

EFFECTO DEL SUMINISTRO DE GALLINAZO SOBRE EL PROCESO DE NITRIFICACIÓN EN SUELOS AGRÍCOLAS DE LOS PÁRAMOS DE MÉRIDA

Daniel Machado¹, Jhaydyn Toro² y Lina Sarmiento²

¹LIAQIA, Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela, dmachado@ula.ve. ²ICAE, Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela, jhaydyn_t@hotmail.com y lsarmien@ula.ve

RESUMEN

El objetivo fue evaluar el efecto del gallinazo sobre el proceso de nitrificación en tres suelos agrícolas de los Páramos de Mérida, contrastantes en sus propiedades físico-químicas e historias de manejo. Para ello se realizaron incubaciones de suelo, durante 24 días, en condiciones controladas de laboratorio, con suministro de N-NH⁺₄, y con y sin suministro de gallinazo. En cada suelo se midieron los contenidos de N-NH⁺₄ y N-NO⁻₃ y las cantidades de CO₂ liberadas en distintos tiempos de incubación. Se calcularon los % de nitrificación, los cuales resultaron significativamente diferentes en los suelos estudiados. También se observó que el gallinazo estimuló la respiración y la nitrificación aunque de manera distinta en los tres suelos. Se concluye que el suministro de gallinazo estimula la nitrificación porque promueve la liberación de CO₂ por parte de la microbiota del suelo.

Palabras claves: nitrificación, respiración edáfica, gallinazo, suelos agrícolas, Páramos de Mérida.

INTRODUCCIÓN

El N es uno de los nutrientes que más limita la producción de biomasa vegetal. En el suelo el contenido de N disponible para las plantas, es menor que el 1% y depende del complejo “ciclo del nitrógeno”, integrado por un conjunto de procesos. Uno de estos, denominado “nitrificación”, consiste en la oxidación biológica del amonio a nitrato, efectuada por microorganismos quimioautótrofos que utilizan el NH⁺₄ como fuente de energía (Paul y Clark, 1989) y el CO₂ como sustrato para incorporarlo a su biomasa (Grant, 1994). La importancia de este proceso radica en que el NH⁺₄ y el NO⁻₃ involucrados, constituyen las formas minerales de N disponibles para las plantas y que pueden perderse de los ecosistemas, convirtiéndose por una parte en fuente de contaminación ambiental y por otra disminuyendo la eficiencia en la utilización de los fertilizantes nitrogenados suministrados en los agroecosistemas. La magnitud del proceso de nitrificación depende directamente de numerosos factores edáficos, tales como: concentración de N-NH⁺₄ y de CO₂, pH, aireación, humedad, temperatura, contenido de materia orgánica y nutrientes (Hattori, 1973; Paul y Clark, 1989; Machado, 2005). Otros factores actúan indirectamente, como la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la textura del suelo. Actualmente en los Andes venezolanos los agricultores, además de emplear importantes cantidades de fertilizantes minerales amoniacales, combinan estos con grandes cantidades de enmiendas orgánicas como el gallinazo y la cáscara de arroz, lo cual se ha convertido en una práctica necesaria para aumentar y sostener los rendimientos de cosecha. Machado (2005) encontró que en incubaciones de suelo con gallinazo, realizadas en condiciones de laboratorio, durante la etapa inicial se producen importantes cantidades de CO₂, atribuible a la descomposición de los compuestos orgánicos hidrosolubles, aminoácidos y aminoazúcares fácilmente

metabolizables por parte de los microorganismos (Beloso, 1991). En base a estas ideas, se plantean dos hipótesis: 1) que el CO₂ proveniente de la descomposición del gallinazo podría favorecer la nitrificación, al servir como fuente de carbono a los microorganismos nitrificantes y 2) que la nitrificación y la respuesta al gallinazo deberían ser distintas en suelos con características diferentes. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del suministro del gallinazo sobre el proceso de nitrificación en tres suelos agrícolas de los Páramos de Mérida, contrastantes en sus propiedades físico-químicas e historias de manejo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron tres suelos de los Páramos de Mérida, localizados alrededor de los 3000 msnm, en el valle alto del río Chama, estado Mérida, Venezuela, el cual constituye uno de los centros principales del cultivo de papa en la región. Se seleccionaron tres suelos con características contrastantes (Cuadro 1): 1) suelo manejado con una agricultura tradicional que utiliza la práctica de descanso prolongado, al cual llamaremos “suelo de páramo”(SP); 2) suelo de laderas erosionadas por el cultivo de trigo durante más de 100 años y posteriormente abandonado, al cual nos referiremos como “suelo degradado” (SD); 3) suelo que viene siendo manejado, desde hace 20 años ó más, con una agricultura intensiva o de altos insumos, que denominaremos “suelo agrícola” (SA).

Cuadro 1. Principales características físico-químicas de los suelos agrícolas (0-15 cm de profundidad) estudiados en este trabajo. SP: Suelo de páramo con descanso largo (Gavidia), SD: Suelo degradado (Angostura-Misintá), SA: Suelo agrícola con manejo intensivo (Misteque). A: arcillas, l: limo, a: arena, C/N: relación carbono nitrógeno, N total: nitrógeno total, C.O: carbono orgánico, CC: capacidad de campo, PMP: punto de marchitamiento permanente, Bases Intercambiables: Ca, Mg, Na y K; Σ Bases: sumatoria de bases, % SB: porcentaje de saturación de bases, CIC: capacidad de intercambio catiónico. Los valores entre paréntesis corresponden al error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre las medias de los suelos ($n = 3$; $P < 0,05$; Prueba de Tukey o Prueba de Dunnett), NS: no significativo. Tomado de Felicien (2008).

SUELO	pH	Textura (%)			C/N	N total (%)	C. O. (%)	CC 1/3 ATM (%)	PMP 15 ATM (%)
		A	l	a					
SP	4,97 c (0,04)	8,00 b (2,45)	32,00 _{NS} (2,45)	60,00 a (1,07)	14,93 ^{NS} (1,48)	0,51 a (0,03)	7,82 a (1,16)	32,33 a (1,21)	19,99 a (0,53)
SD	5,80 b (0,06)	16,67 a (0,82)	28,67 _{NS} (0,82)	54,67 b (0,76)	13,94 ^{NS} (0,69)	0,09 c (0,01)	1,48 c (0,11)	17,55 c (0,41)	8,39 c (0,15)
SA	7,37 a (0,06)	17,33 a (0,00)	26,67 _{NS} (0,82)	56,00ab (2,14)	12,96 ^{NS} (0,69)	0,28 b (0,04)	3,63 b (0,45)	24,15 b (1,63)	14,26 b (2,12)
SUELO	Bases Intercambiables (meq/100g)				Σ Bases (meq/100g)	SB (%)	CIC (meq/100g)		
	Ca	Mg	Na	K					
SP	2,80 b (1,18)	0,43 b (0,24)	0,04 b (0,01)	0,37 b (0,09)	3,64 b (1,51)	16,85 c (8,15)	21,58 a (1,29)		
SD	3,20 b (0,50)	1,21 b (0,07)	0,03 a (0,04)	0,29 b (0,05)	4,73 b (0,51)	54,12 b (3,56)	8,75 b (0,76)		
SA	12,53 a (1,33)	2,52 a (0,24)	0,13 a (0,02)	2,10 a (0,38)	17,28 a (1,87)	94,76 a (6,97)	18,24 a (2,14)		

Cada suelo fue incubado durante 24 días, en condiciones controladas de laboratorio: oscuridad, temperatura de $28\pm 1^{\circ}\text{C}$ y contenido de humedad correspondiente al 80 % de la capacidad de campo para cada suelo. El diseño experimental consistió en un arreglo factorial de 2 factores: 1) suministro de gallinazo, con 2 tratamientos: con gallinazo (+G) y sin gallinazo (-G) y 2) tipo de suelo, con 3 tipos: SP, SD y SA. Siendo % de nitrificación y la cantidad (mg Kg^{-1}) de C-CO₂ liberado, las variables dependientes evaluadas. Cada muestra (réplica) de suelo consistió de una cantidad de suelo fresco equivalente a 50 g de suelo seco y se colocó en un frasco de un litro con tapa hermética. Todos los tratamientos recibieron 10 mg de N-NH₄⁺ para 50 g de suelo seco (Kandeler, 1996). Una vez por semana se abrieron los frascos para mantener las condiciones aeróbicas y controlar la humedad del suelo (Paul y Clark, 1989; Alef, 1995; Öhlinger, 1996). En cada suelo se midieron los contenidos de N en forma amonio (N-NH₄⁺) y de nitrito + nitrato (N-NO₃⁻) y las cantidades de CO₂ liberadas en distintos tiempos de incubación: 3, 7, 10, 14, 18, 21 y 24 días. La determinación del contenido de N-NH₄⁺ y de NO₃⁻ en suelo se realizó, por extracción con K₂SO₄ 0,5 M y destilación (Rojas y Castillo, 1989; Acevedo, 1994). El proceso de nitrificación se cuantificó por medio de la ecuación de Kandeler (1996):

$$\% \text{ Nitrif} = 100 * (\text{N-NO}_3^-_{\text{tn}} - \text{N-NO}_3^-_{\text{to}}) / [\text{N-NH}_4^+_{\text{to}} + (\text{Nmin}_{\text{tn}} - \text{Nmin}_{\text{to}})]$$

Donde: % Nitrif es la nitrificación porcentual durante un intervalo de tiempo (tn – to días), es decir el porcentaje de N-NH₄⁺ que se transforma en N-NO₃⁻; N-NO₃⁻_{tn} y N-NO₃⁻_{to} son las cantidades de N en forma de nitratos a los tn días y a los to días (inicio) de la incubación respectivamente; N-NH₄⁺_{to} es la cantidad de N en forma de amonio a los to días, calculado como la cantidad inicial (N_o) de N-NH₄⁺ en el suelo + la cantidad de N-NH₄⁺ añadida con los tratamientos (200 mg N-NH₄⁺ Kg⁻¹); Nmin_{tn} y Nmin_{to} son las cantidades de N mineral (N-NH₄⁺ + N-NO₃⁻) a los tn días y to días de la incubación respectivamente. Las cantidades de N se expresaron en: mg N kg⁻¹ de suelo seco. El % de Nitrif se calculó a cada uno de los tiempos tn: 3, 7, 10, 14, 18, 21 y 24 días de incubación. Para la determinación (no destructiva) de CO₂, se incubaron 8 réplicas para cada tipo de suelo y tratamiento + 8 blancos (frascos sin suelo). En cada uno de estos frascos se colocó una trampa, con 25 ml de solución de NaOH para la captura del CO₂, que fue reemplazada en cada muestreo. El CO₂ liberado se determinó por titulación con H₂SO₄ (Alef, 1995; Öhlinger, 1996). La cantidad de CO₂ liberado del suelo de cada frasco en los distintos periodos de tiempo transcurridos entre muestreos, fue calculada por diferencia respecto al promedio de los blancos. La respiración edáfica acumulada hasta cada uno de los días evaluados durante la incubación se calculó para cada frasco (réplica) como la suma de las cantidades de C-CO₂ liberadas durante los periodos transcurridos hasta el día correspondiente. Para analizar el efecto de las trampas sobre la nitrificación, efecto de la concentración de CO₂ (Kinsbursky y Saltzman, 1990; Azam et al., 2005), se determinó el contenido de N-NH₄⁺ y de N-NO₃⁻ después de retirar las trampas de NaOH en el último muestreo, efectuado a los 24 días de la incubación, en 4 de los frascos (+T), de cada uno de los suelos y tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1 se puede observar que la dinámica de la nitrificación resultó diferente para los distintos tipos de suelos resultando que en todos los tiempos el suelo agrícola presentó % de nitrificación mayores, seguido por el suelo degradado y resultando el suelo de páramo con % de nitrificación menores. Comparando estos % de nitrificación con las características físico químicas de los suelos (Cuadro 1) los resultados sugieren que entre las propiedades

que más influyeron sobre el proceso de nitrificación están el pH y el contenido de nutrientes distintos al N. También se observa (Fig. 1) que el suministro de gallinazo estimuló la nitrificación en los suelos estudiados especialmente en el suelo degradado donde las diferencias entre los tratamientos con o sin gallinazo resultaron más acentuadas.

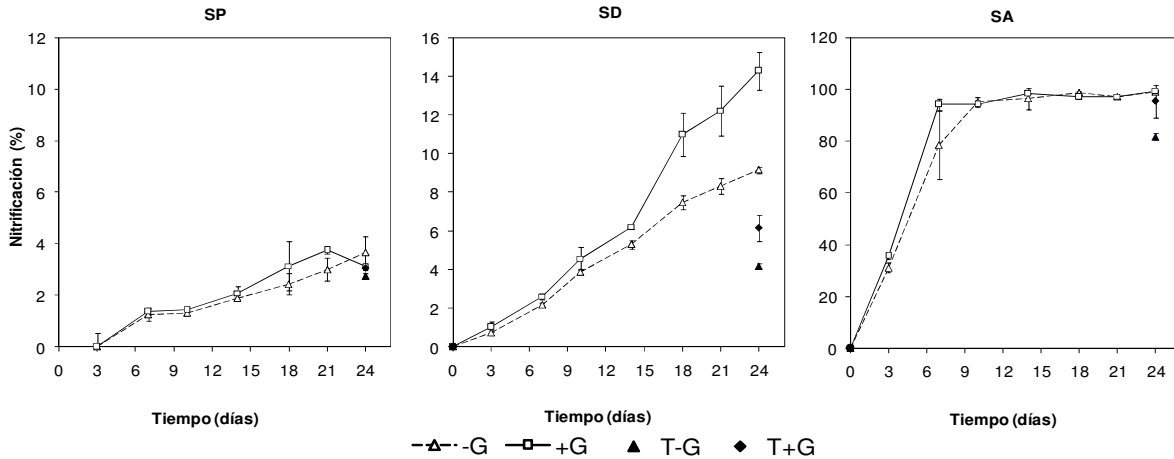


Figura 1. Curso con el tiempo (días) de incubación del porcentaje de N nitrificado (Nitrificación %) sin gallinazo (-G) y con gallinazo (+G) de los suelos estudiados en este trabajo. SP: Suelo de páramo con descanso largo, SD: Suelo degradado, SA: Suelo agrícola con manejo intensivo. T-G y T+G son los valores determinados en suelos sin gallinazo (-G) y con gallinazo (+G) ambos con trampas de NaOH. Las barras representan los valores de la desviación normal ($n = 4$).

En la figura 2 se puede observar que la dinámica de la respiración resultó diferente para los distintos tipos de suelo y también que el suministro de gallinazo causó aumento en la respiración en todos los suelos estudiados.

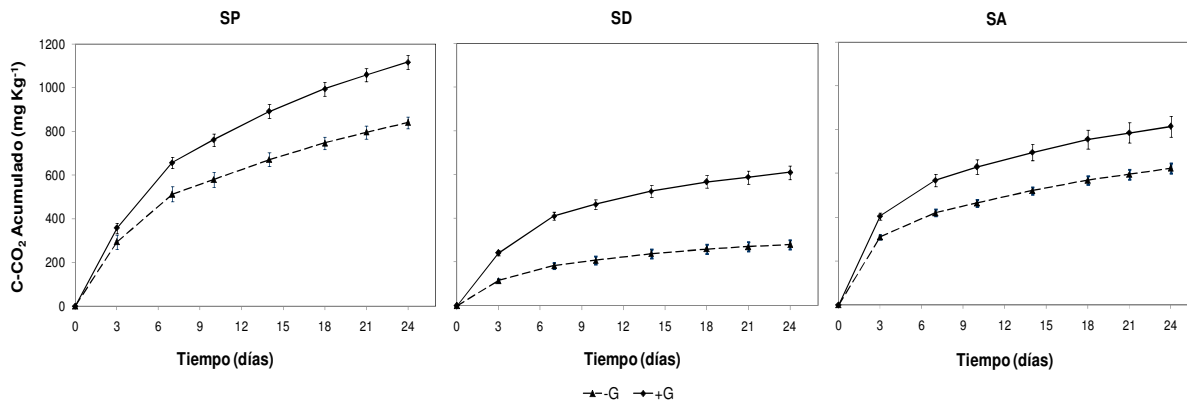


Figura 2. Curso de la cantidad acumulada de C-CO₂ (mg Kg⁻¹) liberada de los suelos, SP: Suelo de páramo, SD: Suelo degradado, SA: Suelo agrícola, sin gallinazo (-G) y con gallinazo (+G) durante la incubación. Las barras representan los valores de la desviación normal ($n = 8$).

En el cuadro 2 se puede observar que la presencia de las trampas de NaOH que capturan el CO₂ liberado, causó una disminución del % de nitrificación al final de la incubación en todos los suelos sin gallinazo y en menor proporción en los suelos con gallinazo. También se puede observar, en todos los suelos con trampas de NaOH, que el suministro de

gallinazo produjo, al final de la incubación un aumento en el % de nitrificación respecto a los suelos sin gallinazo. Este aumento en la nitrificación fue de 46,7% en el suelo degradado, 16,9% en el suelo agrícola y 11,31% en el suelo de páramo, como consecuencia del suministro de gallinazo a pesar de la presencia de las trampas alcalinas. Estos resultados indican que la concentración de CO₂ en la atmósfera del suelo es un factor determinante para el proceso de nitrificación, encontrándose como tendencia general que ocurre mayor nitrificación a mayor concentración de CO₂.

Cuadro 2. Valores promedio de la nitrificación (%) con y sin suministro de gallinazo (+G y -G), con y sin trampa de NaOH (+T y -T) a los 24 días de incubación y resultados de los análisis de varianza de dos factores (gallinazo y trampa de NaOH) para los % nitrificación en los distintos suelos por separado. SP: Suelo de Páramo. SD: Suelo Degradado. SA: Suelo Agrícola. Los valores entre paréntesis corresponden a la desviación normal. Letras distintas indican diferencias significativas entre las medias de los tratamientos con y sin gallinazo, con y sin trampa en cada tipo de suelo ($n = 4$, Tukey B, $P < 0,01$).

Tipo de Suelo	% Nitrificación				Nivel de Significancia de ANOVA por factor		
	- G		+G		Gallinazo	Trampa	Interacción
	-T	+T	-T	+T			
SP	3,65 a (0,63)	2,74 b (0,10)	3,14 ab (0,10)	3,05 ab (0,07)	NS	**	*
SD	9,17 b (0,15)	4,20 d (0,14)	14,31 a (0,99)	6,16 c (0,67)	***	***	***
SA	99,06 a (0,12)	81,70 b (1,23)	99,41 a (0,26)	95,48 a (6,32)	***	***	**

*Nivel de Significancia P igual a *** $P < 0,001$; ** $P < 0,01$; * $P < 0,05$; NS $P > 0,05$*

En la figura 3 se puede observar que el incremento causado por el gallinazo sobre la nitrificación, se relaciona con el aumento en la respiración edáfica debido al suministro de gallinazo, a través de una función exponencial del tipo $y = ae^{bx}$ que presenta alto coeficiente de regresión ($R^2 > 0,79$).

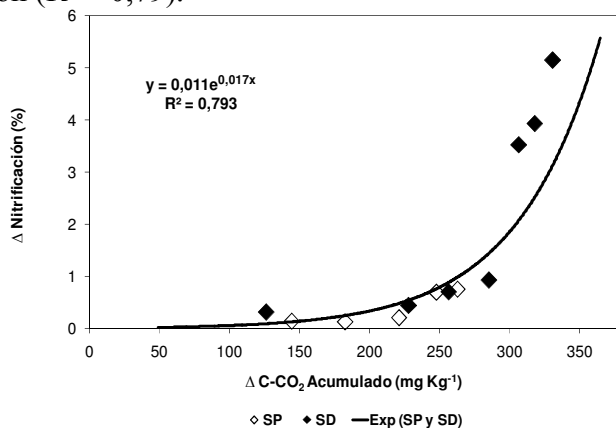


Figura 3. Regresión exponencial de Δ% Nitrificación en relación al Δ mg C-CO₂ en todos los tiempos de incubación con su respectivo valor de R², para los suelos de páramo (SP) y degradado (SD).

CONCLUSIONES

El suministro de gallinazo: 1) estimula la nitrificación porque promueve la liberación de CO₂ por parte de la microbiota heterótrofa del suelo y 2) modifica la dinámica de respiración y nitrificación de manera distinta en los tres suelos estudiados de los Páramos de Mérida.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, D., 1994. Metodologías para la determinación del nitrógeno en materiales ecológicos. Postgrado en Ecología Tropical, Centro de Investigaciones Ecológicas de los Andes Tropicales, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela, 26p.
- Azam, F., Gill, S., Farooq, S. 2005. Availability of CO₂ as a factor affecting the rate of nitrification in soil. *Soil Biology & Biochemistry* 37: 2141–2144.
- Alef, K., 1995. Soil respiration. In: K. Alef and P. Nannipieri (Eds.). *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press, London, pp. 214-220.
- Beloso, M. C., 1991. Estudio de la gallinaza como fertilizante agrícola. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela, 313p.
- Felicien, A., 2008. Optimización de la fertilización nitrogenada en un agroecosistema Andino: Un enfoque experimental y de modelización. Avance de Tesis de Postgrado. Universidad de Los Andes, Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas, Postgrado de Ecología Tropical, Mérida, Venezuela, 80p.
- Grant, R.F., 1994. Simulation of ecological controls on nitrification. *Soil Biology & Biochemistry* 26(3): 305–315.
- Hattori, T., 1973. *Microbial life in the soil. An introduction*. Marecl Dekker. New York. 437p.
- Kandeler, E., 1996. Nitrification during long-term incubation. In: F. Schinner, R. Öhlinger, E. Kandeler, R. Margesin (Eds.). *Methods in Soil Biology*. Springer. Germany, pp. 149-151.
- Kinsbursky, R.S., Saltzman, S., 1990. CO₂-nitrification relationships in closed soil incubation vessels. *Soil Biology & Biochemistry* 22: 571-572.
- Machado, D., 2005. Un Enfoque Agroecosistémico para el Manejo Eficiente de Nitrógeno en el Cultivo de Papa en los Andes Venezolanos. Tesis Doctoral. Universidad de Los Andes, Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas, Postgrado de Ecología Tropical. Mérida, Venezuela, 233p.
- Paul, E.A. and Clark, F.E. 1989. *Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press, Inc. USA, 273p.
- Rojas, L.A., Castillo, L.E., 1989. Determinación de amonio, nitratos y nitritos. En: Instituto Colombiano Agropecuario, ICA (Ed.). *El Análisis de Suelos, Plantas y Aguas para Riego. Manual de Asistencia Técnica N° 47*. Bogotá, pp. 27-40.
- Öhlinger, R., 1996. Soil respiration by titration. In: F. Schinner, R. Öhlinger, E. Kandeler, R. Margesin (Eds.). *Methods in Soil Biology*. Springer. Germany, pp. 95-98.