

Efecto del método de riego sobre niveles de nitrógeno en suelo y plantas de parchita (*Passiflora edulis* Sims) fertilizadas con tres fuentes nitrogenadas

José Merino, Carmen Basso, Marta Barrios y Roberto Villafañe

Facultad de Agronomía, Instituto de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Apdo. 4579. Maracay 2101, Aragua, Venezuela.

RESUMEN

Se evaluó el efecto del método de riego (surco y goteo) sobre los niveles de nitrógeno en el suelo y en plantas de parchita (*Passiflora edulis* Sims) fertilizadas con tres fuentes nitrogenadas (Entec 26®, urea y nitrato de amonio). El diseño fue de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas utilizando tres bloques y 12 plantas por unidad experimental. Se realizaron dos muestreos entre dos fertilizaciones sucesivas, durante la floración, evaluándose nitrato y amonio en suelo, humedad, pH y conductividad eléctrica, nitrato en savia de plantas, nitrógeno y nitrato en tejido foliar. Los resultados indicaron que estos métodos de riego no afectaron contenidos de nitrato y amonio en suelo ni en plantas, por descargar caudales similares. Mayores niveles de nitrato en suelo se encontraron a 20-40 cm con Entec 26® (69,50 y 70,70 $\mu\text{g/g}$) y urea (69,32 y 69,67 $\mu\text{g/g}$), mientras que de amonio se observaron, a 0-20 cm de profundidad con Entec 26® (77,25 y 36,37 $\mu\text{g/g}$), indicando los efectos de su molécula inhibidora de la nitrificación. El nitrógeno en tejido no fue afectado, pero el tipo de fertilizante sí influyó sobre el nitrato en savia, encontrándose mayores valores, con nitrato de amonio y urea (1 656 y 1 600 mg/L, respectivamente). En el estrato superior del suelo, los contenidos de nitrato y amonio no variaron entre el inicio y el final de la línea regante, indicando uniformidad en la distribución de los fertilizantes en las hileras de plantas. Hubo correlación negativa y significativa entre nitrógeno inorgánico en suelo y nitrato en savia. El nitrato en savia, determinado con medidores ión selectivos, estuvo mejor correlacionado con niveles de nitrato en el suelo.

Palabras clave: amonio, goteo, nitrato, surco

Effect of irrigation method on nitrogen levels in soils and passion fruit (*Passiflora edulis* Sims) plants, fertilized with three nitrogen sources

ABSTRACT

The effect of irrigation methods (drip and furrow irrigation) on nitrogen levels in soil and passion fruit (*Passiflora edulis* Sims) plants fertilized with three nitrogen sources (Entec 26®, urea, and ammonium nitrate) was evaluated. The experimental design was a randomized block with split plots arrangement using three blocks and 12 plants per experimental unit. Two soil samplings were performed between two successive fertilizations, during flowering, to evaluate nitrate and ammonium in soil, moisture, pH and electric conductivity, nitrate in plants sap, nitrogen and nitrate in foliar tissue. Results pointed out that these irrigation methods did not affect nitrate or ammonium neither in soil nor plants because of the similar amount of water they both discharged. Higher nitrate levels were

*Autor de correspondencia: Martha Barrios

E-mail: martabarrios3@gmail.com

found at 20-40 cm depth with Entec® 26 (69.50 and 70.70 $\mu\text{g/g}$) and urea (69.32 and 69.67 $\mu\text{g/g}$), whilst for ammonium, they were reached at 0-20 cm depth with Entec 26® (77.25 and 36.37 $\mu\text{g/g}$), indicating the effect of nitrification inhibitor. Nitrogen in tissue was not affected, but fertilizer type did affect nitrate in sap reaching higher values with ammonium nitrate and urea (1656 y 1600 mg/L, respectively). In the upper stratum of soil, nitrate and ammonium did not vary from the start to the final of the drip irrigation tubing, which was indicative of homogeneous fertilizer distribution along the rows and zone of major root development. A negative relationship between inorganic nitrogen in soil and sap nitrate was found.

Key words: ammonium, drip, nitrate, furrow

INTRODUCCIÓN

El cultivo de parchita (*Passiflora edulis* Sims) exige la aplicación de fertilizantes, siendo el nitrógeno y el potasio los elementos más demandados. Se estiman cantidades variables de estos nutrientes según las condiciones de cultivo, señalándose en el caso del nitrógeno, valores que varían desde 30 hasta 733 kg/ha/año, siendo la urea la principal fuente utilizada (Borges et al., 2003, 2006; Santos y Gilreath, 2006). Cuando se trata de fertilización nitrogenada, el factor humedad edáfica debe ser considerado, ya que el nitrógeno presenta alta movilidad en el suelo y libre movimiento con el agua de riego, principalmente en forma de nitrato (Tisdale y Nelson, 1991). Además, la humedad es el principal parámetro que determina la acumulación de NO_3 y NH_4 en el perfil del suelo, porque la nitrificación y la desnitrificación dependen de ello (Bahmani et al., 2009). Las buenas prácticas de manejo del riego y el nitrógeno pueden reducir la probabilidad de lavado del nitrato a las aguas subterráneas, permitiendo alcanzar producciones rentables (Bauder et al., 2008).

En los sistemas de fertirrigación, el nitrógeno es el nutriente que se “inyecta” con mayor frecuencia, debido a que es absorbido en altas cantidades por los cultivos, es muy móvil en el suelo y por lo tanto puede ser lavado. Muchos de los productos nitrogenados existentes son altamente solubles; estudios han demostrado (Eymar et al., 2005; Fonseca et al., 2011) que para evitar lavado del nitrógeno, así como aumentar su eficiencia de absorción, es recomendable dividir las aplicaciones mediante fertirrigación. El nitrato de amonio es uno de los fertilizantes líquidos más empleados en fertirriego. Por otra parte, la urea es el fertilizante más usado como fuente nitrogenada en producción de cultivos. Sin embargo, para su disponibilidad por la planta debe ser convertida a amonio, lo que tiene lugar si se disuelve en la solución del suelo. Para que esto ocurra son importantes la concentración de ureasa, los microorganismos del suelo, la temperatura y el contenido de agua en el suelo (Montero y Sagardo, 2009). El presente estudio se

planteó como objetivo evaluar los efectos del método de riego sobre los niveles de nitrógeno en el suelo y en las plantas de parchita (*Passiflora edulis* Sims) fertilizadas con tres fuentes nitrogenadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en el campo experimental del Instituto de Agronomía de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela, ubicado en Maracay a 10° 17' 03" N, 67° 36' 16" O y 454 msnm, con una precipitación y temperatura promedios de 1001 mm y 25 °C, respectivamente (Estación Climática INIA- Maracay. Registros 1981-2014); según la clasificación de Holdridge (1987) la zona de vida corresponde al Bosque Seco Tropical. El suelo del área experimental pertenece a la Cuenca del Lago de Valencia y se clasifica como Fluvaquentic Haplustoll; sus características se presentan en el Cuadro 1.

Las muestras de suelo y de plantas fueron colectadas en una plantación experimental de parchita maracuyá (*Passiflora edulis* Sims), sembrada en abril de 2009. Para su desarrollo se utilizaron tres fuentes nitrogenadas y dos métodos de riego. La distancia de plantación usada fue de 2 m entre plantas sobre la

Cuadro 1. Características del suelo del área a dos profundidades

Característica	Profundidad (cm) ¹	
	0-20	20-40
Arcilla, %	11,10±2,10	10,00±2,60
Arena, %	43,10±7,30	48,30±9,50
Limo, %	45,50±6,80	40,60±9,90
CE ² , dS/m	0,20±0,030	0,10±0,04
CIC ³ , meq/100 g	10,63±2,06	9,50±1,80
Materia orgánica, %	1,60±0,20	1,10±0,30
pH	6,20±0,30	6,20±0,40

¹Medias ± desviación estándar

²CE: Conductividad eléctrica

³CIC: Capacidad de intercambio catiónico

espaldera y 3 m entre hileras o espalderas. El diseño utilizado en este estudio fue de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas, utilizándose tres repeticiones y 12 plantas por unidad experimental. En el Cuadro 2 se describen los diferentes tratamientos evaluados.

Descripción de los métodos de riego

Para el método de riego por goteo, las plantas de cada unidad experimental fueron regadas mediante dos cintas de goteo de 24 m de longitud cada una, con goteros distanciados cada 33 cm. El método por surco consistió de un sistema por surcos de bajo caudal, construidos a cada lado de la hilera de plantas; el agua fue llevada a los surcos por tuberías a baja presión y entregada por una llave de paso rápido. En la Figura 1 se presentan los valores de lámina de riego aplicada.

Descripción de las fuentes nitrogenadas

Entec 26®: un inhibidor de la nitrificación (3,4-dimetilpirazol fosfato, DMPP®), constituido por 26% N (7,5% nítrico - 18,5% amoniacal) y 13% S. Nitrato de amonio hidrosoluble: constituido por 33,5% de nitrógeno (16,75% nítrico - 16,75% amoniacal). Urea convencional: constituida por 46% de nitrógeno ureico (v/v).

La dosis de nitrógeno utilizada fue de 160 g/planta/año, equivalente a 615 g Entec 26®, 478 g nitrato de amonio y 348 g urea/planta/año, las cuales se aplicaron de manera fraccionada. La aplicación de Entec 26® y urea se realizó incorporando el fertilizante al suelo en forma puntual a un lado de la planta, realizándose siete aplicaciones (a las 4, 6, 11, 16, 32, 38 y 44 semanas después del trasplante) para el momento del inicio de este estudio. En el caso del nitrato de amonio, la aplicación se realizó por fertirriego (usando goteo y surco) a una mayor frecuencia (2 a 4 veces por mes según fenología del cultivo) aplicándose el fertilizante

Cuadro 2. Tratamientos evaluados, conformados por la combinación de dos métodos de riego y tres fuentes nitrogenadas

Tratamiento	Método de riego (Parcela principal)	Fertilizante nitrogenado (Parcela secundaria)
1	Goteo	Entec 26®
2		Nitrato de amonio
3		Urea
4	Surco	Entec 26®
5		Nitrato de amonio
6		Urea

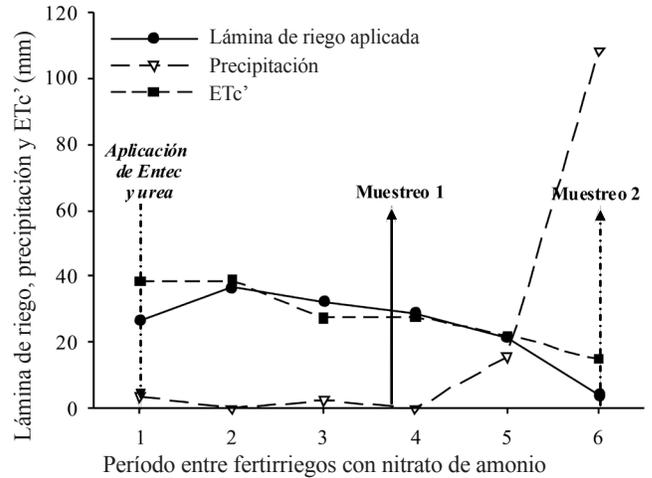


Figura 1. Lámina de riego aplicada, precipitación y evapotranspiración del cultivo, registrados en los diferentes períodos entre fertirriegos con nitrato de amonio (se presentan los datos acumulados por período, con duración de 10 u 11 d cada uno).

en 26 oportunidades mediante una bomba dosificadora (Marca Dosatron, Modelo D25RE2. Clearwater, FL, EUA). Además de la adición de nitrógeno, se incorporaron al suelo 100 g de P₂O₅ y 320 g de K₂O por planta/año en todos los tratamientos, de manera fraccionada y en forma de superfosfato triple y sulfato de potasio, respectivamente. En el caso de la aplicación de nitrato de amonio, se llevó un registro del pH y conductividad eléctrica de la solución aplicada mediante fertirriego, tomando muestras en tres puntos de la línea regante para los dos métodos de riego evaluados. Los valores promedios obtenidos fueron 6,7 de pH y 1 932 μs/cm de conductividad eléctrica.

El agua de riego de la zona se caracteriza por tener pH neutro, baja conductividad eléctrica y sin toxicidad por iones específicos. En el Cuadro 3 se presentan los resultados del análisis del agua, indicando que se corresponde con agua de buena calidad, según Ayers y Wescot (1985).

Las evaluaciones se realizaron en marzo y abril de 2010, cuando las plantas estaban en un nuevo período de floración y fructificación. Para la determinación del nitrógeno, tanto en suelo como en plantas, se realizaron dos muestreos comprendidos entre dos fertilizaciones sucesivas. El primero a las cuatro semanas después de aplicar 30 g del nitrógeno en forma de Entec 26® y urea (incorporados al suelo) y a los 7 d después de aplicado 15 g de nitrato de amonio mediante fertirriego (tres aplicaciones de 5 g cada una), la mitad de la dosis del fertilizante incorporado. Las aplicaciones del nitrato de amonio se realizaron cada 10 u 11 d, durante la

Cuadro 3. Características del agua de riego utilizada en la zona de estudio

Variable	Contenido
pH	6,51
CE (ds/m)	0,238
Ca ⁺⁺ (me/L)	1,62
Mg ⁺⁺ (me/L)	0,55
Na ⁺ (me/L)	0,025
K ⁺ (me/L)	0,194
CO ₃ ⁼ (me/L)	0
HCO ₃ ⁼ (me/L)	1,90
SO ₄ ⁼ (me/L)	0,10
Cl ⁻ (me/L)	0,40

fase experimental, para un total de seis períodos entre fertirriegos (Figura 1).

El segundo muestreo se realizó luego de nueve semanas de aplicados los fertilizantes sólidos, justo antes de la siguiente fertilización. Para ese momento también habían transcurrido 9 d después de aplicar 5 g de nitrógeno como nitrato de amonio para completar los 30 g aplicados en el período.

Durante el período de evaluación se llevó un registro de la lámina de riego aplicada (igual para ambos métodos evaluados), la precipitación y la evapotranspiración del cultivo (Figura 1). Esta última se calculó según la fórmula sugerida por Villafañe (1998): $ETc' = ETc (PC/100 + 0,15(1-PC/100))$, considerando un coeficiente de cultivo (Kc) de 0,9 y un porcentaje de cobertura (PC) de 40%. Los valores promedios de temperatura y humedad relativa ocurridos durante el período de evaluación fueron de 27,9°C y 65,7% respectivamente, obtenidos de la Estación Climática Automática (Gro Weather, Davis Instruments Co., CA, EUA.), ubicada en el campo experimental donde se realizó el ensayo.

VARIABLES EVALUADAS

Nitrato y amonio en el suelo ($\mu\text{g/g}$ suelo). En cada muestreo realizado al inicio y al final de cada línea de riego (a 3 m de distancia del principio y el final de cada espaldera) se tomaron muestras de suelo a dos profundidades (0-20 y 20-40 cm) para la determinación del contenido de nitrato y amonio. Las muestras se tomaron de los contenidos de nitrato y amonio a 30 cm de distancia del tallo de las plantas a un lado de la hilera de plantación. Para la extracción de ambas formas de nitrógeno se utilizó KCl 2 N en proporción 1:10 (p/v) según la metodología descrita por Benton

(2001), y la determinación se realizó por fotometría, utilizando equipos marca Hanna (Chula Vista, CA, EUA. Modelos HI93728 y HI 93733). El medidor de nitrato opera con el método de reducción de cadmio y el de amonio por una adaptación al método Nessler (Universidad Central de Venezuela, 1993).

Humedad del suelo (%). En cada una de las muestras tomadas para la determinación de nitrato y amonio, se midió la humedad del suelo por el método gravimétrico. Para ello se tomaron 5 g de suelo fresco, el cual fue secado en estufa a 105°C por 24 h; seguidamente se determinó el peso seco y se calculó el porcentaje de humedad en base seca.

pH y conductividad eléctrica del suelo (CE) ($\mu\text{S/cm}$). Se tomaron 10 g de cada muestra de suelo y se agregaron 10 mL de agua destilada. Se agitó durante 1 h y se tomó la lectura correspondiente usando un medidor de pH y un conductímetro, marca Hanna (Chula Vista, CA, EUA. Modelos HI9812 y HI98129, respectivamente).

Nitrato en la savia de las plantas (mg/L). Se recolectaron ocho hojas recientemente maduras (4° hoja de ramas fructíferas) de las plantas cercanas al punto de muestreo del suelo, por cada unidad experimental. Estas hojas fueron llevadas al laboratorio para la extracción de la savia y posterior determinación de los contenidos de NO₃, utilizando un medidor ión selectivo (Cardy Nitrate Meter) marca Horiba (Kyoto, Japón). A fin de facilitar la extracción, las muestras fueron sometidas a temperaturas de congelación por al menos 2 h con el fin de causar la ruptura de las células.

Nitrógeno total (%) y nitrato (mg/kg) en tejido foliar. Al igual que en el caso anterior, se recolectaron ocho hojas recientemente maduras por cada unidad experimental, las cuales fueron secadas en estufa a 60°C por 48 h, hasta alcanzar peso seco. El nitrógeno fue determinado en el Laboratorio General de Suelos de la Facultad de Agronomía de la UCV, mediante el método de Kjeldal; en el caso del nitrato se usó el método de la nitración del ácido salicílico, descrito por Valdés et al., (2004).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos fueron sometidos al análisis de varianza propio del diseño utilizado, con dos observaciones por unidad experimental. Cuando estos análisis fueron significativos ($P \leq 0,05$), se realizaron pruebas de rango múltiple de Duncan (Duncan, 1951) para determinar las diferencias entre las medias. Para establecer diferencias entre las dos profundidades de suelo evaluadas, se realizaron pruebas de *t* pareadas (Student, 1908).

Finalmente, para evaluar la relación entre la nutrición nitrogenada en la planta y el suelo se realizaron análisis de correlación. Los análisis estadísticos fueron realizados con el programa SAS (2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis de la varianza indicaron que no hubo efecto de la interacción entre los factores evaluados, ni del método de riego de manera individual, sobre los contenidos de nitrato y amonio del suelo en los muestreos realizados; sin embargo, el tipo de fertilizante sí afectó estas variables ($P \leq 0,05$). En el Cuadro 4 se presentan los valores promedios obtenidos para el factor método de riego, así como las comparaciones entre los niveles determinados en las dos profundidades de suelo para el primer y segundo muestreo. Se observa que los contenidos de $\text{NO}_3\text{-N}$ y $\text{NH}_4\text{-N}$ en el suelo no fueron afectados por el método de riego. Sin embargo, Waheed-Uz-Zaman y Saleem (2001) señalaron variaciones en el contenido de nitrato en suelo, encontrando en riego por melgas y surco una menor concentración de $\text{NO}_3\text{-N}$ a una profundidad de 0-30 cm, respecto a profundidades mayores, indicando como posibles causas la utilización de los nitratos por las raíces del cultivo. Por el contrario, cuando se regó por goteo o mediante cañón, el contenido de $\text{NO}_3\text{-N}$ a esa profundidad fue más alto que en estratos inferiores del suelo, indicando que cuando se utilizan estos métodos de riego, el nitrato se mueve más lentamente y permanece por más tiempo dentro del alcance de las raíces. Ellos concluyen que el lavado de $\text{NO}_3\text{-N}$ es menor cuando se usa menos volumen de agua como es el caso de los métodos por cañón y goteo.

A pesar de que en esta investigación se evaluaron métodos de riego diferentes, el comportamiento fue similar ya que el sistema de surcos utilizado fue de bajo caudal, aplicándose un volumen de agua igual al entregado por goteo; ello pudo ser la causa de un

contenido similar de nitrato y amonio en ambos métodos. Esto se sustenta en los resultados de la evaluación de la humedad del suelo para cada método de riego, lo cual se discutirá más adelante.

Por otra parte, se observaron variaciones en los contenidos de nitrógeno inorgánico en las dos profundidades evaluadas, con un comportamiento similar en ambos métodos de riego. Los resultados indicaron que en el segundo muestreo, los niveles de $\text{NO}_3\text{-N}$ fueron significativamente menores ($P \leq 0,05$) a 0-20 cm, en comparación con 20-40 cm para ambos métodos de riego. Con relación al $\text{NH}_4\text{-N}$, el contenido a 0-20 cm, en ambos muestreos, fue significativamente mayor ($P \leq 0,05$) al observado a 20-40 cm en riego por goteo. Este comportamiento podría tener su explicación en el hecho de que el nitrato es fácilmente lavado por el agua de riego a capas más profundas, mientras que el amonio puede ser retenido por el complejo de intercambio (Rodríguez y Rodríguez, 2002; Kissel *et al.*, 2008).

En el Cuadro 5 se presentan los contenidos de nitrato y amonio del suelo, con relación a las fuentes nitrogenadas utilizadas. En el caso de contenido de $\text{NO}_3\text{-N}$ a 0-20 cm, no hubo diferencias entre los fertilizantes usados para ambos muestreos, pero la respuesta fue diferente a 20-40 cm ($P \leq 0,05$), detectándose diferencias significativas solo en el primer muestreo, con los menores valores para el caso del nitrato de amonio; esto podría atribuirse al hecho de que este fertilizante fue aplicado en menores dosis, aunque a mayor frecuencia. En el caso de Entec 26® y la urea, los valores fueron superiores a 20-40 cm en comparación con 0-20 cm, indicando que hubo lavado del nitrato hacia las capas más profundas; este comportamiento fue similar en ambos muestreos. Con relación al amonio, los menores contenidos ($P \leq 0,05$) también se observaron en el caso del nitrato de amonio, siendo similares

Cuadro 4. Efecto del método de riego sobre el contenido de nitrato y amonio determinado a dos profundidades en dos muestreos realizados en tiempos diferentes

Variable	Profundidad (cm)	Goteo	Surco	Goteo	Surco
		Primer muestreo		Segundo muestreo	
----- $\mu\text{g/g}$ -----					
$\text{NO}_3\text{-N}$	0-20	41,06	39,77	19,84	21,09
	20-40	57,28	58,50*	55,60*	67,70*
$\text{NH}_4\text{-N}$	0-20	41,44*	30,21	19,15*	19,73*
	20-40	10,18	22,96	1,67	3,97

*Medias con asterisco indican diferencias entre las dos profundidades de suelo para el mismo método de riego ($P \leq 0,05$).

Cuadro 5. Efecto de la fuente nitrogenada sobre el contenido de nitrato y amonio determinado a dos profundidades de suelo, en dos muestreos realizados en el tiempo

Variable	Profundidad cm	Entec 26	NdA ¹	Urea	Entec 26	NdA	Urea
		Primer muestreo			Segundo muestreo		
----- µg/g -----							
NO ₃ -N	0-20	36,08	42,48	42,06	23,79	17,52	20,08
	20-40	69,50a*	36,68b	69,32a	70,70	44,59*	69,67*
NH ₄ -N	0-20	77,25a	4,86b	33,21ab	36,37a*	3,84b	18,10b
	20-40	29,37a	3,99b	16,91b	4,89a	1,69b	1,88ab

¹ NdA: Nitrato de amonio

Medias con letras diferentes indican diferencias entre los tipos de fertilizantes para el mismo muestreo ($P \leq 0,05$).

*Medias con asterisco indican diferencias significativas entre las profundidades de suelo ($P \leq 0,05$).

estadísticamente a la urea. Por otro lado, los mayores valores se observaron para el Entec 26[®], lo cual puede asociarse a la presencia de la molécula DMPP, que inhibe la nitrificación.

Resultados similares a los del presente estudio fueron obtenidos por Serna *et al.* (2000) quienes al evaluar el efecto del inhibidor de la nitrificación DMPP sobre la absorción de nitrógeno en cítricos, encontraron que la adición de esta molécula al fertilizante nitrosulfato de amonio (NSA) resultó en mayores niveles de NH₄⁺ en el suelo. Por otra parte, la adición de este inhibidor condujo a mantener niveles relativamente más altos de NH₄⁺ y NO₃⁻ en el suelo por mucho más tiempo que cuando el NSA se añadió solo. Sus resultados indicaron que el DMPP mejoró la eficiencia de la fertilización nitrogenada y redujo las pérdidas de nitrato por lavado, reteniendo el nitrógeno aplicado en forma amoniacal. Otro aspecto a tener presente, son las formas de nitrógeno de los fertilizantes usados; los menores contenidos de amonio se encontraron en el nitrato de amonio (50% NO₃ y 50% NH₄), seguido en orden ascendente por el Entec 26[®] (29% NO₃ y 71% NH₄) y finalmente por la urea, un fertilizante en forma amídica que se comporta como 100% amoniacal en el suelo, al convertirse en NH₄⁺ por acción de la ureasa (Casanova y Rivero, 2006)

Efecto del método de riego y fertilizantes nitrogenados sobre otras variables de suelo asociadas con la nutrición

La humedad del suelo, el pH y la CE son variables que se asocian con la nutrición, y como en el caso del nitrato y el amonio, no fueron afectadas por la interacción riego-fertilizante ni por el método de riego. Como se observa en el Cuadro 6, el comportamiento

de estas variables fue similar tanto para goteo como para surco, lo cual se debe a que en ambos métodos se aplicó la misma cantidad de agua. Cabe recordar que el método de riego utilizado fue de bajo caudal al igual que el método por goteo. Por otro lado, la humedad del suelo fue significativamente mayor en el estrato superior en todos los casos, observándose un porcentaje ligeramente superior ($P \leq 0,05$) en el segundo muestreo, producto de las lluvias ocurridas días antes de realizar tal evaluación (Figura 1).

Con relación al pH, se observó un valor más bajo en el primer estrato, posiblemente debido a que es la zona donde se aplicó el fertilizante al suelo y, además se acumuló más amonio. Esto también tendría relación con la CE ya que los mayores valores se encontraron en el primer estrato del suelo, siendo el comportamiento consistente en ambos métodos de riego y profundidades.

En cuanto a los fertilizantes nitrogenados (Cuadro 7), el pH y la CE variaron con el fertilizante usado ($P \leq 0,05$); sin embargo, sus efectos no fueron de importancia para la nutrición de las plantas debido a que los valores se ubicaron dentro de niveles aceptables. Los menores valores de pH y los mayores de CE se observaron cuando se usó Entec 26[®], y en el caso del nitrato de amonio y la urea, los resultados mostraron una respuesta similar (mayor pH y menor CE), coincidiendo también con los menores valores de amonio en el suelo.

Al igual que en el caso de las variables anteriores, no hubo efecto del método de riego sobre la nutrición nitrogenada de las plantas. En el Cuadro 8 se muestran los resultados obtenidos, encontrándose valores similares de nitrato para goteo y surco, siendo mayores tanto en el tejido como en la savia para el segundo muestreo. Cabe destacar que, tomando en cuenta los

Cuadro 6. Efecto del método de riego sobre la humedad, pH y conductividad eléctrica (CE) a dos profundidades de suelo, en los dos muestreos realizados en el tiempo.

Variable	Profundidad (cm)	Goteo	Surco	Goteo	Surco
		Primer muestreo		Segundo muestreo	
Humedad (%)	0-20	15,80*	13,20*	17,00*	14,70*
	20-40	12,20	9,80	12,60	11,60
pH	0-20	5,90	6,00	5,90	6,10
	20-40	6,60*	6,30	6,80*	6,70*
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	0-20	734*	1256*	1043*	603*
	20-40	494	630	353	351

*Medias con asterisco indican diferencias entre las profundidades de suelo ($P \leq 0,05$).

Cuadro 7. Efecto del tipo de fertilizante nitrogenado sobre la humedad, pH y conductividad eléctrica (CE) a dos profundidades de suelo, en los dos muestreos realizados en el tiempo

Variable	Profundidad (cm)	Entec 26	NdA ¹	Urea	Entec 26	NdA ¹	Urea
		Primer muestreo			Segundo muestreo		
Humedad (%)	0-20	15,50*	13,40*	14,50*	15,60*	15,90*	16,10*
	20-40	12,00	10,60	10,40	12,00	11,50	12,70
pH	0-20	5,40b	6,10b	6,40a	5,70	6,20	6,10
	20-40	6,00b*	6,70a*	6,60a	6,70*	6,80*	6,70*
CE ($\mu\text{S}/\text{m}$)	0-20	1519a	780b*	686b*	1013a*	767ab*	689b*
	20-40	991a	277b	479b	437	257	362

*Medias con asterisco indican diferencias entre las dos profundidades de suelo para el mismo método de riego ($P \leq 0,05$).

Medias con letras diferentes indican diferencias entre los tipos de fertilizantes para el mismo muestreo

Cuadro 8. Efecto del método de riego sobre los contenidos de nitrato y nitrógeno en plantas de parchita, en dos muestreos

Variable	Goteo	Surco	Goteo	Surco
	Primer muestreo		Segundo muestreo	
NO ₃ en savia (mg/L)	1536	1536	2036	1994
NO ₃ en tejido (mg/kg)	2539	2098	3872	5386
N en tejido (%)	3,83	3,95	3,84	3,83

de los establecidos como suficientes, ubicándose entre 3,6% y 4%. Con relación al nitrato, no se encontraron niveles referenciales para este cultivo.

Con relación a la fuente nitrogenada, hubo efecto ($P \leq 0,05$) sobre el contenido de nitrato en savia (Cuadro 9), observándose los mayores valores en el caso del nitrato de amonio y la urea, solo para el primer muestreo. En el segundo muestreo los valores fueron similares entre sí, para todos los fertilizantes. Debe señalarse que a pesar de que el Entec 26[®] fue incorporado al suelo en el mismo momento que la urea, la inhibición del proceso de nitrificación característica de este fertilizante, podría relacionarse con una menor acumulación de nitrato por parte de la planta.

niveles nutricionales referenciales establecidos por Haag *et al.* (1973) para parchita, las plantas de todos los tratamientos presentaron valores de nitrógeno dentro

Se encontró significación en la interacción método de riego por tipo de fertilizante solo en el caso del NO₃-N en la savia, en el primer muestreo. En la Figura 2 se observa el comportamiento de esta interacción. Los

Cuadro 9. Efecto del tipo de fertilizante nitrogenado sobre los contenidos de nitrato y nitrógeno en plantas de parchita, en los dos muestreos realizados en el tiempo

Variable	Entec 26	NdA	Urea	Entec 26	NdA	Urea
	Primer muestreo			Segundo muestreo		
NO ₃ en savia (mg/L)	1353	1656	1600	1942	2050	2054
NO ₃ en tejido (mg/kg)	2023	2198	2735	4618	4567	4702
N en tejido (%)	3,94	3,93	3,89	3,95	3,73	3,84

niveles de nitrato determinados en las plantas fertilizadas con Entec 26[®] fueron menores en los dos métodos de riego, pero ligeramente superiores en el caso del nitrato de amonio y goteo, y en el caso de la urea, para riego por surco.

Relación entre los contenidos de nitrógeno de plantas de parchita maracuyá y los niveles de nitrógeno inorgánico presentes en el suelo

En el Cuadro 10 se presentan los resultados del análisis de correlación entre los niveles de nitrato y nitrógeno en la planta, y los contenidos de nitrato y amonio en el suelo. Como puede observarse, la correlación resultó significativa y negativa solo entre los contenidos de nitrato y amonio en el suelo y los niveles de nitrato en la planta, principalmente en los determinados en la savia ($P \leq 0,05$). El nitrógeno del tejido no mostró relación con los valores de nitrógeno inorgánico en el suelo.

El nitrato en savia solo estuvo correlacionado

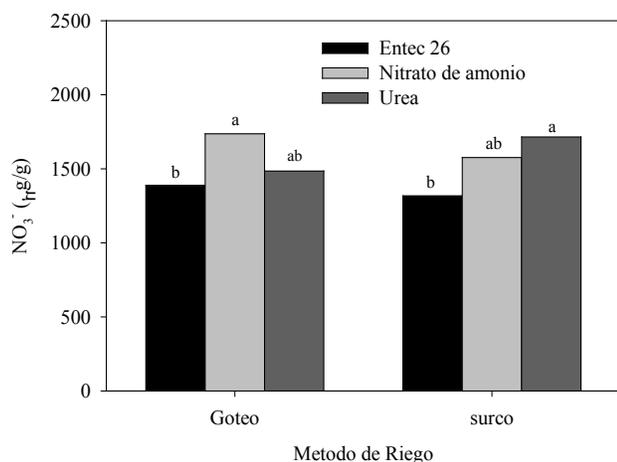


Figura 2. Efecto del método de riego sobre el contenido de NO₃⁻ en savia de plantas, fertilizadas con tres fuentes nitrogenadas (primer muestreo). Medias con letras diferentes indican diferencias entre los tipos de fertilizantes, para cada método de riego ($P \leq 0,05$).

Cuadro 10. Correlación entre los contenidos de nitrato y amonio en el suelo y los niveles de nitrato y nitrógeno en plantas de parchita a dos profundidades de suelo

Variable	NO ₃ -N en suelo		NH ₄ -N en suelo	
	0-20	20-40	0-20	20-40
NO ₃ en savia	-0,51**	0,20	-0,29*	-0,30*
NO ₃ en tejido	-0,46*	0,19	-0,16	-0,20
N en tejido	0,16	0,05	-0,07	0,16

* ($P \leq 0,05$) ** $P \leq 0,01$

con los contenidos de nitrato en el suelo a 0-20 cm ($P \leq 0,05$), indicando que cuando los niveles en el suelo disminuyeron, los de la planta incrementaron. Considerando que la mayor parte de la raíces se ubica en los primeros 20 cm del suelo y que, en general, las plantas absorben nitrógeno principalmente en su forma nítrica, estos resultados indican que a medida que la planta absorbe el NO₃-N, los contenidos del suelo se van reduciendo, básicamente a 0-20 cm. El comportamiento fue similar en al caso del amonio, el cual está sujeto a los procesos de nitrificación para que la planta pueda absorber el nitrógeno aplicado mediante la fertilización.

CONCLUSIONES

Los métodos de riego utilizados no afectaron los niveles de nitrato y amonio en el suelo, ni en las plantas de parchita, debido a que en ambos casos se utilizaron láminas y caudales de agua similares. Los fertilizantes aplicados ocasionaron un comportamiento diferencial con relación a los niveles de nitrato y amonio del suelo en las profundidades evaluadas, destacando el efecto del Entec 26[®] sobre el amonio, por inhibir el proceso de nitrificación. El contenido de nitrógeno en el tejido no fue afectado; sin embargo, en el primer muestreo, el tipo de fertilizante afectó el nivel de nitrato en savia, encontrándose los mayores valores cuando se aplicó nitrato de amonio mediante riego por goteo y urea usando riego por surco. En el suelo, los niveles

de nitrógeno inorgánico disminuyeron con la absorción por parte de la planta y su acumulación en forma de nitrato:

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ayers, R.S.; D.W. Westcot. 1985. Water quality for agricultural. FAO irrigation and drainage paper. FAO. Roma, Italia. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/003/t0234e/t0234e00.htm>. [Consultado: 10/09/2010].
- Bahmani, O.; S.B. Nasab; M. Behzad; A.A. Naseri. 2009. Assessment of nitrogen accumulation and movement in soil profile under different irrigation and fertilization regime. *Asian J. Agric. Res.* 3: 38-46.
- Bauder, T.A.; R.M. Waskom; A. Andales. 2008. Nitrogen and irrigation management. Crop Series N° 0.514. Colorado State University Extension. Fort Collins, EUA. 3 p. Disponible en: https://erams.com/static/wqtool/PDFs/manure_nutrient/00514.pdf [Consultado: 14/03/2014].
- Benton, J. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC Press. Boca Ratón EUA. 363 p.
- Borges, A.L.; M.G.V. Rodrigues; A.A. Lima; I.E. de Almeida; R.C. Caldas. 2003. Productividade e qualidade de maracujá-amarelo irrigado, adubado com nitrogênio e potássio. *Rev. Bras. Frutic.* 25: 259-262.
- Borges, A.L.; R.C. Caldas; A.A. Lima. 2006. Doses e fontes de nitrogênio em fertirrigação no cultivo do maracujá-amarelo. *Rev. Bras. Frutic.* 28:301-304.
- Casanova, E.; C. Rivero. 2006. Efecto de fuentes alternativas de fertilizantes con el método de la fertirrigación sobre la nutrición mineral y rendimientos de bananos en una finca del estado Aragua, Venezuela. *Agronomía Trop.* 56: 325-344.
- Duncan, D.B. 1951. A significant test for differences between ranked treatments in an analysis of variance. *Va. J. Science* 2: 171-189.
- Eymar, E.; C. González; I. Martín; C. Cadahia. 2005. Aportaciones para la mejora de la fertirrigación de nectarino. *Vida Rural*. Disponible en: http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Vrural/Vrural_2005_206_32_36.pdf [Consultado: 02/04/2015].
- Fonseca, F.; J. Lordan; J. Rufat; J.M. Villar; M. Pascual. 2011. Consideraciones técnicas para la programación de la fertirrigación en cultivos frutales. *Vida Rural*, 327. Disponible en: <http://www.vidarural.es/articulos-consideraciones-tecnicas-para-programacion-fertirrigacion-cultivos-frutales/1/1649.html> [Consultado: 03/04/2015].
- Haag, H. P.; G. D. Oliveira; A. S. Borduchi; J. R. Sarruge. 1973. Absorção de nutrientes por duas variedades de maracujá. *Ana. Esc. Sup. Agric. Luiz de Queiros*, 30: 267-279.
- Holdridge, L. 1987. Ecología basada en zonas de vida. IICA. San José. Costa Rica. 216 p.
- Kissel, D.E.; M.L. Cabrera; S. Paramasivam. 2008. Ammonium, ammonia and urea reactions in soils. In Schepers, J.S; W.R. Raun (Eds.) *Nitrogen in Agricultural Systems. ASA-CSSA-SSSA*. Madison, EUA. pp. 101-155.
- Montero, F.A.; M.A. Sagardo. 2009. Actividad enzimática de ureasa en suelos de Buenos Aires, Entre Ríos. Córdoba y Santa Fe cultivados bajo siembra directa. *Engormix*. Disponible en: <http://www.engormix.com/MA-agricultura/articulos/actividad-enzimatica-ureasa-suelos-t2371/p0.htm> [Consultado: 18/06/2014].
- Rodríguez, O.; A. Rodríguez. 2002. Comparación de la CIC en dos suelos, utilizando acetato de amonio, acetato de sodio y cloruro de amonio. *Rev. Fac. Agron. LUZ.* 19: 253-263.
- Santos, B.M.; J.P. Gilreath. 2006. Influence of nitrogen fertilization and support systems on passion fruit yield and economic feasibility. *Hor Tech.* 16: 43-45.
- Serna, M.D.; J. Banuls; A. Quiñones; E. Primo-Millo; F. Legaz. 2000. Evaluation of 3, 4-dimethylpyrazole phosphate as a nitrification inhibitor in a *Citrus*-cultivated soil. *Biol. Fert. Soils* 32: 41-46.
- SAS. Statistical Analysis System. 2001. SAS user's guide. Version 8. Cary, EUA. 956 p.
- Student. 1908. The probable error of means. *Biometrika* 6: 302-310
- Tisdale, S.L.; W.L. Nelson. 1991. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Limusa. Ciudad de México, México. 760 p.
- Universidad Central de Venezuela. 1993. Cuadernos de Agronomía. Métodos de Análisis de Suelos y Plantas utilizados en el Laboratorio General de Suelos. N° 6. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. Venezuela. 89 p.

- Valdés, A.; L. Martí; M.F. Filippini; C. Salcedo. 2004. Determinación de nitratos en vegetales: comparación de cuatro métodos analíticos. *Rev. Fac. Cien. Agr. Univ. Nac. Cuyo*. 36: 21-28.
- Villafañe, R. 1998. Diseño agronómico de riego. Fundación Polar/UCV. Maracay, Venezuela. 147 p.
- Waheed-Uz-Zaman, M.A; A. Saleem. 2001. Distribution of nitrate-nitrogen in the soil profile under different irrigation methods. *Int. J. Agri. Biol.* 3: 208-209.