



## Mineralización de nitrógeno en suelos cultivados con plátano (*Musa* AAB Subgrupo plátano cv. Hartón), estado Zulia, Venezuela

Nitrogen mineralization in soils cultivated with plantain (*Musa* AAB Subgroup plátano cv. Hartón), Zulia state, Venezuela

Mineralização do Nitrogênio em solos cultivados com plátano (*Musa* AAB Subgrupo plátano cv. Hartón), estado Zulia, Venezuela

Ana Francisca González-Pedraza<sup>1,2\*</sup> y Juan Carlos Escalante<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Pamplona. Facultad de Ciencias Agrarias. Programa de Ingeniería Agronómica. Campus Universitario, km 1 carretera vía a Bucaramanga. Pamplona, Norte de Santander, Colombia. Código Postal: 5430. <sup>2</sup>Universidad Nacional Experimental Sur del Lago “*Jesús María Semrpum*” (UNESUR). Programa Ingeniería de la Producción Agropecuaria. Campus Universitario Hacienda La Glorieta. Santa Bárbara, municipio Colón, estado Zulia, Venezuela. Código Postal: 5148. Correo electrónico: anagonzalez11@gmail.com, . <sup>3</sup>Universidad de Pamplona. Facultad de Ciencias Agrarias. Programa de Ingeniería Agronómica. Campus Universitario, km 1 carretera vía a Bucaramanga. Pamplona, Norte de Santander, Colombia. Código Postal: 5430. Correo electrónico: jcescalante1212@gmail.com, .

### Resumen

La principal fuente de nitrógeno (N) en el suelo es la materia orgánica, por lo tanto, su disponibilidad depende de la cantidad y calidad de ésta, de la actividad microbiana, de las características del suelo y del manejo. Una manera eficaz de cuantificar el N disponible es mediante su mineralización como amonio ( $\text{N-NH}_4^+$ ) y nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ). Por lo tanto, en este estudio se determinó el N total y disponible en muestras de suelos de 0-20 cm de profundidad provenientes de dos lotes con plantas de plátano (*Musa* AAB subgrupo plátano cv. Hartón) con alto y bajo vigor (AV y BV, respectivamente), en el Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela. El N total se determinó por el método Kjeldahl y la mineralización

Recibido el 11-06-2020 • Aceptado el 03-09-2020.

\*Autor de correspondencia. Correo electrónico: anagonzalez11@gmail.com

del N disponible mediante incubación bajo condiciones de laboratorio durante 10 semanas. Se calculó el N mineralizado acumulado (Nm), la tasa constante de mineralización de ( $k$ ) y el N potencialmente mineralizable (N0). Se aplicó un análisis de la varianza de una vía, cuando resultó significativo ( $p < 0,05$ ), se aplicó una prueba de Tukey para comparaciones múltiples de medias. El N total fue bajo ( $< 0,025\%$ ) y no presentó diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ) entre AV y BV. El N-NO<sub>3</sub> mineralizado acumulado resultó estadísticamente ( $p < 0,05$ ) superior (524,47 mg.kg<sup>-1</sup>) en BV, mientras que el N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no presentó diferencias entre AV y BV.  $k$  resultó estadísticamente mayor ( $0,07 \pm 0,03$ ;  $p < 0,05$ ) solamente en BV. La nitrificación fue el proceso que prevaleció especialmente en BV donde el carbono orgánico fue mayor y además presentó un porcentaje de arena más alto.

**Palabras clave:** amonio, nitrato, incubación, suelos, vigor de plantas.

### Abstract

The main source of N in the soil is organic matter; therefore, its availability depends on its quantity and quality, microbial activity, soil characteristics and management. An efficient way to quantify available N is by mineralizing it as ammonium (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) and nitrate (N-NO<sub>3</sub>). Therefore, in this study, the total and available N was determined in soil samples 0-20 cm deep from two plots with plantain plants (*Musa* AAB plantain subgroup cv. Hartón) with high and low vigor (AV and BV, respectively), in the South of Lake Maracaibo. Total N was determined by the Kjeldahl method and the mineralization of available N by incubation under laboratory conditions for 10 weeks. The accumulated mineralized N (Nm), the constant mineralization rate of ( $k$ ) and the potentially mineralizable N (N0) were calculated. A one-way analysis of variance was applied, when it was significant ( $p < 0.05$ ), a Tukey test was applied for multiple comparisons of means. Total N was low ( $< 0.025\%$ ) and did not present statistical differences ( $p < 0.05$ ) between AV and BV. The accumulated mineralized N-NO<sub>3</sub> was statistically ( $p < 0.05$ ) higher (524.47 mg.kg<sup>-1</sup>) in BV, while the N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> did not present differences between AV and BV. Only  $k$  was statistically higher ( $0.07 \pm 0.03$ ;  $p < 0.05$ ) in BV. Nitrification was the process that prevailed especially in BV where organic carbon was higher and presented a higher percentage of sand.

**Keywords:** ammonia, nitrate, incubation, soils, plant vigor.

### Resumo

A principal fonte de N do solo é a matéria orgânica, portanto, sua disponibilidade depende de sua quantidade e qualidade, atividade microbiana, características do solo e manejo. Uma maneira eficiente de quantificar o N disponível é mineralizá-lo como amônio (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e nitrato (N-NO<sub>3</sub>). Portanto, neste estudo o N total e disponível foi determinado em amostras de solo de 0-20 cm de profundidade de dois lotes com plantas de plantain (*Musa* AAB subgrupo de plantain cv.

Hartón) com alto e baixo vigor (AV e BV, respectivamente), no sul do Lago de Maracaibo. O N total foi determinado pelo método de Kjeldahl e a mineralização do N disponível por incubação em condições de laboratório por 10 semanas. Foram calculados o N mineralizado acumulado (Nm), a taxa de mineralização constante de ( $k$ ) e o N potencialmente mineralizável (N0). A análise de variância unilateral foi aplicada, quando esta foi significativa ( $p < 0,05$ ), o teste de Tukey foi aplicado para comparações múltiplas de médias. O % N total foi baixo ( $< 0,025$  %) e não apresentou diferenças estatísticas ( $p < 0,05$ ) entre AV e BV. O N-NO<sub>3</sub> mineralizado acumulado foi estatisticamente ( $p < 0,05$ ) maior (524,47 mg.kg<sup>-1</sup>) no VB, enquanto o N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> não apresentou diferenças entre AV e BV. Apenas  $k$  foi estatisticamente maior ( $0,07 \pm 0,03$ ;  $p < 0,05$ ) no BV. A nitrificação foi o processo que prevaleceu principalmente no BV onde o carbono orgânico foi maior e também apresentou maior porcentagem de areia.

**Palavras chaves:** Amônio, nitrato, solos, vigor, plantas, pesquisa, incubação

## Introducción

El nitrógeno (N) es un elemento muy dinámico en los suelos tropicales y además es requerido en grandes cantidades para el crecimiento de las plantas. Su eficiencia se ha podido evidenciar por la rápida tasa de mineralización y la alta disponibilidad en el suelo y en los restos vegetales (Ju y Zhang, 2017). La mineralización de nitrógeno consiste en una serie de procesos mediados principalmente por los microorganismos del suelo, a través de los cuales los componentes orgánicos son transformados a formas inorgánicas (Masunga *et al.*, 2016; Wu *et al.*, 2017). La mineralización de N depende, entre otros factores, de la cantidad y tipo de materia orgánica, de la actividad de los microorganismos, de las condiciones físicas y químicas del suelo y del tipo de manejo dado a los suelos (Dai *et al.*, 2017; Campos *et al.*, 2019; Mahal *et al.*, 2019).

Uno de los métodos que más ha sido utilizado para estimar la tasa

## Introduction

Nitrogen (N) is a very dynamic element in tropical soils and is required in large quantities for plant growth. Its efficiency is evidenced by the rapid rate of mineralization and high availability in the soil and plant debris (Ju and Zhang, 2017). Nitrogen mineralization consists of a series of processes mediated mainly by soil microorganisms, through which organic components are transformed into inorganic forms (Masunga *et al.*, 2016; Wu *et al.*, 2017). The mineralization of N depends, among other factors, on the amount and type of organic matter, the activity of microorganisms, the physical and chemical conditions of the soil and the type of management given to the soils. (Dai *et al.*, 2017; Campos *et al.*, 2019; Mahal *et al.*, 2019).

One of the methods that has been used to estimate the mineralization rate of N, as well as the amount of N mineralized during a given time,

de mineralización de N así como la cantidad de N mineralizado durante un tiempo determinado fue desarrollado por Stanford y Smith (1972), a través de la siguiente ecuación:

$$Nm = N_0 (1 - e^{-k \cdot t})$$

Donde Nm: es la cantidad de N mineralizado acumulado en un período específico de tiempo; N0: es el N orgánico del suelo potencialmente mineralizable; t: es el tiempo en semanas y k es la constante de velocidad de mineralización. El N0 representa la cantidad de N orgánico del suelo susceptible de ser transformada a formas inorgánicas solubles como amonio y nitrato, a través de la biomasa microbiana aerobia heterótrofa (Ju y Zhang, 2017). La determinación del N0 constituye una manera eficaz de cuantificar el N disponible para las plantas, lo cual permite realizar recomendaciones sobre fertilización y estrategias de manejo (Masunga *et al.*, 2016).

La producción de plátano juega un papel muy importante en la economía y sostenibilidad alimentaria en América Latina y el Caribe debido a que constituye una significativa fuente de empleo e ingresos (Gutiérrez, 2010; 2020). En Venezuela, la región del Sur del Lago de Maracaibo presenta excelentes condiciones agroecológicas para la producción de Musáceas, en especial de plátano. Sin embargo, uno de los factores que afecta la producción de plátano es la disponibilidad de nutrientes en los suelos, entre ellos el nitrógeno, el cual es requerido en grandes cantidades

was developed by Stanford and Smith (1972), using the following equation:

$$Nm = N_0 (1 - e^{-k \cdot t})$$

Where Nm = mineralized N accumulated at time t; N0 = potentially mineralizable N; t = time in weeks and k = mineralization constant. N0 represents the amount of organic soil N forms that can become soluble inorganic ammonium and nitrate, through the heterotrophic aerobic microbial biomass (Ju and Zhang, 2017). The N0 determination is an effective way to quantify the N available to plants, which allows making recommendations on fertilization and management strategies (Masunga *et al.*, 2016).

Plantain production plays a very important role in the economy and food sustainability in Latin America and the Caribbean because it constitutes a significant source of employment and income (Gutiérrez, 2010; 2020). In Venezuela, the southern region of Lake Maracaibo presents excellent agroecological conditions for the production of Musaceae, especially plantain. However, the main factors that affect plantain production are the availability of nutrients in the soils, including nitrogen; which is required in large quantities by the plant. Additionally, nitrogen is supplied through the indiscriminate application of chemical fertilizers by farmers, without considering not only the costs of production, but also the damage to health and the environment (Aular and Casares, 2011).

por la planta y es suplido a través de la aplicación indiscriminada de fertilizantes químicos por parte de los productores, sin considerar no sólo los costos de producción, sino el daño a la salud y al ambiente (Aular y Casares, 2011).

Una alternativa para reducir la cantidad de fertilizante químico aplicado la constituye la determinación de la cantidad de N que el suelo es capaz de proveer a las plantas (Herrera *et al.*, 2017; Meya *et al.*, 2020). Es por ello que, en este estudio se planteó evaluar la mineralización de nitrógeno en suelos cultivados con plátano con el fin de orientar las estrategias de manejo y realizar recomendaciones apropiadas de fertilización.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

El estudio se realizó en la Unidad de Producción Agrícola Socialista Bicentenario ubicada en Pueblo Nuevo, municipio Francisco Javier Pulgar del estado Zulia, Venezuela. Se trata de una zona cuyos suelos se han formado a partir de la deposición de sedimentos provenientes de la Cordillera de los Andes acarreados principalmente por el río Chama. Esta condición ha permitido el desarrollo de suelos relativamente fértiles, pero con problemas de mal drenaje asociado a la predominancia de texturas finas (MARNR, 1978).

Los suelos de estudio fueron descritos por González-Pedraza *et al.* (2014) como ligeramente ácidos a moderadamente ácidos, con porcentaje de carbono orgánico medio, clase textural franco limoso y franco en los

An alternative to reduce the amount of chemical fertilizer applied is the determination of the amount of N that the soil is capable of providing the plants (Herrera *et al.*, 2017; Meya *et al.*, 2020). Due to this, it was proposed to evaluate nitrogen mineralization in soils cultivated with plantain in order to guide management strategies and make appropriate fertilization recommendations.

## Materials and methods

### Study area

The study was carried out at the Bicentennial Socialist Agricultural Production Unit located in Pueblo Nuevo, Francisco Javier Pulgar municipality of Zulia state, Venezuela. It is an area whose soil has been formed from the deposition of sediments from the Andes Mountains carried mainly by the Chama River. This condition has allowed the development of relatively fertile soils, but with poor drainage problems associated with the predominance of fine textures (MARNR, 1978).

The study soils were described by González-Pedraza *et al.*, (2014) as slightly acidic to moderately acidic, with average organic carbon percentage, silty loam and loam textural class in the plots of plants with high vigor and low vigor, respectively (table 1).

### Design of the experiment and soil sampling

An experiment was carried out with a directed systematic random design (Otzen and Manterola, 2017), in which the treatments consisted of

**Cuadro 1. Determinación de algunas características físicas y químicas en los suelos de lotes de plantas de plátano de alto y bajo vigor en la Unidad de Producción Agrícola Socialista Bicentenario ubicada en Pueblo Nuevo, municipio Francisco Javier Pulgar del estado Zulia, Venezuela.**

**Table 1. Determination of some physical and chemical characteristics in the soils of plots of high and low vigor plantain plants in the Bicentennial Socialist Agricultural Production Unit located in Pueblo Nuevo, Francisco Javier Pulgar municipality of Zulia state, Venezuela.**

Parámetro	Vigor de las plantas	
	Alto vigor	Bajo vigor
pH	6,12±0,69 <sup>a</sup>	5,87±0,60 <sup>a</sup>
Conductividad eléctrica (dS.m <sup>-1</sup> )	0,036±0,017 <sup>a</sup>	0,032±0,016 <sup>a</sup>
Carbono orgánico (%)	1,8±0,52 <sup>a</sup>	2,5±0,48 <sup>b</sup>
Humedad (%)	34,47±3,39 <sup>a</sup>	30,08±3,21 <sup>b</sup>
Arcilla (%)	11,19±4,05 <sup>a</sup>	10,20±3,37 <sup>a</sup>
Limo (%)	59,67±12,21 <sup>a</sup>	38,65±10,83 <sup>b</sup>
Arena (%)	29,13±13,54 <sup>a</sup>	51,15±13,17 <sup>b</sup>
Grupo textural	Franco limoso	Franco

<sup>a,b</sup>Valores promedios ± desviación estándar acompañados por letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticas ( $P < 0,05$ ) entre lotes de plantas de alto y bajo vigor (González-Pedraza *et al.*, 2014).

<sup>a,b</sup>Mean values ± standard deviation accompanied by different lowercase letters indicate statistical differences ( $P < 0.05$ ) between plots of high and low vigor plants (González-Pedraza *et al.*, 2014).

lotes de plantas de alto vigor y bajo vigor, respectivamente (cuadro 1).

### Diseño del experimento y toma de muestras de suelos

Se realizó un experimento con un diseño aleatorio sistemático dirigido (Otzen y Manterola, 2017), en el cual los tratamientos consistieron en dos lotes, un lote con plantas de alto vigor y otro lote con plantas de bajo vigor, en una superficie de 4 ha cada uno y cuyas características de suelos se mencionan en el cuadro 1. Cada lote fue dividido en cuatro parcelas de aproximadamente 1

two plots, a lot with high vigor plants and another lot with low vigor plants, in an area of 4 ha each one and whose soil characteristics are mentioned in table 1. Each lot was divided into four plots of approximately 1 ha each and within each plot a subplot of 1 000 m<sup>2</sup> corresponding to the repetitions was delimited. Within each subplot, two transects were drawn on which 3 simple soil samples were taken (6 samples for each subplot) at a depth of 0-20 cm for a total of 24 simple soil samples per lot or treatment.



ha cada uno y dentro de cada parcela se delimitó una subparcela de 1.000 m<sup>2</sup> correspondiente a las repeticiones. Dentro de cada subparcela se trazaron dos transectas sobre las cuales se tomaron 3 muestras simples de suelo (6 muestras por cada subparcela) a una profundidad de 0-20 cm para un total de 24 muestras simples de suelos por lote o tratamiento.

### Vigor de las plantas

Para seleccionar las plantas de alto y bajo vigor se siguió el criterio propuesto por Rodríguez y Rodríguez (1998), quienes señalan que las plantas con alto vigor son las plantas madres con una circunferencia del pseudotallo de 76 cm, tomada a 1 m desde la base del tallo, mientras que las plantas con valores inferiores serían de bajo vigor.

En cada subparcela (1.000 m<sup>2</sup>) se marcaron 20 plantas que estuvieran a tres semanas de ser cosechadas, aproximadamente.

Posteriormente, a cada planta madre se le midió la circunferencia del pseudotallo a un metro de altura sobre la superficie del suelo, se contó el número de manos por racimo y se midió la altura del hijo de sucesión (medida desde el nivel del suelo hasta la inserción del pseudopéculo de la última hoja candela expandida).

La densidad de plantas por hectárea en cada subparcela se determinó multiplicando el número total de plantas presentes por 10 para relacionarlo a una hectárea. Los resultados del vigor de las plantas de este estudio fueron reportados por González-Pedraza *et al.* (2014) (cuadro 2).

### Plants vigor

To select high and low vigor plants, was followed the criterion proposed by Rodríguez and Rodríguez (1998), who point out that mother plants with high vigor are those that have a pseudostem circumference of 76 cm (taken from 1 m of the base of the stem at ground level), while plants with lower values are considered low vigor. In each subplot, (1000 m<sup>2</sup>) 20 plants were marked, with approximately three weeks remaining before harvested.

Subsequently, the circumference of the pseudostem of the mother plant was measured at a height of one meter from the plant base at ground level, the number of hands per bunch was counted and the height of the successional son was measured (measured from the ground level to the insertion of the pseudopetiole of the last expanded candle leaf).

The density of plants per hectare in each subplot was determined by multiplying the total number of plants present by 10 to relate it to one hectare. González-Pedraza *et al.* (2014) reported the results of the plants vigor in this study (table 2).

### Percentage of total nitrogen (N)

The percentage of total N was determined in the soil samples of each lot of high and low vigor of the plants, with the Kjeldahl method, which is based on the digestion of the soil sample in concentrated sulfuric acid and oxidation with peroxide of hydrogen (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) (Fleck and Munro, 1965).

**Porcentaje de nitrógeno (N) total**

El porcentaje de N total se determinó en las muestras de suelo de cada lote de alto y bajo vigor de las plantas, a través del método Kjeldahl,

**Nitrogen mineralization process**

The mineralization process was carried out under controlled laboratory conditions following the methodology proposed by Stanford

**Cuadro 2. Parámetros de productividad en los lotes de plantas de plátano con alto y bajo vigor en la Unidad de Producción Agrícola Socialista Bicentenario ubicada en Pueblo Nuevo, municipio Francisco Javier Pulgar del estado Zulia, Venezuela.**

**Table 2. Productivity parameters in the plots of plantain plants with high and low vigor in the Bicentennial Socialist Agricultural Production Unit located in Pueblo Nuevo, Francisco Javier Pulgar municipality of Zulia state, Venezuela.**

Parámetro	Vigor de las plantas	
	Alto	Bajo
Número de manos por racimo	6,44±0,97 <sup>a</sup>	4,94±0,90 <sup>b</sup>
Circunferencia pseudotallo (cm)	80,95±5,65 <sup>a</sup>	65,68±5,45 <sup>b</sup>
Altura del hijo (m)	2,61±0,39 <sup>a</sup>	1,50±0,38 <sup>b</sup>
Densidad (plantas.ha <sup>-1</sup> )	1.410	1.400

<sup>a,b</sup>Valores promedios ± desviación estándar acompañados por letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ) entre las plantaciones de alto y bajo vigor (González-Pedraza *et al.*, 2014).

<sup>a,b</sup>Mean values ± standard deviation accompanied by different lowercase letters indicate statistical differences ( $P < 0.05$ ) between plots of high and low vigor plants (González-Pedraza *et al.*, 2014).

el cual se basa en la digestión de la muestra en ácido sulfúrico concentrado y oxidación con peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) (Fleck y Munro, 1965).

**Proceso de mineralización de nitrógeno**

El proceso de mineralización se realizó en condiciones controladas de laboratorio siguiendo la metodología propuesta por Stanford y Smith (1972). Para ello, de cada una de las muestras de suelo por lote de alto y bajo vigor, se pesaron 5 g de suelo a humedad de campo, sin tamizar y se colocaron en

and Smith (1972). For this, of each soil samples per lot of high and low vigor, 5 g of soil were weighed at field humidity, without sieving and were placed in 50 mL plastic centrifuge tubes. The initial inorganic N present in the soil samples was washing with 33.3 mL of a 0.01 M calcium chloride ( $CaCl_2$ ) solution. After the initial N extraction process, 5 mL of a N-free nutrient solution with the following concentrations was added to each tube:  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  0.002 M;  $MgSO_4$  0.002 M;  $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$



tubos plásticos de centrifuga de 50 mL. El N inorgánico inicial presente en las muestras fue eliminado mediante un lavado con 33,3 mL de una solución de cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) 0,01 M. Posterior al proceso de extracción inicial del N, se le agregó a cada tubo 5 mL de una solución nutritiva libre de N con las siguientes concentraciones:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  0,002 M;  $\text{MgSO}_4$  0,002 M;  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  0,005 M y  $\text{K}_2\text{SO}_4$  0,0025 M, con la finalidad de asegurar los nutrientes necesarios para el mantenimiento de la actividad de las poblaciones microbianas (Stanford y Smith, 1972).

Cada tubo con las muestras de suelos fue cubierto con una película de papel parafilm (American National Can, Greenwich, CT) a la que se le hicieron pequeños orificios para permitir el intercambio de gases y mantener un sistema aerobio. Antes de colocar los tubos dentro de la incubadora, fueron pesados y posteriormente agitados durante 5 minutos para prevenir la sedimentación de las partículas, evitando así un posible efecto de endurecimiento de los suelos. Inmediatamente los tubos se colocaron en una incubadora a 35 °C, óptima para que el proceso de mineralización de nitrógeno. El control de peso de los suelos se realizó cada 3 días con el fin de reponer la humedad perdida durante el tiempo de incubación.

Al cabo de dos semanas de incubación se procedió a sacar los tubos de la incubadora para realizar la primera extracción del nitrógeno mineralizado (amonio y nitrato) usando para ello una solución de  $\text{CaCl}_2$  0,01 M. Una vez realizada la

0.005 M y  $\text{K}_2\text{SO}_4$  0.0025 M, in order to ensure the necessary nutrients for the maintenance of the activity of microbial populations (Stanford and Smith, 1972).

Each tube with the soil samples was covered with parafilm paper (American National Can, Greenwich, CT) in which small holes were made to allow gas exchange and maintain an aerobic system. Before placing the tubes inside the incubator, they were weighed and subsequently shaken for 5 minutes to prevent the sedimentation of the soil particles, thus avoiding a possible hardening effect of the soils. The tubes were immediately placed in an incubator at 35°C, the optimum temperature for the nitrogen mineralization process. The soil weight control was carried out every 3 days in order to replace the moisture lost during the incubation time.

After two weeks of incubation, the tubes were removed from the incubator to carry out the first extraction of the mineralized nitrogen (ammonium and nitrate) using a solution of  $\text{CaCl}_2$  0.01 M. After the first nitrogen extraction to the soil samples, the nutritive solution was added again following the methodology described above, then the tubes were again covered with perforated parafilm paper and placed inside the incubator at the same temperature of 35 °C. Successive extractions were carried out every 2 weeks until week ten, following the same procedure previously described. According to Stanford and Smith (1972), this incubation time is sufficient for the N mineralization potential of soils occurs.

primera extracción a las muestras de suelo se le adicionó de nuevo la solución nutritiva siguiendo la metodología antes descrita, luego los tubos fueron nuevamente tapados con el papel parafilm perforado y colocados dentro de la incubadora a la misma temperatura de 35 °C. Se realizaron extracciones sucesivas, siguiendo el mismo procedimiento previamente descrito cada 2 semanas hasta la semana diez. Según Stanford y Smith (1972), ese tiempo de incubación es suficiente para que ocurra la mineralización potencial del N de los suelos.

#### **Determinación del N mineralizado como amonio ( $\text{N-NH}_4^+$ )**

Del extracto obtenido anteriormente se tomó 1 mL de cada muestra y se transfirió a un tubo de ensayo. Luego a cada tubo se le adicionó 5 mL de un reactivo preparado con una mezcla de 34 g de salicilato de sodio, 25 g de citrato de sodio, 25 g de tartrato de sodio y 0,12 g de nitroprusiato de sodio en 1 L de agua. Luego de 15 minutos se adicionaron 5 mL de un reactivo alcalino preparado con 30 g de hidróxido de sodio en 750 mL de agua destilada, 10 mL de una solución de hipoclorito de sodio y se aforó a un litro con agua destilada.

Finalmente, luego de mezclar bien las muestras y los reactivos, se dejó desarrollar completamente el color por una hora y se midió la absorbancia a una longitud de onda de 655 nm. Los patrones se prepararon con una solución de sulfato de amonio con una concentración de 100  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$   $\text{N-NH}_4^+$ . La concentración de  $\text{N-NH}_4^+$  de las muestras y los blancos

#### **Determination of mineralized N as ammonium ( $\text{N-NH}_4^+$ )**

From the extract obtained above, 1 mL of each sample was transferred into a test tube. Then, to each tube, 5 mL of a reagent prepared with a mixture of 34 g of sodium salicylate, 25 g of sodium citrate, 25 g of sodium tartrate and 0.12 g of sodium nitroprusside in one liter of distilled water. After 15 minutes, 5 mL of an alkaline reagent prepared with 30 g of sodium hydroxide in 750 mL of distilled water, 10 mL of a sodium hypochlorite solution and it was made up to one liter with distilled water.

Finally, after the extracts and reagents were mixed, the color was allowed to develop completely for one hour and the absorbance was measured at a wavelength of 655 nm. The standards were prepared with an ammonium sulfate solution with a concentration of 100  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$   $\text{N-NH}_4^+$ . Concentration of  $\text{N-NH}_4^+$  of the samples and blanks was obtained by plotting their absorbance value against the concentration of the standards and subtracting the mean of the blank from the sample. Then the mineralized ammonium was calculated as follows:

$$\text{N-NH}_4^+ (\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1} \text{ suelo}) = C \cdot V / W$$

Where:

C = concentration ( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ )

V = volume of extract (mL)

W = weight of sample (g)

#### **Determination of mineralized nitrogen as nitrate ( $\text{N-NO}_3^-$ )**

$\text{N-NO}_3^-$  was determined in the same extracts obtained from the sample with the 0.01 M  $\text{CaCl}_2$  solution. 0.5 mL of the samples were placed into

se obtuvo graficando su valor de absorbancia contra la concentración de los patrones y restando la media del blanco de la muestra. Luego el amonio mineralizado se calculó de la siguiente forma:

$$N-NH_4^+ (\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1} \text{ suelo}) = C \cdot V/W$$

Donde:

C= concentración ( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ )

V= volumen del extracto (mL)

W= peso de la muestra (g)

Determinación de nitrógeno mineralizado como nitrato ( $N-NO_3^-$ )

El  $N-NO_3^-$  se determinó en los mismos extractos obtenidos de la muestra con la solución de  $CaCl_2$  0,01 M. Se tomaron 0,5 mL de las muestras y se colocaron en tubos de ensayo a los cuales se les adicionó 1 mL de una solución de ácido salicílico (5 g de ácido salicílico mezclados con 95 mL de ácido sulfúrico concentrado), se mezcló bien y luego de 30 minutos se adicionaron 10 mL de una solución de hidróxido de sodio 4M. Se mezcló y se dejó desarrollar el color durante una hora. La absorbancia fue medida a una longitud de onda de 410 nm. Para construir la curva patrón se realizó el mismo procedimiento que aplicado a las muestras.

El patrón se preparó partiendo de una solución de nitrato de potasio ( $KNO_3$ ) con una concentración de  $50 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ , de la cual se tomaron 0, 2, 4, 6, 8 y 10 mL y se colocaron en matraces volumétricos de 50 mL. El volumen se completó con la misma solución extractora de  $CaCl_2$  0,01 M. La concentración de  $N-NO_3^-$  se determinó graficando la absorbancia

test tubes to which 1 mL of a salicylic acid solution was added (5 g of salicylic acid mixed with 95 mL of concentrated sulfuric acid), it was mixed well and after 30 minutes 10 mL of a 4M sodium hydroxide solution were added. It was mixed and the color was allowed to develop for one hour. The absorbance was measured at a wavelength of 410 nm. To construct the standard curve, the same procedure as applied to the samples was carried out.

The standard was prepared starting from a solution of potassium nitrate ( $KNO_3$ ) with a concentration of  $50 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ , from which 0, 2, 4, 6, 8 and 10 mL were placed in volumetric flasks of 50 mL. The volume was completed with the same extracting solution of  $CaCl_2$  0.01 M. The concentration of  $N-NO_3^-$  was determined by plotting the absorbance of the standards against the respective concentration of each sample. Then the mineralized N as  $NO_3^-$  was calculated as follows:

$$N-NO_3^- (\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}) = C \cdot V/W$$

Where:

C = concentration ( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ )

V = volume of extract (mL)

W = weight of sample (g)

### Kinetics of N mineralization

The net mineralization of N ( $N_m$ ), the potentially mineralizable organic N ( $N_0$ ) and the mineralization rate constant ( $k$ ) were calculated according to the methodology developed by Stanford and Smith (1972). The  $N_m$  was calculated as the sum of the  $N-NH_4^+$  y  $N-NO_3^-$  at each incubation interval. The accumulated net mineralization of N was linearly related to the square

de los patrones contra la respectiva concentración de cada muestra. Luego el N mineralizado como  $\text{NO}_3^-$  se calculó como sigue:

$$N\text{-NO}_3^- (\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}) = C \cdot V / W$$

Donde:

C= concentración ( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ )

V= volumen del extracto (mL)

W= peso de la muestra (g)

### Cinética de la mineralización de N

Se calculó la mineralización neta de N ( $N_m$ ), el N orgánico potencialmente mineralizable ( $N_0$ ) y la constante de la tasa de mineralización ( $k$ ) de acuerdo con la metodología desarrollada por Stanford y Smith (1972). El  $N_m$  fue calculado como la suma del  $\text{N-NH}_4^+$  y  $\text{N-NO}_3^-$  en cada intervalo de incubación. La mineralización neta acumulada de N fue linealmente relacionada con la raíz cuadrada del tiempo, a través de las diez semanas de incubación. El  $N_0$  y la  $k$  para el período de incubación de siete semanas fueron obtenidos usando la ecuación propuesta por Stanford y Smith (1972):

$$N_m = N_0 (1 - e^{-kt})$$

Donde:

$N_m$  = cantidad de N mineralizado en un tiempo determinado ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

$N_0$  = N potencialmente mineralizable ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

$k$  = tasa constante de mineralización de primer orden (semanas<sup>-1</sup>)

$t$  = tiempo de incubación (semanas)

### Análisis estadístico

Se aplicó un análisis de la varianza

root of time, through the ten weeks of incubation.  $N_0$  and  $k$  for the seven-week incubation period were obtained using the equation proposed by Stanford and Smith (1972):

$$N_m = N_0 (1 - e^{-kt})$$

Where:

$N_m$  = amount of mineralized N in a given time ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

$N_0$  = potentially mineralizable N ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

$k$  = constant rate of first order mineralization (weeks<sup>-1</sup>)

$t$  = incubation time (weeks)

### Statistical analysis

A one-way analysis of variance (ANOVA) was applied based on compliance with the assumptions of normality, homogeneity of variance and independence of the samples, to the data of total nitrogen, mineralized nitrogen (ammonium and nitrate) during each incubation period (weeks 2, 4, 6, 8 and 10). When the ANOVA was significant ( $p < 0.05$ ), a Tukey test was applied for multiple comparisons of means with a probability of 95%. To relate variables in the sites of interest, a simple linear regression analysis was used, considering as dependent variables the parameters associated with the vigor of the plants and, independent variables total nitrogen, mineralized nitrogen (ammonium and nitrate) every two weeks, the parameters derived from the kinetics of N mineralization, namely mineralized nitrogen accumulated during the 10 weeks of incubation ( $N_m$ ), the constant rate of nitrogen mineralization ( $k$ ) and the potentially mineralizable

de una vía (ANOVA) tomando como base el cumplimiento de los supuestos de normalidad, homogeneidad de varianza e independencia de las muestras, a los datos de nitrógeno total, nitrógeno mineralizado (amonio y nitrato) durante cada período de incubación (semanas 2, 4, 6, 8 y 10). Cuando el ANOVA resultó significativo ( $p < 0,05$ ), se aplicó una prueba de Tukey para comparaciones múltiples de medias con una probabilidad de 95 %. Para relacionar variables en los sitios de interés, se utilizó un análisis de regresión lineal simple considerando como variables dependientes los parámetros asociados al vigor de las plantas y variables independientes el nitrógeno total, el nitrógeno mineralizado (amonio y nitrato) cada dos semanas, los parámetros derivados a partir de la cinética de la mineralización de N, a saber nitrógeno mineralizado acumulado durante las 10 semanas de incubación (Nm), la tasa constante de mineralización de nitrógeno (K) y el nitrógeno potencialmente mineralizable (N0).

El análisis estadístico fue realizado utilizando el paquete estadístico STATISTICA para Windows 6.0 (STATISTICA, 2001).

## Resultados y discusión

### Nitrógeno total

El porcentaje de N total de los suelos no presentó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los lotes de alto y bajo vigor de las plantas de plátano (figura 1).

nitrógeno (N0). Statistical analysis was performed using the STATISTICA statistical package for Windows 6.0 (STATISTICA, 2001).

## Results and discussion

### Total nitrogen

The total N percentage of the soils did not present significant differences ( $p < 0.05$ ) between the high and low vigor plots of the plantain plants (figure 1).

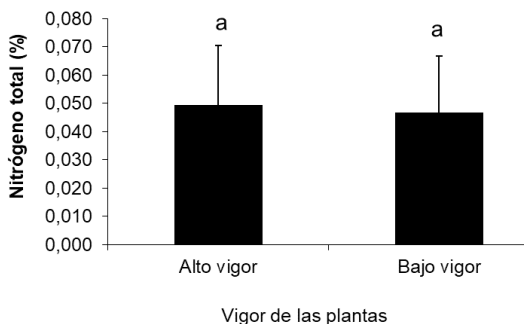
These values are particularly low when compared with reference data for soils of alluvial origin and similar textural characteristics (Rodríguez *et al.*, 2004). It is probable that factors such as the percentage of relatively low organic carbon ( $1.8 \pm 0.52$  in soils with high vigor plants and  $2.5 \pm 0.48$  in soils with low vigor plants) coupled with pH ( $6.12 \pm 0.69$  and  $5.87 \pm 0.60$  in the high and low vigor plant plots, respectively) are affecting the concentration of N in these soils. Organic matter is the main source of N in soils and when it is low, microorganisms have little available substrate. Additionally, the microbial populations responsible for N mineralization are especially sensitive to low pH in soils.

### N mineralization

The mineralized N during the 10 weeks that the experiment lasted was only statistically ( $p < 0.05$ ) different in the nitrate form and the highest value corresponded to the low vigor plots of the plants. The plots with high vigor of the plants did not present differences in the mineralized available ammonia (figure 2).

Estos valores son particularmente bajos cuando se comparan con datos de referencia para suelos de origen aluvial y características texturales similares (Rodríguez *et al.*, 2004). Es probable que factores como el porcentaje de carbono orgánico ( $1,8 \pm 0,52$  en los suelos con plantas de alto vigor y  $2,5 \pm 0,48$  en los suelos con plantas de bajo vigor) relativamente bajo, aunado al pH ( $6,12 \pm 0,69$  y  $5,87 \pm 0,60$  en los lotes de planta de alto y bajo vigor,

In the soils of the BV plots, the N mineralization process that was favored was nitrification. Additionally, it is pertinent to mention that in BV a significantly higher percentage of organic carbon was found (table 1), which may be being used by soil microorganisms for their metabolic processes, which would also explain the higher concentration of  $\text{N-NO}_3^-$  in these soils.



**Figura 1. Nitrógeno total (%) en suelos de lotes de plantas de plátano alto vigor y bajo vigor en la Unidad de Producción Agrícola Socialista Bicentenario ubicada en Pueblo Nuevo, municipio Francisco Javier Pulgar del estado Zulia, Venezuela. AV: Alto vigor; BV: Bajo vigor. Valor promedio±desviación estándar acompañados por letras minúsculas distintas señalan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre AV y BV.**

**Figure 1. Total nitrogen percentage in soils of plots of high vigor and low vigor plantain plants in the Bicentennial Socialist Agricultural Production Unit located in Pueblo Nuevo, Francisco Javier Pulgar municipality of Zulia state, Venezuela. AV: High vigor; BV: Low vigor. Mean value ± standard deviation accompanied by different lowercase letters indicate significant differences ( $p < 0.05$ ) between AV and BV.**

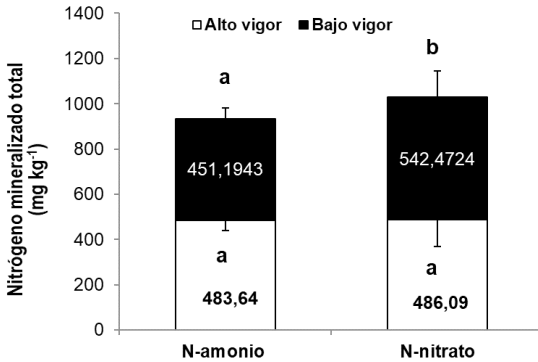
respectivamente) estén afectando la concentración de N en estos suelos. La materia orgánica es la principal fuente

On the other hand, these soils are heavily fertilized several times throughout the year with



de N de los suelos y cuando esta es baja los microorganismos tienen poco sustrato disponible. Adicionalmente, las poblaciones microbianas responsables de la mineralización del N son especialmente sensibles a el pH bajo en los suelos.

chemical sources, such as urea. In different studies, it has been shown that the application of fertilizers significantly affects the cycling of N in soils (Campos *et al.*, 2019; Dai *et al.*, 2017). In this respect, Dai *et al.* (2017) found that the long-term



**Figura 2.** Nitrógeno mineralizado como amonio y nitrato durante las 10 semanas de incubación en lotes de alto y bajo vigor de las plantas de plátano en la Unidad de Producción Agrícola Socialista Bicentenario ubicada en Pueblo Nuevo, municipio Francisco Javier Pulgar del estado Zulia, Venezuela. Valor promedio ± desviación estándar acompañados por letras minúsculas distintas señalan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre lotes de alto y bajo vigor.

**Figure 2.** Nitrogen mineralized as ammonium and nitrate during the 10 weeks of incubation in high and low vigor plots of plantain plants in the Bicentennial Socialist Agricultural Production Unit located in Pueblo Nuevo, Francisco Javier Pulgar municipality of Zulia state, Venezuela. AV: High vigor; BV: Low vigor. Mean value ± standard deviation accompanied by different lowercase letters indicate significant differences ( $p < 0.05$ ) between AV and BV.

**Mineralización de N**

El N mineralizado durante las 10 semanas que duró el experimento solamente resultó estadísticamente

application of nitrogen fertilizers did not significantly affect the crude ammonium immobilization rate, but did accelerate the nitrification

( $p < 0,05$ ) diferente en la forma de nitrato y el valor más alto correspondió a los lotes de bajo vigor de las plantas. Los lotes con alto vigor de las plantas no presentaron diferencias en el amonio disponible mineralizado (figura 2).

En los suelos de los lotes de BV el proceso de mineralización de N que se vio favorecido fue la nitrificación. Adicionalmente, es pertinente mencionar que en BV se encontró un porcentaje de carbono orgánico significativamente más alto (cuadro 1), el cual puede estar siendo usado por los microorganismos del suelo para sus procesos metabólicos, lo que explicaría también la mayor concentración de  $N-NO_3^-$  en estos suelos.

Por otro lado, estos suelos son fuertemente fertilizados varias veces al año con fuentes químicas, como la urea. En diferentes estudios se ha demostrado que la aplicación de fertilizantes afecta significativamente el ciclaje de N en los suelos (Campos *et al.*, 2019; Dai *et al.*, 2017). A este respecto, Dai *et al.* (2017), encontraron que la aplicación de fertilizantes nitrogenados a largo plazo no afectó significativamente la tasa bruta de inmovilización de amonio, pero si aceleró la tasa de nitrificación. Esto puede tener implicaciones importantes en las pérdidas potenciales de N como nitrato por lixiviación y escorrentía y afectar la fertilidad de los suelos.

En los suelos estudiados es posible que la aplicación de fertilizantes químicos proporcione el sustrato necesario para la nitrificación y aumente el tamaño y la actividad de las poblaciones bacterianas oxidantes de amoníaco en los suelos, especialmente los fertilizantes nitrógenos amoniacales.

This can have important implications in the potential losses of N as nitrate by leaching and runoff and affect the fertility of the soils.

In the soils studied, it is possible that the application of chemical fertilizers provides the necessary substrate for nitrification and increases the size and activity of the ammonia-oxidizing bacterial populations in the soils, especially ammoniacal nitrogen fertilizers.

In this regard, Mahal *et al.* (2019) pointed out that, the sources of ammonia fertilization in the corn crop had a suppressive effect on the mineralization rate of soil organic matter, demonstrating that the effect of nitrogen fertilizer on microbial activity could exceed the indirect effects of this through large changes in net primary productivity altering the contributions of organic matter, temperature and soil moisture content.

Additionally, the soil texture also affects the mineralization of N. In BV, the percentage of sand was significantly higher than in AV; therefore, it is possible that this characteristic is contributing to a greater mineralization of N in those soils (Cai *et al.*, 2016).

Nitrogen mineralization is also affected by soil temperature, humidity, and aeration. In the study area, high temperatures, as well as high rainfall, are contributing to the occurrence of a higher rate of mineralization of N in the soils of BV (Celaya-Michel and Castellanos-Villegas, 2011).

A este respecto, Mahal *et al.* (2019) señalaron que las fuentes de fertilización amoniacal en el cultivo de maíz tuvieron un efecto supresor sobre la tasa de mineralización de la materia orgánica del suelo, demostrando que el efecto del fertilizante nitrogenado sobre la actividad microbiana podría exceder los efectos indirectos de ésta a través de grandes cambios en la productividad primaria neta alterando los aportes de materia orgánica, la temperatura y contenido de humedad del suelo.

Adicionalmente, la textura del suelo también afecta la mineralización de N. En BV el porcentaje de arena resultó significativamente más alto que en AV, por lo tanto, es posible que tal característica esté contribuyendo a una mayor mineralización del N en esos suelos (Cai *et al.*, 2016).

La mineralización de nitrógeno también es afectada por la temperatura, humedad, y aireación del suelo. En la zona de estudio las altas temperaturas, así como las altas precipitaciones están contribuyendo a que ocurra una mayor tasa de mineralización de N en los suelos de BV (Celaya-Michel y Castellanos-Villegas, 2011).

### **Nitrógeno mineralizado acumulado (Nm)**

Solamente se observaron diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ) en Nm a la semana 2 de incubación. La mineralización de N siguió un incremento exponencial y en la semana 10 todavía había una gran cantidad de N mineralizándose (cuadro 3).

A este respecto, Celaya-Michel y Castellanos-Villegas (2011) señalan que los microorganismos responden

### **Accumulated mineralized nitrogen (Nm)**

Only statistical differences ( $p < 0.05$ ) were observed in Nm at week 2 of incubation. N mineralization followed an exponential increase and at week 10 there was still a large amount of N mineralizing (table 3).

The significantly higher Nm value in BV could be due to the higher percentage of organic carbon found in these soils (table 2). Similarly, it is possible that microorganisms under the sandy soil conditions respond more quickly to the pulse of moisture and nutrients supplied at the beginning of the test. In this respect, Celaya-Michel and Castellanos-Villegas (2011) indicate that microorganisms respond quickly to the availability of moisture in the soil, even in the case only a small wet surface portion event.

The exponential mineralization of N in week 10 indicates that more time is required to 10 weeks for all N available in these soils are completely mineralize.

### **Kinetics of N mineralization**

The parameters obtained from the first-order equation proposed by Stanford and Smith (1972) are presented in table 4. According to these results, only statistical differences ( $p < 0.05$ ) were found in the constant rate of mineralization ( $k$ ) between the high and low vigor plots, while the accumulated mineralized N (Nm) and the potentially mineralizable N (N0) during the 10 weeks of incubation did not show differences between plots.

The  $k$  value found in these soils (between 0.06 and 0.07) is lower than the data reported by Celaya-Michel

**Cuadro 3. Nitrógeno mineralizado acumulado durante las 10 semanas de incubación en los suelos de los lotes de plantas de plátano de alto y bajo vigor de la Unidad de Producción Agrícola Socialista Bicentenario ubicada en Pueblo Nuevo, municipio Francisco Javier Pulgar del estado Zulia, Venezuela.**

**Table 3. Mineralized nitrogen accumulated during the 10 weeks of incubation in the soils of the plots of high and low vigor plantain plants of the Bicentennial Socialist Agricultural Production Unit located in Pueblo Nuevo, Francisco Javier Pulgar municipality of Zulia state, Venezuela.**

Semana	Nitrógeno mineralizado acumulado (Nm, mg.kg <sup>-1</sup> )	
	Alto vigor	Bajo vigor
2	96,37±20,18 <sup>a</sup>	114,35±33,63 <sup>b</sup>
4	268,25±25,33 <sup>a</sup>	270,46±36,79 <sup>a</sup>
6	446,95±36,86 <sup>a</sup>	455,68±64,84 <sup>a</sup>
8	652,89±54,52 <sup>a</sup>	676,11±99,69 <sup>a</sup>
10	969,74±103,87 <sup>a</sup>	993,67±117,14 <sup>a</sup>

<sup>a</sup> <sup>b</sup>Valor promedio ± desviación estándar acompañado por letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ) en el Nm entre las plantaciones de alto y bajo vigor.

<sup>a</sup> <sup>b</sup>Mean value ± standard deviation accompanied by different lowercase letters indicate statistical differences ( $p < 0.05$ ) in Nm between high and low vigor plantations.

rápidamente a la disponibilidad de humedad en el suelo, aún cuando se trate de un evento pequeño que solo humedezca la parte superficial.

La mineralización exponencial de N aún en la semana 10 indica que se requiere un tiempo mayor a 10 semanas para lograr que todo el N disponible en esos suelos se mineralice completamente.

El valor significativamente más alto de Nm en BV puede deberse al mayor porcentaje de carbono orgánico encontrado en esos suelos (cuadro 2). De igual forma, es posible que los microorganismos bajo las condiciones de suelo más arenoso respondan de forma más rápida al pulso de humedad

and Castellanos-Villegas (2011), for different types of forest vegetation and grasses. The value found is indicating that in the high vigor plots the model predicts that at 35 ° C it takes 16.66 weeks ( $1 / 0.06$ ) for the N0 obtained to mineralize ( $1314.82 \pm 283.14 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) at a rate of 6% N per week. On the other hand, in the low vigor plots, the model predicts that under the same conditions of the experiment the N0 obtained ( $1291.99 \pm 312.24$ ) would mineralize in 14.28 weeks ( $1 / 0.07$ ) at a rate of 7% per week (table 4). The fact that N0 was higher than Nm confirms that a time of 10 weeks was not enough to reach the total mineralization of the N available in the soils. According to the

y nutrientes suministrado al inicio del ensayo.

**Cinética de la mineralización de N**

Los parámetros obtenidos de la ecuación de primer orden propuesto por Stanford y Smith (1972) son

calculation of the model, the incubation time should be 14 to 16 weeks.

It is important to note that, despite not finding statistical differences in N0 between plots, this parameter represents the amount of organic N in the

**Cuadro 4. Parámetros derivados a partir de la cinética de la mineralización de N aplicando la ecuación de primer orden:  $N_m = N_0 [1 - e^{-kt}]$  en suelos de lotes de plantas con alto y bajo vigor de la Unidad de Producción Agrícola Socialista Bicentenario ubicada en Pueblo Nuevo, municipio Francisco Javier Pulgar del estado Zulia, Venezuela.**

**Table 4. Parameters derived from the kinetics of N mineralization applying the first order equation:  $N_m = N_0 [1 - e^{-kt}]$  in soils of plots of plants with high and low vigor of the Production Unit Agrícola Socialista Bicentenario located in Pueblo Nuevo, Francisco Javier Pulgar municipality of Zulia state, Venezuela.**

Variable	Vigor de las plantas	
	Alto	Bajo
N <sub>m</sub>	969,74±103,87 <sup>a</sup>	993,67±117,14 <sup>a</sup>
K	0,06±0,01 <sup>a</sup>	0,07±0,03 <sup>b</sup>
N <sub>0</sub>	1314,82±283,14 <sup>a</sup>	1291,99±312,24 <sup>a</sup>
R <sup>2</sup>	0,95	0,93

<sup>a,b</sup>Valor promedio ± desviación estándar. Letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticas (p < 0,05) entre los lotes. N<sub>m</sub>= Nitrógeno mineralizado acumulado durante las 10 semanas de incubación (mg.kg<sup>-1</sup>). k= Tasa constante de mineralización de nitrógeno (1/semana). N<sub>0</sub>= Nitrógeno potencialmente mineralizable (mg.kg<sup>-1</sup>). R<sup>2</sup>= coeficiente de determinación del modelo.

<sup>a,b</sup>Mean value ± standard deviation. Different lowercase letters indicate statistical differences (p < 0.05) between plots. N<sub>m</sub> = Mineralized nitrogen accumulated during the 10 weeks of incubation (mg.kg<sup>-1</sup>). k = Constant rate of nitrogen mineralization (1 / week). N<sub>0</sub> = Potentially mineralizable nitrogen (mg.kg<sup>-1</sup>). R<sup>2</sup> = coefficient of determination of the model.

presentados en el cuadro 4. De acuerdo con esos resultados, solamente se encontraron diferencias estadísticas (p<0,05) en la tasa constante de mineralización (k) entre los lotes de alto y bajo vigor, mientras que el N mineralizado acumulado (N<sub>m</sub>) y el N

soil that could be transformed into soluble inorganic forms, mainly ammonium and nitrate, through the heterotrophic aerobic microbial biomass (Ju and Zhang, 2017). Asimismo, constituye una manera eficaz

potencialmente mineralizable (N0) durante las 10 semanas de incubación no presentaron diferencias entre lotes.

El valor de  $k$  encontrado en estos suelos (entre 0,06 y 0,07) es más bajo que los datos reportados por Celaya-Michel y Castellanos-Villegas (2011), para diferentes tipos de vegetación de bosque y gramíneas. El valor encontrado está indicando que en los lotes de alto vigor el modelo predice que a 35 °C se requiere de 16,66 semanas (1/0,06) para que se mineralice el N0 obtenido ( $1314,82 \pm 283,14 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) a una tasa de 6 % de N por semana. Por su parte, en los lotes de bajo vigor el modelo predice que bajo las mismas condiciones del experimento el N0 obtenido ( $1291,99 \pm 312,24$ ) se mineralizaría en 14,28 semanas (1/0,07) a una tasa de 7 % por semana (cuadro 4). El que N0 resultara superior al Nm, confirma que un tiempo de 10 semanas no fue suficiente para alcanzar la mineralización total del N disponible en los suelos. Según el cálculo del modelo, el tiempo de incubación debió ser de 14 a 16 semanas.

Es importante señalar que, a pesar de no encontrarse diferencias estadísticas en N0 entre lotes, este parámetro representa la cantidad de N orgánico del suelo susceptible de ser transformada a formas inorgánicas solubles, principalmente amonio y nitrato, a través de la biomasa microbiana aerobia heterótrofa (Ju y Zhang, 2017). Asimismo, constituye una manera eficaz de cuantificar el aporte de N del suelo para las plantas y permite realizar recomendaciones sobre fertilización y estrategias de

de cuantificar el aporte de N del suelo para las plantas y permite realizar recomendaciones sobre fertilización y estrategias de manejo (Masunga *et al.*, 2016; Wu *et al.*, 2017).

### **Relationship between the concentration of N in soils and the productivity parameters of plantain plants**

Due to the statistical differences found between the values of the parameters associated with productivity reported by González-Pedraza *et al.* (2014), a Pearson linear correlation analysis was applied in order to relate the concentration of N in the soils and the productivity of the plants and a positive correlation was found between the circumference of the pseudostem (cm), the number of hands per bunch and the height of the son (cm) with the mineralized ammonia (table 5).

In that sense, although the ammonium concentration was relatively low in relation to the nitrate, it is available form of nitrogen that was playing a preponderant role on the productivity parameters of the plants.

The mineralized N was above that reported for soils cultivated with Musaceae by Molero *et al.* (2008) in South of Lake Maracaibo ( $585 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). The process that was mainly favored in the soils of the low vigor plots was nitrification, which may be associated with the highest percentage of organic carbon and acid pH (<6.0). This behavior could also be explained by the higher sand content (51.15% in the low vigor plots versus



manejo (Masunga *et al.*, 2016; Wu *et al.*, 2017).

**Relación entre la concentración de N en los suelos y los parámetros de productividad de las plantas de plátano**

Debido a las diferencias estadísticas encontradas entre los valores de los parámetros asociados a la productividad reportados por González-Pedraza *et al.* (2014), se procedió a aplicar un análisis de correlación lineal de Pearson con el fin de relacionar la concentración de N en los suelos y la productividad de las plantas y se encontró una correlación positiva entre la circunferencia del pseudotallo (cm), el número de manos por racimo y la altura del hijo (cm) con el amonio mineralizado (cuadro 5).

En ese sentido, aunque la concentración de amonio fue

29.13% in the high vigor plots), which allows better aeration which in turn favors the mineralization process of N in soils (table 1)

**Conclusions**

The mineralization of N differed between the analyzed soils, which had an impact on the productivity parameters of the plants. In the BV plant plots, the process that was favored was nitrification, which was associated with a higher percentage of organic carbon in the soil and a higher percentage of sand. Nitrogen input from soils can be quantified, but the incubation time of the samples should be prolonged under laboratory conditions.

*End of English Version*

**Cuadro 5. Correlación entre los parámetros de producción con la mineralización de nitrógeno en los suelos cultivados con plátano con alto y bajo vigor de las plantas en en la Unidad de Producción Agrícola Socialista Bicentenario ubicada en Pueblo Nuevo, municipio Francisco Javier Pulgar del estado Zulia, Venezuela.**

**Table 5. Correlation between the production parameters with the nitrogen mineralization in the soils cultivated with plantain with high and low vigor of the plants in the Bicentennial Socialist Agricultural Production Unit located in Pueblo Nuevo, Francisco Javier Pulgar municipality of Zulia state, Venezuela.**

Parámetros	r
Circunferencia pseudotallo (cm) vs Amonio mineralizado total	0,48
Número de manos por racimo vs Amonio mineralizado total	0,36
Altura del hijo (m) vs Amonio mineralizado total	0,40

r: Valor de correlación lineal simple de Pearson (p<0,05)

r: Value of simple linear correlation Pearson (p<0.05)

relativamente baja en relación con la de nitrato, es esta forma disponible de nitrógeno la que estaba jugando un papel preponderante sobre los parámetros de productividad de las plantas.

El N mineralizado estuvo por encima al reportado para suelos cultivados con Musáceas por Molero *et al.* (2008) en el Sur del Lago de Maracaibo (585 mg.kg<sup>-1</sup>). El proceso que principalmente se vio favorecido en los suelos de los lotes de bajo vigor fue la nitrificación, el cual puede estar asociado con el mayor porcentaje de carbono orgánico y el pH ácido (< 6,0). Este comportamiento también pudiera ser explicado por el mayor contenido de arena (51,15 % en los lotes de bajo vigor versus 29,13 % en los lotes de alto vigor), lo que permite una mejor aireación que a su vez favorece el proceso de mineralización de N en los suelos (cuadro 1).

## Conclusiones

La mineralización de N difirió entre los suelos analizados lo cual incidió en los parámetros de la productividad de las plantas. En los lotes de planta de BV el proceso que se vio favorecido fue la nitrificación que se asoció con un mayor porcentaje de carbono orgánico en el suelo y un mayor porcentaje de arena. Se puede cuantificar el aporte de nitrógeno de los suelos, pero se debe prolongar el tiempo de incubación de las muestras en condiciones de laboratorio.

## Literatura citada

- Aular, J. y M. Casares. 2011. Consideraciones sobre la producción de frutas en Venezuela. Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP, Volume Especial: 187-198.
- Cai, A., H. Xu, X. Shao, P. Zhu, W. Zhang, M. Xu and D. Murphy. 2016. Carbon and nitrogen mineralization in relation to soil particle-size fractions after 32 years of chemical and manure application in a continuous maize cropping system. PLoS ONE 11(3): e0152521. doi:10.1371/journal.pone.0152521.
- Campos, P.D.G., I. Alves, M. Mahmoud and M.X. Vieira. 2019. Potassium chloride: impacts on soil microbial activity and nitrogen mineralization. Cienc. Rural. 49(5): 1-9.
- Celaya-Michel, H. y E. Castellanos-Villegas. 2011. Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. Terra Lat. 29(3): 343-356.
- Dai, S., J. Wang, Y. Cheng, J. Zhang and Z. Cai. 2017. Effects of long-term fertilization on soil gross N transformation rates and their implications. J. Integr. Agric. 16(12): 2863-2870.
- Fleck, A. and H.N. Munro 1965. The determination of organic nitrogen in biological materials. Clin. Chim. Acta 2: 2-12.
- González-Pedraza, A.F., J. Atencio., K. Cubillán., R. Almendrales., L. Ramírez y O. Barrios. 2014. Actividad microbiana en suelos cultivados con plátano (*Musa* AAB subgrupo plátano cv. Hartón) con diferente vigor de las plantas. Rev. Fac. Agron. (LUZ). 31(Sup. 1): 526-538.
- Gutiérrez, S.A. 2020. Economía y políticas agroalimentarias. Banco Central de Venezuela, Caracas, Venezuela. 528 p.
- Gutiérrez, S.A. 2010. La Situación Agroalimentaria en Venezuela. Hacia una Nueva Estrategia. FORO. 3(5): 31-52.
- Herrera, C., LI. Calderón and A.M. Gutiérrez. 2017. Soil quality index

- in conventional and semi-ecological farms producing plantain (*Musa* AAB Simmonds cv. Dominic Harton) in Anolaima-Cundinamarca, Colombia. *Acta Agron.* 66(4): 457-465.
- Ju, X., and Ch. Zhang. 2017. Nitrogen cycling and environmental impacts in upland agricultural soils in North China: A review. *J. Integr. Agric.* 16(12): 2848-2862.
- Mahal, N.K., W.R. Osterholz, F.E. Miguez, H.J. Poffenbarger, J.E. Sawyer, D.C. Olk, S.V. Archontoulis and M.J. Castellano. 2019. Nitrogen fertilizer suppresses mineralization of soil organic matter in maize agroecosystems. *Front. Ecol. Evol.* 7:59.doi: 10.3389/fevo.2019.00059.
- Masunga, R.H., V. Nwakaego, P. Deusededit, M. Inakwu, A. Singhd, D. Buchane and S. De Nevee. 2016. Nitrogen mineralization dynamics of different valuable organic amendments commonly used in agriculture. *Appl. Soil Ecol.* 101: 185-193.
- Meya, A., P.A. Ndakidemi, K.M. Mtei, R. Swennen and R. Merckx. 2020. Optimizing soil fertility management strategies to enhance banana production in volcanic soils of the Northern Highlands, Tanzania. *Agronomy.* 10(289): 1-21. doi:10.3390/agronomy10020289.
- Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR). 1978. Hacia un plan rector de ordenación del territorio. Zona Sur del Lago de Maracaibo. Serie informe
- Técnicos DGPOA/IT/16. Caracas, Venezuela. 78 pp.
- Molero, M., L. Gutiérrez, Q. Contreras, C. Rondón, P. Carrero y E. Rojas. 2008. Determinación de los niveles de: K, P, N, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, y Mn en muestras de suelos y tejido foliar del cultivo *Musa* AAB, subgrupo plátano cv. Hartón. *Prod. Agrop.* 1(1): 3-6.
- Otzen, T. y C. Manterola. 2017. Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *Int. J. Morphol.* 35(1): 227-232.
- Rodríguez, V. y O. Rodríguez. 1998. Biometría de la cepa de plátano (*Musa* AAB subgrupo plátano cv. Hartón) en plantas con rendimientos superiores a 18 kilogramos por racimo, en Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ).* 15: 439-445.
- Rodríguez, V., E. Malavolta, A. Sánchez y O. Lavoranti. 2004. Balance nutricional de referencia de suelos y hojas en el cultivo de plátano Hartón. *Bioagro.* 16(1): 39-46.
- Stanford, G. and S.J. Smith. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36: 465-472.
- STATISTICA 2001. Basic Statistical Analysis Methods. Versión 6.0. StatSoft, Tulsa, OK.
- Wu, Y., M. Shaaban, C. Deng, Q. Peng and R. Hu. 2017. Changes in the soil N potential mineralization and nitrification in a rice paddy after 20 yr application of chemical fertilizers and organic matter. *Can. J. Soil Sci.* 97: 290-299.