of America. Madison, WI, USA.
- Jingquan, Y. y C. Dewei. 1988. Effects of different nitrogen forms on tomato grown in carbonized rice hull. *Soilless Culture* 4: 51-61.
- Kwak, Y.W., B.H. Min y J.M. Lee. 1989. Effects of nitrogen source on growth and fruit development of tomatoes grown in nutrient solution. *Cated Papers Abstracts of Communicated Horticultural Science* 7: 60-61.
- Lainé P., A.O. y J. Boucaud. 1995. Shoot control of nitrate uptake rates by roots of *Brassica napus* L.: Effects of localized nitrate supply. *Planta* 196: 77-83.

- Maldonado, J.M. 1993. Asimilación del nitrógeno y del azufre. pp. 215-236. *In:* J. Azcon B. y M. Talon. Fisiología y bioquímica vegetal. Interamericana-McGraw-Hill, Madrid.
- Marschner, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. London.
- Mengel, K. y E.A. Kirkby. 1987. Principles of plant nutrition. 4th ed. International Potash Institute, Bern.
- Nobel, P.S. 1983. Nutrient levels in cacti-relation to nocturnal acid accumulation and growth. *Amer. J. Bot.* 70: 1244-1253.
- Nobel, P.S. 1988. Environmental biology of agaves and cacti. Cambridge University Press. USA.
- Olivares S., E. 1987. Physiological differences in alfalfa populations selected for high and low P concentration. Dissertation for the Degree Doctor of Philosophy. New Mexico State University, Las Cruces, N. M.
- Osaki, M., J. Shirai, T. Shinano y T. Tadano. 1995a.  $^{15}\text{N}$ -Allocation of  $^{15}\text{NH}_4 - \text{N}$  and  $^{15}\text{NO}_3 - \text{N}$  to nitrogenous compounds at the vegetative growth stage of potato plants. *Soil Sci. Plant Nutr.* 41: 699-708.
- Osaki, M., J. Shirai, T. Shinano y T. Tadano. 1995b. Effects of ammonium and nitrate assimilation on the growth and tuber swelling of potato plants. *Soil Sci. Plant Nutr.* 41: 709-719.
- Salisbury, F.B. y C.W. Ross. 1994. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica. México, D.F.
- Sandoval V., M., G. Alcántar G., J.L. Tirado T. y A. Aguilar S. 1992. Effect of the  $\text{NH}_4/\text{NO}_3$  ratio on GS and PEPCase activities and on dry matter production in wheat. *J. Plant Nutr.* 15: 2545-2557.
- Santos, Y., J.M. Almeida y R. Salema. 1992. Influence of nitrogen nutrition on growth, nitrate reductase and nitrite reductase of seedlings of maize (*Zea mays* L. cv. LG12). *J. Plant Nutr.* 15: 2531-2544.
- Sood, Ch. R., S.V. Chanda y Y.D. Singh. 1995. Effect of plant growth regulators on nitrate uptake and its reduction in radish cotyledons. *J. Plant Nutr.* 18: 2595-2607.