




Recursos biofísicos

Artículo de investigación científica y tecnológica

Cuantificación de bacterias nitrificantes en un suelo *Typic melanudands* en tres condiciones de uso de suelo en Pasto, Nariño, Colombia

 Lubi Yomaira Culchac Cuaran¹,  Jhon Sebastián Estrada Marcillo¹,
 Héctor Ramiro Ordóñez Jurado^{1*}

¹Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia.

*Autor de correspondencia: Universidad de Nariño. Ciudad Universitaria Torobajo, Bloque II, Piso 2. San Juan de Pasto, Colombia. hectoramiro@udenar.edu.co

Editor temático: Martha Marina Bolaños Benavides (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA])

Recibido: 23 de abril de 2019

Aprobado: 20 de noviembre de 2020

Publicado: 26 de junio de 2021

Para citar este artículo: Culchac Cuaran, L. Y., Estrada Marcillo, J. S., & Ordóñez-Jurado, H. R. (2021). Cuantificación de bacterias nitrificantes en un suelo *Typic melanudands* en tres condiciones de uso de suelo en Pasto, Nariño, Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(2), e1424. https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num2_art:1424



Resumen

El presente estudio se realizó en el municipio de Pasto (Nariño, Colombia), con el fin de estimar la cantidad de bacterias oxidadoras de amonio (BOA) y bacterias oxidadoras de nitrito (BON), en tres usos del suelo (bosque secundario, pastura tradicional y sistema silvopastoril) a dos profundidades (0-10 y 10-20 cm). Para ello, se utilizó un diseño experimental completamente al azar (DCA), con seis tratamientos y tres repeticiones, para un total de 18 unidades experimentales; para su estimación, se utilizó la técnica del número más probable (NMP). El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas altamente significativas para usos y profundidades del suelo en BOA. La pastura tradicional presentó la mayor densidad de BOA a una profundidad de 0-10 cm: $8,8 \times 10^4$ UFC/g, y el bosque presentó menor densidad: $1,3 \times 10^3$ UFC/g. En BON, la mayor densidad poblacional se encontró en pastura: $9,4 \times 10^3$ UFC/g, y el bosque presentó menor densidad: $3,8 \times 10^3$ UFC/g. La mayor densidad de bacterias se presentó de 0 a 10 cm en BOA: $3,7 \times 10^3$ UFC/g, mientras que para BON fue de $7,3 \times 10^3$ UFC/g, debido posiblemente a que en los primeros 5 cm del suelo se encuentra la capa biológicamente más activa. Las mayores densidades de bacterias nitrificantes encontradas en los usos de suelo: pastura tradicional y sistema silvopastoril, pudieron estar relacionadas con las fertilizaciones orgánicas, reincorporación del estiércol y orina de los animales, que son un sustrato ureico promotor de crecimiento de microorganismos.

Palabras clave: agroforestería, bosque secundario, microorganismos del suelo, sistemas agroforestales, sistemas de pastoreo

Quantification nitrifying bacteria in a *Typic melanudands* soil under three land use conditions in Pasto, Nariño, Colombia

Abstract

The study was conducted in Pasto, Nariño, Colombia, to estimate the amount of ammonia-oxidizing bacteria (AOB) and nitrite-oxidizing bacteria (NOB) in three land uses (forest, traditional pasture, and silvopastoral system) at two depths (0-10 y 10-20 cm). We used a completely randomized design (CRD) with six treatments and three repetitions, resulting in 18 experimental units, and, for estimation, the Most Probable Number (MPN) technique. The analysis of variance showed highly significant statistical differences for land uses and depths in AOB. Traditional pasture exhibited the highest AOB density at a depth of 0-10 cm (8.8×10^4 CFU/g), while the forest showed the lowest density (1.3×10^3 CFU/g). In NOB, the highest population density was found in the pasture (9.4×10^3 CFU/g), while the forest showed the lowest density (3.8×10^3 CFU/g). The highest density of bacteria was found at a depth of 0-10 cm: 3.7×10^4 CFU/g for AOB and 7.3×10^3 CFU/g for NOB, probably because the most biologically active layer of soil is in the first 5 cm of soil. The highest densities of nitrifying bacteria found in traditional pasture and the silvopastoral system could be related to organic fertilization, i.e., the reincorporation of animal manure and urine, ureic substrates that promote microorganism growth.

Keywords: agroforestry, agroforestry systems, grazing systems, secondary forests, soil microorganisms

Introducción

La actividad ganadera en las zonas altoandinas del departamento de Nariño, Colombia, se caracteriza por que la base de sus praderas está constituida por pasto kikuyo *Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov. (Poaceae), principalmente, en las zonas de mayor altitud, donde los cultivos agrícolas están restringidos o son imposibles de establecer (León-Guevara et al., 2014). Las prácticas de manejo de la actividad ganadera, como el sobrepastoreo y deficiencias en la fertilización, conlleva una alta degradación de las praderas; de esta forma, el establecimiento de los sistemas ganaderos afecta la biodiversidad, modifica el balance de los nutrientes, aumenta la compactación en un tiempo relativamente corto (menor de 2 o 3 años), reduce el volumen de los espacios porosos, contribuye a la disminución de la biota, disminuye la velocidad del flujo del agua y propicia la erosión (Steinfeld et al., 2009).

Feng et al. (2003) informaron que las prácticas de manejo agrícolas tienen un efecto sobre la calidad del suelo y la productividad. Es poco conocido el efecto que estas tienen sobre las comunidades microbianas edáficas y el impacto sobre el funcionamiento del suelo. Para evaluar su impacto sobre los microorganismos edáficos, se pueden emplear dos aproximaciones: 1) monitoreando la diversidad estructural y funcional en la comunidad microbiana total edáfica y 2) evaluando los grupos funcionales específicos, que se encuentran conectados con procesos involucrados en el ciclaje de nutrientes, tales como las bacterias fijadoras de nitrógeno, bacterias oxidadoras de amonio (BOA), bacterias oxidadoras de nitritos (BON) y bacterias desnitrificantes (BD) (Coleman & Whitman, 2005). Dichos estudios, suministran información acerca de la relación existente entre la diversidad microbiana, las funciones ecosistémicas y las interacciones ecológicas entre grupos funcionales, lo que es prioridad en estudios de ecología microbiana (Colloff et al., 2008; Malchair et al., 2010).

Por otra parte, estudios previos llevados a cabo por De la Paz-Jiménez et al. (2002) han demostrado que los microorganismos presentan una elevada sensibilidad a disturbios antropogénicos, respondiendo en escalas de tiempo mucho más cortas en comparación con los físicos o químicos. Entre los parámetros microbianos utilizados, vale la pena mencionar los grupos funcionales de bacterias nitrificantes; es así como la presencia, ausencia o densidad y actividad de estos organismos los convierte en un buen indicador para determinar la calidad de suelos.

Por las anteriores consideraciones, la investigación tuvo como objetivo, la cuantificación de bacterias nitrificantes como indicadores de calidad de suelo debido a su gran sensibilidad frente a cambios ambientales y actividades antropogénicos, los cuales fueron evaluados en bosque secundario (BS), pastura tradicional (PT) y sistema silvopastoril (SP), mediante métodos de aislamiento, presencia y cuantificación, para poder determinar en cuál de los usos existió mayor presencia de bacterias nitrificantes tanto BOA como BON.

Materiales y métodos

Localización

La investigación se realizó en la finca El Rincón, en el corregimiento de Catambuco, municipio de Pasto, a una altura de 2.820 m s.n.m., con una temperatura promedio de 12 °C y precipitación media anual de 806 mm (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam], 2016); geográficamente, se encuentra localizada a 01°08'12"N y 77°18'57"W. Cuenta con un relieve montañoso y volcánico representado por altas pendientes y vertientes bien formadas. Los suelos se clasifican como *Typic melanudands*, desarrollados a partir de cenizas volcánicas, muy profundos, bien drenados, con textura franca a franco-arenosa, cuyo pH varía entre 4 y 5,7; además, presentan altos contenido de carbono orgánico, alta capacidad de intercambio catiónico, bajo contenido de fósforo y de fertilidad moderada (Corporación Autónoma Regional de Nariño [Corponariño], 2011; Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2004).

Usos del suelo

Los suelos en la región altoandina del departamento de Nariño presentan diferentes usos; en la presente investigación se priorizaron tres usos de la zona ganadera, los cuales se describen a continuación.

Bosque secundario (BS)

Con edad aproximada de 27 años, el BS se caracteriza por la presencia de especies nativas como la chilca, *Baccharis odorata* Kunth (Asteraceae); amarillo, *Miconia polyneura* Triana (Melastomataceae); encino liso, *Weinmannia rollottii* Killip (Cunoniaceae); pucasacha, *Tibouchina mollis* (Bonpl.) Cogn. (Melastomataceae); laurel de cera, *Morella pubescens* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Wilbur (Myricaceae), en diferentes estados sucesionales, y especies introducidas como pino, *Pinus patula* Schltld. & Cham. (Pinaceae); *Acacia decurrens* Willd.; *Acacia melanoxylon* R.Br. (Fabaceae) y aliso, *Alnus acuminata* Kunth (Betulaceae). No se realizó ninguna práctica de extracción y manejo, puesto que este está destinado en su totalidad para la restauración y conservación.

Pastura tradicional (PT)

La PT está compuesta por pastos naturales como el kikuyo, *Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov. (Poaceae), y mejorados como el llantén forrajero, *Plantago major* L. (Plantaginaceae), trébol rojo, *Trifolium pratense* L., y pasto brasileiro, *Phalaris tuberosa* L. (Fabaceae); el área está delimitada con una cerca viva de *A. acuminata*. El área total de la pastura es de 12 ha, divididas en lotes de 2.000 m², en donde se realizan prácticas agroecológicas como aplicación de biopreparados, melaza y estiércol del ganado. Presenta un historial de manejo de siete años, en donde el ganado ingresa a la pradera cada 40 días.

Sistema silvopastoril (SP)

El SP ocupa un área de 3,30 ha, con una edad aproximada de 12 años; tiene un arreglo silvopastoril con plantación de *A. acuminata*, sembrada a 3 × 3 m y pastos naturales como *P. clandestinum* y forrajeras como

el *P. major*, *T. pratense*, el diente de león, *Taraxacum officinale* F.H. Wigg. (Asteraceae), y *Lotus* sp. (Fabaceae). Cada 40 días se rotan las praderas y se realizan prácticas agroecológicas de manejo como la aplicación de abono orgánico, melaza y estiércol de ganado.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar (DCA) en arreglo factorial 3×2 con seis repeticiones, donde el factor A correspondió a usos del suelo: BS, PT y SP, y el factor B, profundidad de muestreo (0-10 cm y 10-20 cm).

Fase de campo

El muestreo para los análisis microbiológicos consistió en seleccionar tres puntos al azar en cada uso del suelo, en los cuales se extrajo, con ayuda de una pala, un monolito de suelo de 20 cm de largo \times 20 cm de ancho y 20 cm de profundidad, separado en dos secciones (0-10 cm y 10-20 cm). De cada sección, se extrajo la porción del tercio medio (100 g de suelo). Las muestras se colocaron en bolsas plásticas autosellables, y transportadas en neveras de poliestireno al Laboratorio de Biología de la Universidad de Nariño; además, se conservaron a una temperatura de 4-6 °C por 24 horas, donde se realizaron diluciones seriales e inoculación en medios selectivos de cultivo (Gómez, 2008).

Para el análisis físico-químico del suelo, por cada uso del suelo se ubicaron 15 sitios al azar en forma de zigzag y, con ayuda de un barreno cilíndrico, se extrajeron las submuestras, de las cuales se seleccionó la porción de suelo del tercio medio, submuestras que se homogenizaron; luego se tomó una muestra representativa de 1 kg que se colocó en una bolsa plástica autosellable, para cuyo análisis se llevaron al Laboratorio de Suelos de la Universidad de Nariño.

Aislamiento de bacterias nitrificantes

Para el aislamiento, se utilizaron 100 g de suelo por cada tratamiento. En el aislamiento de las bacterias nitrificantes, se utilizaron dos medios de cultivo: caldo amonio y caldo nitrito, y se siguió la metodología del número más probable (NMP) de Schmidt y Belser (1994). Esta técnica se basa en la determinación de presencia o ausencia (positiva o negativa) en réplicas de diluciones consecutivas, de atributos particulares de microorganismos presentes en muestras de suelo u otros ambientes, modificado por Moreno et al. (2007), para lo cual se realizaron diluciones hasta que el microorganismo de interés no fue detectado. Se utilizaron tres tubos como repeticiones para cada dilución y se sembraron en medio de cultivo líquido. Las bacterias se incubaron por 15 días en el Laboratorio de Biología de la Universidad de Nariño, periodo en el que se presentó un mayor crecimiento; posteriormente, se determinaron y cuantificaron.

Cuantificación de bacterias nitrificantes

Para detectar la presencia de NO_2^- originado por la acción oxidativa de BOA a partir de NH_4^+ , se realizó la prueba con el reactivo Griess-Ilosvay, que utiliza reactivo diazotizante y reactivo acoplante, indicador que se torna de color fucsia para tubos positivos. Para observar la presencia de NO_3^- , producto de la actividad oxidativa de BON a partir de NO_2^- , se realizó la prueba de colorante nitrato o prueba de la

difenilamina, adicionando reactivo colorante nitrato, cuyo indicador es el color azul oscuro en forma de precipitado para tubos positivos (Gallego, 2012).

El método de evaluación considera que coloraciones extremadamente tenues en ambas pruebas pueden parecer como negativas, debido a la presencia de nitrito en cantidades trazas insuficientes para desarrollar el complejo Azo de coloración fuerte y estable. De igual modo, en algunos casos, la ausencia o debilidad del color se debe a que las BOA realizaron su trabajo oxidativo del amoníaco hasta NO_2^- , pero en algunas ocasiones las BON pueden sobrevivir en el mismo medio de cultivo, tomando este ión y oxidándolo hasta NO_3^- , limitando la presencia de trazas que puedan reaccionar con el complejo Azo (Gallego, 2012).

Las respectivas lecturas y cuantificación de poblaciones fueron expresadas en UFC g/suelo húmedo y por medio de correcciones de humedad; finalmente, se obtuvieron los datos expresados en unidades UFC g/suelo seco (Gallego, 2012), con base en la tabla guía para cuantificar poblaciones de bacterias nitrificantes.

Análisis estadístico

La información obtenida fue sometida a análisis de varianza (ANOVA) mediante el programa estadístico Infostat, específicamente en aquellos casos donde se detectaron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$) También se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey.

Resultados y discusión

Presencia y cuantificación de BOA y BON

Se realizaron pruebas bioquímicas para el aislamiento e incubación de bacterias en medios diferenciales; según la coloración resultante, fue posible determinar la presencia de BOA y BON, en donde el color violeta o morado indica la presencia de BOA y el azul, la presencia de BON. El Andeva (tabla 1) mostró diferencias altamente significativas ($p < 0,005$) para los tres usos del suelo (BS, PT y SP), para las dos profundidades del suelo (0-10 cm y 10-20 cm) y la interacción entre usos a diferentes profundidades.

Tabla 1. Análisis de varianza para cuantificación de BOA, Pasto, Nariño, 2019

F.V.	SC	GL	CM	F	P
Modelo	13924764696,87	6	2320794116,14	4539,16	< 0,0001
Uso	13584222757	2	6792111378,40	13284,45	0,0001**
Prof	289760361,9	1	289760361,90	566,73	0,0001**
Uso * Prof	50781378,84	2	25390689,42	49,66	0,0005**
Error	2556413,33	5	511282,67		
Total	13927321110	11			

Nota: ** Diferencias estadísticas altamente significativas, $p < 0,01$.

Fuente: Elaboración propia

En el caso de BON, se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas para los diferentes usos y profundidades del suelo ($p = 0,0001$); para las interacciones no se encontró diferencias estadísticas (tabla 2).

Tabla 2. Análisis de varianza para cuantificación de BON, Pasto, Nariño, 2019

F	S	GL	C	F	P
Modelo	70523359,8	6	11753893,31	603,77	< 0,0001
Uso	61752027,2	2	30876013,61	1586,0	0,0001**
Prof	8713830,2	1	8713830,26	447,61	0,0001**
Uso * PROF	57500,70	2	28750,35	1,48	0,3133
Error	97337,93	5	19467,59		
Total	70620697,7	11			

Nota: * Diferencias significativas, $p < 0,05$; ** Diferencias altamente significativas, $p < 0,01$; ns: no significativas.

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los usos del suelo, se encontró que la mayor presencia y densidad de BOA y BON se dio en PT y SP, siendo BS el de menor abundancia (tabla 3), debido posiblemente a la fertilización y la acción beneficiosa del abono orgánico de las PT y el SP con abono orgánico elaborado con estiércol de ganado y melaza, que bajo condiciones adecuadas de manejo, y a través de su dinámica de mineralización en el suelo, se convierten en una vía importante en el reciclaje de nutrientes (Gaviria et al., 2015; Murgueitio & Calle, 1998). Asimismo, hubo una relación con los resultados obtenidos por Enwall et al. (2007), quienes demostraron que los diferentes tipos de fertilización tienen efectos claros sobre la actividad y composición de las bacterias nitrificantes y comunidad más activa y diversa.

Tabla 3. Comparación de medias de Tukey para los usos del suelo de BOA y BON (UFC/g), Pasto, Nariño, 2019

	BOA	BON	
Uso	Media	Media	Significancia
PT	$8,0 \times 10^4$	$9,4 \times 10^3$	A
SP	$1,3 \times 10^4$	$6,1 \times 10^3$	B
BS	$4,7 \times 10^3$	$3,8 \times 10^3$	C

Nota: Medias letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

La prueba de comparación de medias de Tukey, para las dos profundidades (tabla 4), indicó que la profundidad que presentó mayor abundancia de bacterias nitrificantes BOA fue la de 0-10 cm, con $3,8 \times 10^4$ UFC/g, y la de la menor abundancia fue la profundidad de 10-20 cm, con $2,8 \times 10^4$ UFC/g.

Tabla 4. Comparación de medias de Tukey para la profundidad del suelo de BOA y BON (UFC/g), Pasto, Nariño, 2019

	BOA	BON	
Profundidad (cm)	Media	Media	Significancia
0-10	$3,8 \times 10^4$	$7,3 \times 10^3$	A
10-20	$2,8 \times 10^4$	$5,6 \times 10^3$	B

Nota: Valores con la misma letra no son diferentes (prueba de Tukey $p > 0,05$)

Fuente: Elaboración propia

Al comparar la densidad poblacional de bacterias nitrificantes (BOA y BON) en las dos profundidades de usos de suelo evaluadas, se pudo determinar que en la profundidad de 0-10 cm se presentó mayor cantidad de bacterias nitrificantes en los diferentes usos de suelo, resultados similares a los encontrados en estudios realizados por McNeill y Unkovich (2007), quienes afirmaron que en los primeros 5 cm de profundidad del suelo, gracias a la difusión del oxígeno, se realiza de forma más eficiente el proceso de mineralización, ya que esta superficie es la capa biológicamente más activa del suelo.

Los suelos donde se realizó la investigación provienen de cenizas volcánicas, y por las condiciones climáticas locales los valores de material orgánico son superiores en el horizonte superficial que en los subsuperficiales. Por esta razón, se generan condiciones ideales para la producción agrícola, ya que presentan gran contenido de materia orgánica, lo que garantiza una buena estructura y niveles importantes; también la estructura de sus gránulos beneficia el proceso de aireación, favoreciendo el crecimiento y desarrollo de los microorganismos (López, 2001).

La densidad poblacional de BOA es mayor en la profundidad de 0-10 cm, debido a que en esta capa de suelo se realizan los procesos de nitrificación por la presencia de oxígeno; además, por la pendiente del terreno, no se presentan encharcamientos de agua. Asimismo, no se aplican agroquímicos y es común la rotación de potreros. Lata et al. (2004) indicaron que la supervivencia de las bacterias nitrificantes en ambientes donde hay concentraciones bajas de oxígeno dependerá de su capacidad para competir con las raíces de las plantas y con organismos heterótrofos y la adición de plaguicidas, y prácticas de manejo intensivos, generando alteraciones a nivel de las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo.

Las mayores densidades poblacionales, para el caso de BON, se presentaron en PT y SP. Estos usos de suelo se caracterizan por tener una alta intervención antropogénica, principalmente la actividad ganadera, donde es común la aplicación de fertilizantes orgánicos; según Murgueitio (2003), en los pastizales se emplean monocultivos para una producción masiva de alimento para ganado, y la aplicación de fertilizantes químicos (NPK) y orgánicos como la pollinaza en combinación con la labranza, incentivando la actividad microbiana.

Sin embargo, en los agroecosistemas como los pastizales, donde la presión por la productividad de los cultivos demanda un uso intensivo de fertilizantes, las tasas de nitrificación se han incrementado, lo que conlleva a que se presente una serie de consecuencias como la lixiviación del nitrógeno, contaminación de las aguas y la atmósfera (Liu et al., 2013; Subbarao et al., 2012).

De acuerdo con los resultados obtenidos, el uso de suelo SP obtuvo una presencia y cantidad alta, tanto de BOA como BON, seguramente porque este tipo de suelo, a diferencia de los sistemas de producción convencional, se caracteriza por ser altamente diversificado y autosuficiente. Además, contribuye a generar impactos positivos sobre la calidad del suelo que, asociado con la alta cobertura arbórea y baja realización de prácticas agropecuarias convencionales de producción como la labranza y la quema, contribuyen a favorecer procesos naturales e interacciones biológicas. A su vez, con ello se benefician procesos ecosistémicos fundamentales, tales como el ciclaje de nutrientes, el control biológico, el secuestro de C, el mantenimiento de la estructura edáfica, la fertilidad y, consecuentemente, su productividad (Gómez, 2008)

Por otra parte, al comparar las poblaciones de BOA y BON en los usos de suelo evaluados, se determinó que el uso de suelo en bosque presentó las poblaciones más bajas; los bajos recuentos de bacterias nitrificantes encontrados en esta cobertura posiblemente pueden deberse a que estos sitios se caracterizan por presentar mayor cantidad de materia orgánica, lo cual puede inhibir de forma indirecta las bacterias nitrificantes (Bruns et al., 1999). Este tipo de bacterias se inhibe por ser quimioautótrofas, que tienen una alta especificidad por la fuente de carbono y energía inorgánica disponible.

Lo encontrado concuerda con la investigación de Brouwer et al. (2006) en bosques frondosos de Falmouth, Massachussets (EE. UU.), quien observó menores tasas de nitrificación al compararlo con suelos agrícolas, debido posiblemente a una alta concentración de carbono en la hojarasca y de lignina en el material leñoso, siendo la lignina estructuralmente resistente a la descomposición y permitiendo, a su vez, que en los suelos de bosque no varíe el contenido de carbono.

La menor población de bacterias nitrificantes en bosques, como lo reportado en la presente investigación, puede también ser causada por el proceso de alelopatía característico de estas coberturas, en el que se liberan compuestos como taninos que influyen en el desarrollo forestal y evitan la pérdida de nitrato del ecosistema (Blanco, 2006). Las BON reportadas en esta investigación presentaron una baja densidad poblacional en el BS, lo que puede estar relacionado principalmente con la baja cantidad de sustrato proveniente de la oxidación de NH_4^+ en esta cobertura, realizada por BOA.

Los BS, por la alta diversidad de especies leñosas y semileñosas, y la complejidad de las interacciones que se dan al interior del ecosistema, pueden estar inhibiendo la presencia de bacterias nitrificantes, como lo afirman los estudios de Lata et al. (2004), ya que al interior de estos ecosistemas se presenta relación directa entre la liberación de compuestos alelopáticos y la inhibición del crecimiento de bacterias nitrificantes en los bosques.

Los resultados reportados en estudios encontrados en la literatura guardan relación con los obtenidos en las coberturas de PT y SP, suelos en los que se realiza fertilización orgánica con compost de estiércol de ganado y biofertilizantes aplicados por el productor; esta práctica agronómica contribuye a la presencia de las mayores densidades de bacterias nitrificantes.

La evaluación de la interacción del uso del suelo con respecto a la profundidad de muestreo de las bacterias oxidadoras de amonio (BOA) se realizó por medio de la prueba de Tukey (tabla 5); allí, se puede apreciar los diferentes usos del suelo bajo dos profundidades de muestreo que presentan diferencias estadísticas a nivel del uso del suelo y profundidad. La mayor abundancia se reporta en la PT con $8,8 \times 10^4$ UFC/g, a una profundidad de muestreo de 0-10 cm, seguido del mismo uso de suelo, pero a una a profundidad de 10-20 cm, con $7,2 \times 10^4$ UFC/g, mientras el SP presentó una abundancia de $1,7 \times 10^4$ UFC/g a una profundidad 0-10 cm; sin embargo, el BS, a una profundidad 10-20 cm, fue el que presentó menor abundancia de BOA con $1,3 \times 10^3$ UFC/g.

Tabla 5. Comparación de medias de Tukey para uso *profundidad del suelo de BOA (UFC/g), Pasto, Nariño, 2019

Uso	Profundidad	Medias	Significancia
PT	1	$8,8 \times 10^4$	A
PT	2	$7,2 \times 10^4$	B
SP	1	$1,7 \times 10^4$	C
SP	2	$9,7 \times 10^3$	D
BS	1	$8,0 \times 10^3$	D
BS	2	$1,3 \times 10^3$	E

Nota: Valores con misma letra no son diferentes (prueba de Tukey $p > 0,05$)

Fuente: Elaboración propia

Estos resultados concuerdan con estudios realizados por Murgueitio (2003), donde los mayores recuentos de BOA se encontraron en los usos de suelo de pastizal; posiblemente, este comportamiento se puede asociar a las modificaciones que se generan en el ambiente por las actividades agropecuarias. De esta manera, los suelos con uso agronómico muestran altas tasas de nitrificación, lo que se puede atribuir al elevado uso de insumos externos, principalmente fertilizantes nitrogenados, que al ser adicionados en los suelos aceleran la transformación de C durante la oxidación de materia orgánica en dióxido de carbono (CO_2) y contribuyen en el aumento de la mineralización del nitrógeno orgánico en nitrógeno mineral (NH_4^+) por parte de los microorganismos, ofreciendo un ambiente favorable para el crecimiento de bacterias nitrificantes (Bruns et al., 1999).

Los cambios en las comunidades microbianas de grupos funcionales pueden explicarse a través de los efectos generados por los productos metabólicos de la orina y heces del ganado vacuno, que posiblemente favorecen el crecimiento de las bacterias nitrificantes, puesto que la orina emitida por estos animales contiene urea, que es hidrolizada hasta el carbonato de amonio, y las heces contienen grandes cantidades de materia proteínica, que son convertidas hasta NH_4^+ por bacterias saprófitas bajo condiciones aerobias o anaerobias (Murgueitio, 2003). Lo anterior favorece el crecimiento de poblaciones bacterianas, ya que es un insumo necesario para el crecimiento de bacterias nitrificantes BOA, siendo la fuente principal de energía (Pacheco et al., 2002). Es así como la concentración de amonio es uno de los factores que más afecta la comunidad de bacterias nitrificantes (Le Roux et al., 2008).

Conclusiones

La densidad poblacional de BOA y BON en diferentes profundidades del suelo se ve afectada por la cobertura vegetal y su manejo. Los mayores valores de UFC gramo⁻¹ para los dos grupos biológicos estudiados se presentaron en la pastura tradicional y el sistema silvopastoril con *A. acuminata* y *P. clandestinum*. Por otra parte, las bacterias nitrificantes (BOA y BON) se encuentran en mayor proporción a una profundidad de 0-10 cm, dado que en el suelo superficial está la capa biológicamente más activa. En la cobertura de bosque hubo menor densidad de bacterias nitrificantes (BOA y BON); además, se hizo evidente la sensibilidad de las bacterias a la humedad, poca aireación y los altos contenidos de materia orgánica.

Agradecimientos

A la Vicerrectoría de Investigaciones, Postgrados y Relaciones Internacionales (VIPRI) de la Universidad de Nariño, por el apoyo financiero.

Descargos de responsabilidad

Los autores declaran que no hay conflicto de intereses.

Referencias

- Blanco, Y. (2006). La utilización de la aleopatía y sus efectos en diferentes cultivos agrícolas. *Tropical Crops*, 27(3), 5-8.
- Brouwer, B., Neill, C., & Johnston, C. (2006). *Impacts of historical land use on soil nitrogen cycles in Falmouth, MA and the threat of chronic N amendment demonstrated at the Harvard forest LTER, Petersham, MA*. Semester in environmental science. https://www.researchgate.net/profile/Cora_Johnston/publication/255464823_Impacts_of_Historical_Land_Use_on_Soil_Nitrogen_Cycles_in_Falmouth_MA_and_the_Threat_of_Chronic_N_Amendment_Demonstrated_at_the_Harvard_Forest_LTER_Petersham_MA/links/54e7c2e70cf27a6de10afab6.pdf
- Bruns, M. A., Stephen, J. R., Kowalchuk, G. A., Prosser, J. I., & Paul, E. A. (1999). Comparative diversity of ammonia oxidizer 16S rRNA gene sequences in native, tilled, and successional soils. *Applied and Environmental Microbiology*, 65(7), 2994-3000. <http://doi.org/10.1128/AEM.65.7.2994-3000.1999>
- Coleman, D. C., & Whitman, W. B. (2005). Linking species richness, biodiversity and ecosystem function in soil systems. *Pedobiologia*, 49(6), 479-497. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2005.05.006>
- Colloff, M. J., Wakelin, S. A., Gomez, D., & Rogers, S. L. (2008). Detection of nitrogen cycle genes in soils for measuring the effects of changes in land use and management. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(7), 1637-1645. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.01.019>
- Corporación Autónoma Regional de Nariño. [Corponariño]. (2011). *Plan de ordenamiento del recurso hídrico quebrada Miraflores*. <http://corponarino.gov.co/expedientes/descontaminacion/porhreceoysanjuan.pdf>
- De La Paz-Jiménez, M., De La Horra, A. M., Pruzzo, L., & Palma, R. M. (2002). Soil quality: a new index based on microbiological and biochemical parameters. *Biology and Fertility of Soils*, 35(4), 302-306. <https://doi.org/10.1007/s00374-002-0450-z>
- Enwall, K., Nyberg, K., Bertilsson, S., Cederlund, H., Stenström, J., & Hallin, S. (2007). Longterm impact of fertilization on activity and composition of bacterial communities and metabolic guilds in agricultural soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 39(1), 106-115. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.06.015>
- Feng, Y., Motta, A. C., Reeves, D. W., Burmester, D. W., Van Santen, E., & Osborne, J. A. (2003). Soil microbial communities under conventional-till and no-till continuous cotton systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(12), 1693-1703. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2003.08.016>
- Gallego, J. (2012). Efecto de dos abonos verdes sobre la mineralización del Nitrógeno y la dinámica de bacterias oxidantes del amonio y del nitrito en un ciclo de cultivo de maíz *Zea mays* L. [Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia]. Repositorio UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/20087>

- Gaviria, X., Rivera, J. E., & Barahona, R. (2015). Calidad nutricional y fraccionamiento de carbohidratos y proteína en los componentes forrajeros de un sistema silvopastoril intensivo. *Pastos y Forrajes*, 38(2), 194-201. <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v38n2/pyf07215.pdf>
- Gómez, M. (2008). *Efecto de usos de suelo en la ecorregión cafetera sobre la densidad de bacterias nitrificantes y desnitrificantes* [Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Javeriana]. <http://siete.risaralda.gov.co/biodiversidad/phocadownloadpap/Investigaciones-academicas/EFEECTO%20DE%20USOS%20DE%20SUELO%20EN%20LA%20ECORREGION%20CAFETERA%20SOBRE%20LA%20DENSIDAD%20DE%20BACTERIAS%20NITRIFICANTES%20Y%20DESNITRIFICANTES.pdf>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. [Ideam]. (2016). *Datos abiertos del IDEAM. Promedios de precipitación y temperatura media*. <https://www.datos.gov.co/browse?category=Ambiente+y+Desarrollo+Sostenible.pdf>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. [IGAC]. (2004). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras de Nariño*. [Aplicativo en CD]. IGAC.
- Lata, J., Degrange, V., Raynaud, X., Maron, P., Lensis, R., & Abbadie, L. (2004). Grass populations control nitrification in savanna soils. *Functional Ecology*, 18(4), 605-611. <https://doi.org/10.1111/j.0269-8463.2004.00880.x>
- Le Roux, X., Poly, F., Currey, P., Commeaux, C., Hai, B., Nicol, G., Prosser, J., Schloter, M., Attard, E., & Klumpp, K. (2008). Effects of aboveground grazing on coupling among nitrifier activity, abundance and community structure. *The ISME Journal*, 2(2), 221-232. <https://doi.org/10.1038/ismej.2007.109>
- León-Guevara, J. A., Zamora-Zamora, H. D., & León-Guevara, J. A. (2014). Estrategias de mitigación ante el cambio climático en fincas ganaderas altoandinas del departamento de Nariño. *Revista Unimar*, 30(1), 23-38. <http://editorial.umariana.edu.co/revistas/index.php/unimar/article/view/226>
- Liu, C., Wang, K., & Zheng, X. (2013). Effects of nitrification inhibitors (DCD and DMPP) on nitrous oxide emission, crop yield and nitrogen uptake in a wheat-maize cropping system. *Biogeosciences*, 10(4), 2427-2437. <http://doi.org/10.5194/bg-10-2427-2013>
- López, A. (2001). *Suelos del Eje Cafetero*. Catie.
- Malchair, S., De Boeck, H. J., Lemmens, C. M. H. M., Ceulemans, R., Merckx, R., Nijs, I., & Carnol, M. (2010). Diversity-function relationship of ammonia-oxidizing bacteria in soils among functional groups of grassland species under climate warming. *Applied Soil Ecology*, 44(1), 15-23. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.08.006>
- McNeill, A., & Unkovich, M. (2007). The nitrogen cycle in terrestrial ecosystems. En P. Marschner & Z. Rengel (Eds.), *Nutrient cycling in terrestrial ecosystems* (pp. 37-64). Springer.
- Moreno, N. R., Lozano, C. T., Salgado, M. M., & Reyes, M. M. (2007). Estandarización de condiciones para la prueba cuantitativa del NMP con bacterias nitrificantes y denitrificantes usando como matriz compost. *Universitas Scientiarum*, 12(2), 69-81.
- Murgueitio, E. (2003). Impacto ambiental de la ganadería de leche en Colombia y alternativas de solución. *Livestock Research for Rural Development*, 15(10), 1-15. <https://lrrd.cipav.org.co/lrrd15/10/murg1510.htm>

- Murgueitio, E., & Calle, Z. (1998). Diversidad biológica en sistemas de ganadería bovina en Colombia. En *Conferencia electrónica de la FAO sobre Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica* (pp. 27-46).
- Pacheco, J., Pat, R., & Cabrera, A. (2002). Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. *Revista Académica Ingeniería*, 6(3), 73-81. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46760308>
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., & De Haan, C. (2009). *La larga sombra del ganado: Problemas ambientales y opciones* (No. FAO-MED 15). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Schmidt, E., & Belser, L. (1994). Autotrophic nitrifying bacteria. En R. W. Weaver, S. Angle, P. Bottomley, D. Bezdicsek, S. Smith, A. Tabatabai & A. Wollum (Eds.), *Methods of soil analysis: Part 2, Microbiological and biochemical properties* (pp. 159-177). Soil Science Society of America (SSSA). <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.2.c10>
- Subbarao, G. V., Sahrawat, K. L., Nakahara, K., Rao, I. M., Ishitani, M., Hash, C. T., & Lata, J. C. (2012). A paradigm shift towards low-nitrifying production systems: the role of biological nitrification inhibition (BNI). *Annals of Botany*, 112(2), 297-316. <https://doi.org/10.1093/aob/mcs230>