

NITRÓGENO MINERAL Y ACTIVIDAD MICROBIANA EN SUELOS DEL ALTIPLANO CENTRAL BOLIVIANO

Nitrogen and mineral soil microbial activity in the central highlands boliviano

Aylin Caballero Mamani¹, Roberto Miranda Casas², Hugo Bosque Sánchez³, Justina Condori Mamani⁴

RESUMEN

Se evaluó el contenido de nitrógeno mineral y la actividad microbiana con diferente manejo en cuatro épocas del año en suelos de la comunidad de Villa Patarani del Altiplano Central Boliviano. Se identificaron seis parcelas de estudio: parcela con residuos de tarwi; residuos de papa; 3 años en descanso; 6 años en descanso; 7 años en descanso y parcela con cultivo continuo de quinua. En cada una de ellas se obtuvieron muestras de suelo en tres puntos por triplicado, entre 0 y 10 cm de profundidad. La determinación del nitrógeno mineral se realizó por reducción – destilación Kjeldahl y posterior cuantificación del NO₃⁻ + NO₂⁻ y NH₄⁺; la actividad microbiana se determinó a través de la producción de CO₂ durante la respiración microbiana en términos de mg C-CO₂·kg⁻¹ de suelo. Los resultados obtenidos indicaron que el nitrógeno mineral fue más alto en las parcelas con 3 y 6 años en descanso (2,04 y 1,97 mg kg⁻¹ Suelo) evidenciándose el efecto positivo del descanso sobre el contenido de NO₃⁻ + NO₂⁻ y NH₄⁺. Las épocas donde hubo incremento en el contenido de nitrógeno mineral fueron en los meses de Marzo, Noviembre y Enero. Respecto a la actividad microbiana, se registraron mayores incrementos en las parcelas con 6 y 3 años en descanso (9,31 y 7,51 mg C-CO₂ kg⁻¹) y un menor valor en la parcela con cultivo continuo de quinua (5,20 mg C-CO₂kg⁻¹) los meses donde la actividad microbiana fue favorecida fueron Marzo y Enero debido a las condiciones favorable de humedad y temperatura.

Palabras clave: Residuos orgánicos; Nitrógeno mineral; Actividad microbiana; Suelos del altiplano.

ABSTRACT

We evaluated the effect of management (incorporating crop remains and fallow plots) and time of year on mineral nitrogen content and microbial activity (N min and AM) in soils of the community Patarani Central Bolivian highland (3400-4000 m). We identified six study plots: a plot with lupine residues, a plot with

potato waste), a three-year fallow plot, a six years fallow plot, a seven years fallow plot) and a plot with continuously cultivated quinoa. In each plot, three points were sampled in triplicate, between 0 and 10 cm deep. The determination of mineral N was performed by reduction and distillation in Kjeldahl and the subsequent quantification of NO₃⁻ + NO₂⁻ and NH₄⁺. Microbial activity was determined by CO₂ production during microbial respiration in terms of mg C-CO₂ kg⁻¹. The results indicated that the mineral N was higher in plots with three and six years fallow (2.04 and 1.97 mg·kg⁻¹ soil) evidencing the positive effect of fallow on the NO₃⁻ + NO₂⁻ and NH₄⁺ soil content. The months when an increase in the mineral N content was observed were March, November and January. Regarding microbial activity, increase was also higher in plots with 6 and 3 years fallow (9.31 and 7.51 mg C-CO₂·kg⁻¹) and a lower value on the plot with continuous cultivation of quinoa (5.20 mg C-CO₂·kg⁻¹) the months when microbial activity was favored were March and January due to the favorable conditions of humidity and temperature.

Keywords: organic waste, mineral nitrogen, microbial activity and effect of management.

INTRODUCCION

En el Altiplano Boliviano, los agricultores manejan el suelo, mediante un sistema de cultivo con descanso y sin uso de insumos, sin embargo debido a la parcelación excesiva de la tierra, los agricultores disminuyeron los periodos de descanso en sus tierras de cultivo de 5, 7 o más años, a solo 3, 1 o 0 años de descanso, situación preocupante, en razón de que los periodos de descanso favorecían la recuperación de la fertilidad del suelo (Hervé *et al.*, 2006). Pestalozzi (2000), destacó la importancia de la cobertura vegetal, que coloniza el periodo de descanso en la recuperación de la fertilidad para el primer cultivo de la rotación que es la papa en sistemas de producción

¹ Becaria y técnico del proyecto ANDESCROP, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés. La Paz-Bolivia.

² Docente Investigador. Proyecto ANDESCROP. Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés. La Paz-Bolivia.

³ Coordinador Nacional. Proyecto ANDESCROP. Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés. La Paz-Bolivia.

⁴ Técnico del proyecto ANDESCROP, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés. La Paz-Bolivia.

del altiplano. Estudios realizados por Reyes y Vargas (1999), señalaron que la calidad de la materia verde incorporada al suelo, influye en la velocidad de mineralización, asimismo demostraron que la incorporación de hojas de leguminosas al suelo, incrementan el valor de la biomasa microbiana. El periodo de descanso, la incorporación de rastrojos de papa y residuos de leguminosas, son prácticas de manejo agrícola realizadas por los productores locales. La descomposición de residuos con baja concentración de nitrógeno y alta relación C/N es lenta y ocasiona la inmovilización del nitrógeno inorgánico del suelo (Nicolardot et al., 2001). La transformación biológica de los residuos orgánicos es un proceso imprescindible para la mineralización de los nutrientes, los microorganismos del suelo juegan un papel fundamental en este proceso, ya que constituye el medio de transformación de la materia orgánica (Sagardoy et al., 2004).

Las propiedades físicas y químicas del suelo definen la calidad del suelo (textura, densidad aparente, capacidad de retención de agua, contenido de agregados, pH o MOS (Orsag, 2010). Algunas variables cambian lentamente (textura), mientras que otras varían en cortos periodos (densidad aparente). Las propiedades bioquímicas edáficas como el carbono y nitrógeno de la biomasa microbiana (BM), nitrógeno mineralizable, actividad microbiana (AM), etc. son sensibles a pequeños cambios edáficos y, por tanto, proporcionan mayor información exacta e inmediata de cambios en la calidad edáfica (Nannipieri et al., 2003). La Actividad Microbiana, está influenciada por el clima, las propiedades físicas y químicas y las prácticas agrícolas (Moreno et al., 2010). El objetivo de este trabajo fue determinar el comportamiento temporal del nitrógeno mineral (NH_4^+ y $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$), y la actividad microbiana en suelos con diferente manejo y en diferentes épocas del año en la comunidad de Villa Patarani del Altiplano Central de Bolivia.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo fue desarrollado en la comunidad de Villa Patarani del Altiplano Central Boliviano, ubicada a una altitud de 3.800 msnm y a 6 km al noroeste de Patacamaya. Geográficamente se encuentra a 17° 6' de latitud Sur y 68° de longitud Oeste en una puna semiárida (Montes de Oca, 1997).

La precipitación promedio anual es de 400 mm, con temperaturas medias anuales entre 8-11 °C (Sivila y

Herve, 2006) (Figura 1).

Las precipitaciones diarias, desde marzo 2011 hasta marzo 2012, alcanzaron valores máximos en los meses de diciembre 2011, enero y febrero del 2012 con valores de 132,6; 103,4 y 127,8 mm respectivamente y el valor mínimo de 6,6 mm registrado en el mes de noviembre. Las temperaturas máximas y mínimas, variaron desde -10 hasta 19,8 °C (9 de Junio 2011), La temperatura media anual registrada fue de 7 a 11 centígrados.

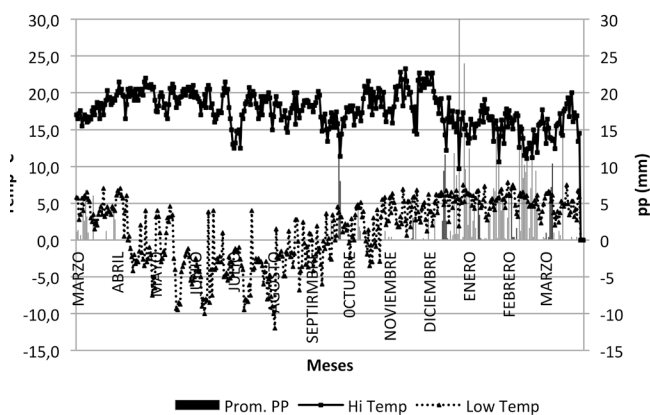


Figura 1. Distribución de la precipitación pluvial, temperatura máxima y mínima para el Altiplano Central de Bolivia.

Los suelos de las parcelas seleccionadas presentan las siguientes características físicas y químicas (Tabla 1).

Tabla 1. Características físico-químicos de las parcelas de estudio de la comunidad de Villa Patarani en el Altiplano Boliviano.

Manejo	Arena	Limo	Arcilla	Clase	CE	pH	N.T.	COT	M.O
	%			Textural	$\mu\text{S/cm}$	Agua (1:5)	%		
P-TW	61	23	15	FA	40,3	6,3	0,15	0,82	1,41
P-PA	65	15	19	FA	40,6	6,7	0,09	0,77	1,33
P-3D	49	30	20	F	88,0	6,8	0,14	0,68	1,17
P-6D	36	37	26	F	232,6	7,8	0,16	0,85	1,43
P-7D	81	13	4	AF	74,3	7,2	0,09	0,41	0,67
P-QUN	69	21	8	FA	45,0	7,3	0,03	0,22	0,38

donde: P-TW = Parcela con residuos de tarwi; P-PA = Parcela con residuos de papa; P-3D = Parcela con 3 años en descanso; P-6D = Parcela con 6 años en descanso; P-7D = Parcela con 7 años en descanso; P-QUN = Parcela de quinua. CE: conductividad eléctrica; N.T.: nitrógeno total; COT: carbono orgánico total y MO: materia orgánica.

En la parcela de tarwi (P-TW), fueron incorporados los restos de cosecha en los primeros 10 cm de la superficie, al inicio de la investigación en una proporción de 4,18 ton ha⁻¹. La parcela de papa (P-PA), cuyos residuos de cosecha también fueron incorporados en una proporción de 3,29 ton ha⁻¹, mientras la parcela se encontraba con papa, no fue adicionado ningún tipo de fertilizante. La parcela con tres años en descanso (P-3D) presentó pocas especies vegetales como *Chondrosium simplex*, *Erodium cicutarium* y otras hierbas en su mayoría anuales. La parcela con 6 años en descanso (P-6D), presentó cobertura vegetal conformada por *Parastrephia lepidophylla*, *Stipa ichu*, *Oxalis bisfracta*, *Cardionema ramosissima*, *Schkuhria multiflora* y algunas leguminosas nativas como *Lupinus ottobuchtienii*, *Trifolium amabile* y *Astragalus micranthellus*. La parcela con siete años en descanso (P-7D), presentó especies de *Parastrephia lepidophylla*, *Stipa ichu*, *Nassella pubiflora*, *Chondrosium simplex*, *Aristida asplundi*. La parcela de quinua (P-QUN) tampoco recibió ningún aporte de abono durante su desarrollo.

El muestreo de suelo, fue realizado en cada parcela, tomando nueve submuestras, para conformar tres muestras compuestas, los muestreos se realizaron durante la primera semana, en los meses de abril, junio, agosto, octubre, diciembre del 2011 y enero del 2012. Cada muestra fue colectada a una profundidad

de 0-10 cm, con ayuda de un barreno tipo helicoidal. A partir de la muestra compuesta, se realizaron todos los análisis en el laboratorio de la Facultad de Agronomía de la UMSA.

Para la determinación del nitrógeno mineral se realizó la extracción con 50 ml de KCl 1M en 12,5 g de suelo en tres repeticiones. El NH₄⁺ se determinó en presencia de óxido de magnesio (MgO) y el NO₃⁻ agregando aleación de Devarda (Flores et al., 2010); el destilado se recuperó luego de 3 a 5 minutos en un vaso de precipitado con 10 ml de ácido bórico hasta completar 40 ml en total y fue titulada con ácido sulfúrico 0,005N.

Los análisis microbiológicos se realizaron en suelo homogenizado con tamiz de 2mm. Una parte de la muestra fue separada para la determinación de la humedad. La respiración microbiana se midió por la cuantificación de la producción de CO₂ en tres repeticiones. Los suelos se depositaron en frascos de vidrio con tapa de rosca y se incubaron a 12-15 °C. La humedad del suelo se ajustó al 85% de Capacidad de Campo. El CO₂ fue medido a los 7, 14 y 21 días después del inicio de la incubación.

Para adsorber el CO₂, se utilizó 10ml de NaOH 1N, ambos colocados en un frasco de 120 ml, que se introdujo en cada uno de los frascos de vidrio con tapa de rosca. La solución se cambió en cada una de las determinaciones. El carbonato se precipitó con cloruro de bario a 2%, y el exceso de NaOH fue titulado con ácido clorhídrico, empleando fenolftaleína como indicador (Tedesco, 1991). La cantidad de CO₂ producido se obtuvo con la fórmula de Montenegro (2008) y se expresó en mg de C-CO₂ g⁻¹ de suelo.

donde:

B= Gasto de HCl para titular la prueba en blanco (ml); S = Gasto de HCl para titular la muestra (ml); N=Normalidad exacta del HCl utilizado en la valoración; 6=Factor de conversión, considerando que 1 ml de NaOH 1N equivale a 3 mg de C-CO₂; G =Factor relativo a la cantidad de suelo seco utilizada en el ensayo (g); T=Factor relativo al tiempo de incubación (días).

Para determinar la diferencia entre los diferentes manejos de las parcelas se aplicó una ANVA de una vía y se utilizó el test Tukey a nivel del 5% para identificar cuáles grupos eran significativamente diferentes entre sí. Se utilizó el paquete estadístico "SAS".

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con respecto al nitrógeno mineral, en la Tabla 2, se presentan los resultados de las concentraciones

medias de nitratos (mg kg⁻¹) en cada fecha de evaluación. Se observa que las parcelas con incorporación de residuos de tarwi y con 6 años en descanso presentan mayor concentración de nitrato, por el contrario las parcelas con residuos de papa y cultivo continuo de quinua presentan las concentraciones más bajas de nitrógeno mineral, los diferentes manejos en las parcelas afectan significativamente la concentración de nitratos en los diferentes meses de evaluación. Herve y Beck (2006), encontraron valores de 1,05 hasta 2,03 mg NO₃⁻ kg⁻¹ S, en los meses de Noviembre (época de siembra) y 0,84, 1,69 mg NO₃⁻•kg⁻¹ Suelo en el mes de Marzo (época de cosecha, cultivo de papa). Los mismos autores realizaron estudios en la comunidad de Huaraco donde encontraron valores 9,24 mg NO₃⁻•kg⁻¹ suelo, (época de siembra previa roturación en incorporación de estiércol en los meses de abril) y 1,04; 1,19 mg NO₃⁻•kg⁻¹ suelo en la época de cosecha (Marzo).

Tabla 2. Análisis de varianza para las concentraciones medias de nitratos en las parcelas de estudio (Según test de Tuckey p <0,05)

Manejo	Marzo		Mayo		Julio		Septiembre		Noviembre		Enero	
	nitratos+nitritos (mg kg suelo-1)											
P-TW	1,56 ±	0,9 ab	1,01 ±	0,2 ab	0,55 ±	0,1 ab	0,47 ±	0,2 a	1,00 ±	0,1 ab	0,82 ±	0,3 bc
P-PA	1,37 ±	0,7 ab	0,36 ±	0,2 b	0,24 ±	0,1 b	0,25 ±	0,1 b	0,54 ±	0,1 ab	0,73 ±	0,3 bc
P-3D	1,28 ±	0,2 ab	1,14 ±	0,2 ab	0,58 ±	0,2 a	0,56 ±	0,1 a	1,16 ±	0,2 a	1,35 ±	0,4 a
P-6D	1,59 ±	0,6 a	0,58 ±	0,2 bc	0,39 ±	0,1 ab	0,53 ±	0,1 ab	0,97 ±	0,5 a	1,16 ±	0,3 a
P-7D	0,68 ±	0,3 b	0,77 ±	0,3 c	0,55 ±	0,1 ab	0,50 ±	0,2 ab	0,82 ±	0,4 ab	0,79 ±	0,2 abc
P-QUN	0,50 ±	0,1 c	0,24 ±	0,2 c	0,24 ±	0,1 b	0,12 ±	0,1 b	0,41 ±	0 b	0,39 ±	0,1 c
CV	17,39		10,65		9,76		9,57		8,22		8,0	

P-TW = Parcela con residuos de tarwi; P-PA = Parcela con residuos de papa; P-3D = Parcela con 3 años en descanso; P-6D = Parcela con 6 años en descanso; P-7D = Parcela con 7 años en descanso; P-QU = Parcela de quinua.

A partir del mes de mayo, julio y septiembre la concentración de nitratos llega a valores de 0,24 y 0,12 mg kg⁻¹ S, esto a causa de las bajas temperaturas registradas en estos meses, ya que a la temperatura de 0 °C o inferiores la nitrificación no se produce, pero por encima de 1,5 °C empieza y va aumentando progresivamente (Navarro, 2003). Asimismo, Blaso (2000), demostró que la nitrificación cesa cuando el nivel de humedad es menor a 10%, mientras que humedades de 22-23% son favorables para la nitrificación. La humedad óptima varía con la textura del suelo y aumenta con el contenido de coloides ordinariamente, para suelos cultivados varía entre el 12 y 18% de agua (Navarro, 2003).

La Tabla 3, presenta diferencias significativas de la concentración de amonio en los diferentes manejos

de las parcelas. La parcela con 6 años en descanso es la que contiene mayor concentración de amonio por kilogramo de suelo, seguida de la parcela con tres años en descanso, con una menor concentración se tienen a las parcelas con residuos de tarwi y con 7 años en descanso los cuales presentan valores estadísticamente similares pero superiores a la parcela con residuos de papa y parcela de quinua las mismas que presentaron la concentración más baja de amonio por kilogramos de suelo. Barreto (1999), reporta que existen mayores concentraciones de amonio bajo labranza cero, esto debido a que el suelo no alterado retrasa el proceso de la nitrificación, similar a este Llambi (1997), concluye que las parcelas con 10 años en descanso tienen un potencial de nitrificación inferior, lo cual pudiera estar asociado a pérdidas menores de nitrógeno del ecosistema no

perturbado, ya que el amonio puede ser retenido con más facilidad en el complejo de intercambio catiónico que los nitratos.

Respecto al tiempo, la concentración de amonio en las parcelas, son significativamente ($p < 0,05$) mayores en los meses de marzo, noviembre 2011 y

enero 2012, esto debido a las condiciones adecuadas de humedad y temperatura para el proceso de amonización (Thompson, 2002). A partir del mes de Mayo, Julio y Septiembre, la concentración de amonio va en descenso llegando a valores de 0,19 y 0,22 mg kg^{-1} durante el mes de Julio y Septiembre en la parcela de quinua.

Tabla 3. Análisis de varianza para las concentraciones medias de amonio en las parcelas de estudio (Según test de Tuckey $p < 0,05$).

	Amonio (mg kg suelo^{-1})						
P-TW	2,43 ± 1,17 ab	1,79 ± 0,25 ab	1,11 ± 0,11 ab	1,15 ± 0,41 a	1,77 ± 0,31 ab	1,77 ± 0,25 bc	
P-PA	2,12 ± 1,10 ab	0,7 ± 0,28 b	0,55 ± 0,05 b	0,69 ± 0,18 b	1,21 ± 0,14 ab	1,74 ± 0,41 bc	
P-3D	2,31 ± 0,29 ab	2,14 ± 0,23 ab	1,23 ± 0,27 a	1,34 ± 0,18 a	2,08 ± 0,28 a	2,74 ± 0,39 a	
P-6D	3,18 ± 0,66 a	1,92 ± 0,29 bc	1,14 ± 0,17 ab	1,34 ± 0,16 ab	1,98 ± 0,49 a	2,67 ± 0,29 a	
P-7D	1,43 ± 0,42 b	1,39 ± 0,37 c	1,05 ± 0,22 ab	1,03 ± 0,34 ab	1,55 ± 0,62 ab	1,87 ± 0,41 abc	
P-QUN	0,94 ± 0,21 b	0,49 ± 0,23 c	0,46 ± 0,05 b	0,31 ± 0,14 b	0,83 ± 0,16 b	1,16 ± 0,24 c	
CV	17,39	10,65	9,76	9,57	8,22	8,0	

Connor y Loomis (2002), establecieron que el proceso de amonificación se favorece con temperaturas altas, humedad, aireación y un sustrato de carbono adecuado. Russell y Wild (1997), complementan que los microorganismos amonificadores son más resistentes que los nitrificadores, debido a que el proceso de amonificación es realizado por un amplia gama de microorganismos existentes. Según Blaso (2000), los bajos niveles de humedad parecen afectar más adversamente a los microorganismos oxidadores de nitratos que a los oxidadores de amonio.

En la Figura 2, se observa el comportamiento del nitrógeno mineral (suma de nitratos, nitritos y amonio), en el tiempo, siendo evidente los bajos contenidos de nitrógeno mineral en la parcela donde se sembró la quinua y los valores más altos en la parcela donde se incorporo rastrojos de tarwi. Asimismo es posible evidenciar que, los contenidos de nitrógeno mineral disminuyen en el invierno y aumentan en la época de lluvias.

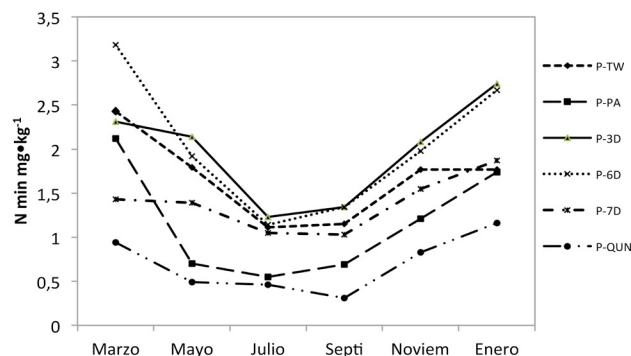


Figura 2. Comportamiento del nitrógeno mineral en diferentes meses del año. P-TW = Parcela con residuos de tarwi; P-PA = Parcela con residuos de papa; P-3D = Parcela con 3 años en descanso; P-6D = Parcela con 6 años en descanso; P-7D = Parcela con 7 años en descanso; P-QU = Parcela de quinua.

Por otro lado, el contenido de arcilla de las diferentes parcelas de estudio, también influyen en la adhesión de nutrientes y el intercambio catiónico (Sivila et al., 2006). En la Figura 4 se observa que el porcentaje de arcilla + limo tiene mayor correlación ($r = 0,92$) con el ion amonio, que con el nitrato ($r = 0,74$), ello se debe a que el ion NH_4^+ se encuentra retenidos en los coloides del suelo, sin embargo los NO_3^- , se encuentra en la solución del suelo. Blasco y Cornfield (1990); citados por Fassbender (1994) estudiaron la capacidad de fijación de amonio en ocho suelos de Colombia y encontraron valores entre 2 y 8 $\text{meq NH}_4^+ \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ suelo, donde los valores menores correspondieron a suelos caoliniticos y los mayores a los montmorilloniticos.

Con relación a la actividad microbiana, el análisis estadístico muestra diferencias significativas ($P > 0,05$) de los diferentes meses de evaluación (influencia de la variación temporal), de igual forma muestra que existe diferencias significativas en los diferentes manejos realizados en las parcelas.

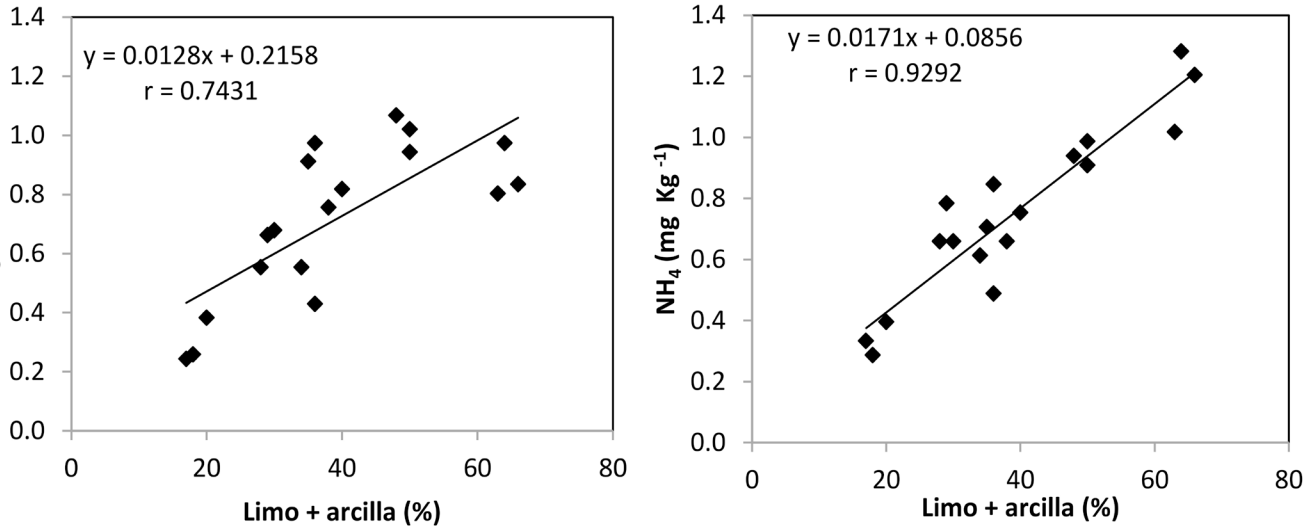


Figura 3. Correlación entre el nitrato y amonio con el porcentaje de limo + arcilla

En la Tabla 4, se observa que la parcela con 6 años en descanso es la que contiene mayor producción de $C-CO_2$ $kg^{-1} d^{-1}$, seguida de esta se tienen a las parcelas con 3 y 7 años en descanso, con una menor producción se tiene a la parcela con residuos de tarwi y por último y con las producciones más bajas se encuentran a las parcelas de quinua y con residuos de papa. La actividad microbiana medida a través del desprendimiento de CO_2 $mg C-CO_2 \cdot kg^{-1} S \cdot d^{-1}$ fue mayor en los meses de Mayo y Enero (Tabla 4) posteriormente en los meses de Noviembre y Septiembre, teniendo en el mes de junio la actividad microbiana más baja del año. Los microorganismos son afectados por las condiciones de temperatura y humedad, por lo cual era de esperar que existieran variaciones en la actividad microbiana en los distintos muestreos a lo largo del año (Polo et al., 2004). Gomez y Paulini (2006), encontraron valores de 7,54 a 15,9

$mg C-CO_2 \cdot kg^{-1} S \cdot d^{-1}$ durante periodos de sequía y lluvia respectivamente. Polo et al., (2004), argumentan que en el periodo invernal la actividad microbiana tuvo valores bajos, evidenciando que la influencia más importante de este periodo fueron las condiciones abióticas (bajas temperaturas, escasa humedad del suelo y ausencia de vegetación herbácea).

Los valores hallados en el presente estudio, son realmente bajos en comparación a estudios realizados por Solis (2010), en Chapingo-México, donde el rango de respiración microbiana es de 22 a 35 $mg C-CO_2 \cdot kg S \cdot d^{-1}$ estos valores altos son justificados por que la zona de estudio presenta una temperatura media de 18 - 22 °C y altas precipitaciones (1200 mm), también se reportan rangos de 32,42 a 188,5 $mg C-CO_2 \cdot kg S \cdot d^{-1}$ bajo condiciones de invernadero con una temperatura de 23°C y humedad relativa del 75% (Montenegro, 2008).

Tabla 4. Flujo de emisión de CO_2 en suelos con diferente manejo a diferentes meses del año.

Manejo	Mayo	Julio	Septiembre	Noviembre	Enero
	Flujo de CO_2 ($mg C-CO_2$ kg suelo- $día^{-1}$)				
P-TW	5,09 ± 0,79 bc	4,58 ± 0,54 bc	4,64 ± 0,47 c	4,82 ± 0,61 c	6,57 ± 0,40 c
P-PA	2,18 ± 1,80 c	3,46 ± 0,62 cd	3,87 ± 0,54 b	4,11 ± 0,71 c	5,81 ± 0,20 d
P-3D	9,44 ± 1,90 ab	6,12 ± 0,20 ab	6,47 ± 0,54 b	6,83 ± 0,54 b	8,7 ± 0,20 b
P-6D	11,10 ± 1,74 a	7,48 ± 0,47 a	8,36 ± 0,94 a	8,89 ± 0,99 a	10,71 ± 0,20 a
P-7D	10,27 ± 2,76 ab	4,88 ± 0,88 bc	6,65 ± 0,51 ab	6,83 ± 0,20 b	7,16 ± 0,20 c
P-QUN	6,14 ± 2,45 abc	2,6 ± 0,59 d	4,05 ± 0,80 c	4,46 ± 0,71 c	4,21 ± 0,40 e
CV	27,7	12,09	11,56	11,17	3,8

P-TW = Parcela con residuos de tarwi; P-PA = Parcela con residuos de papa; P-3D = Parcela con 3 años en descanso; P-6D = Parcela con 6 años en descanso; P-7D = Parcela con 7 años en descanso; P-QU = Parcela de quinua.

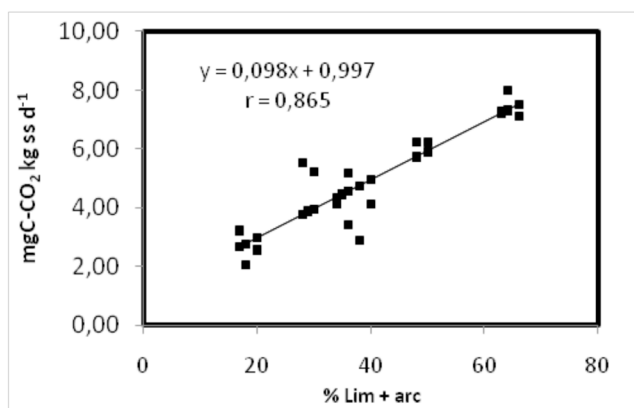


Figura 4. Correlación entre la actividad microbiana con el porcentaje de limo + arcilla

CONCLUSIONES

El manejo de suelos en las parcelas influye en el contenido de nitrógeno mineral en cada mes de evaluación, siendo la parcela con 6 años en descanso la que presentó mayor contenido de $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+$ ($2,04 \text{ mg N min kg}^{-1}\text{S}$), mientras que la parcela con cultivo continuo de quinua, presentó un 66% menos de nitrógeno mineral en comparación a la parcela con 6 años en descanso.

Los contenidos de nitrógeno mineral y actividad microbiana están asociados a las temperaturas y humedad del suelo, presentando los menores valores en época seca (junio y julio) y los mayores valores en la época lluviosa (noviembre, enero).

La actividad microbiana ($\text{mg C-CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ S} \cdot \text{d}^{-1}$) fue mayor en las parcelas con 3 y 6 años en descanso y de igual forma la parcela con cultivo continuo de quinua presentó menor desprendimiento de C-CO_2 en comparación con las demás parcelas.

El contenido de arcilla + limo en el suelo, presentó una mayor relación ($r = 0,929$) con el ion amonio, que con el nitrato ($r = 0,743$), de igual forma presentó una correlación con la actividad microbiana ($r = 0,865$).

AGRADECIMENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al proyecto ANDESCROP por el financiamiento de esta Investigación y a la Facultad de Agronomía UMSA, por la infraestructura de laboratorios y equipos.

BIBLIOGRAFÍA

- Blaso, M. 2000. Curso de microbiología de suelos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O. E. A. Centro de enseñanza e Investigación. Turrialba, Costa Rica. 245 p.
- Connor, D., Loomis, R. 2002. Ecología de cultivos. Productividad y manejo en sistemas agrarios. Universidad de Cambridge. Barcelona, España. 417 p.
- Fassbender, H. 1994. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O. E. A. Centro de enseñanza e Investigación. San José, Costa Rica. 398 p.
- Gómez, Y., Paolini, J. 2006. Actividad microbiana en suelos de sabanas de los Llanos Orientales de Venezuela convertidas en pasturas, v. 54, n. 2, 273-285.
- Herve, D., Beck, S. 2006. Balance de investigaciones sobre la reconstitución de la fertilidad del suelo en el Altiplano Central Boliviano (TROPANDES - Bolivia). Ecología en Bolivia. v. 41, n. 3: 1-18.
- Llambí, L.D., Sarmiento, L. 1997. Dinámica de la fertilidad en parcelas agrícolas en descanso en el Páramo de Gavidia: biomasa microbiana y ciclaje de N. Memorias del Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. CD-ROM. No. DL FR2529710.
- Montenegro, S. 2008. Influencia de la aplicación de vinaza sobre la presencia, actividad y biomasa microbiana del suelo en cultivo de maíz dulce (*Zea mays*). Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. 124 p.
- Montes de Oca, I. 2005. Enciclopedia Geográfica de Bolivia. Edición Atenea S.R.L. La Paz, Bolivia. 871 p.
- Nannipieri, P., Aschner, J., Ceccherini, M., Landi, L., Pietramellara, G., Renella, G. 2003. Microbial diversity and soil functions. European Journal of Soil Science. v. 54: 655-670.
- Navarro, S., Navarro, G. 2003. Química agrícola: El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida. Ed. Mundi – Prensa. Madrid,

- España. 457 p.
- Orsag, V. 2010. El recurso suelo principios para su manejo y conservación. Ed. Zeus. La Paz, Bolivia. 473p.
- Pestalozzi, H. 2000. Sectoral fallow systems and management of soil fertility: the rationality of indigenous knowledge in the high Andes of Bolivia. *Mountain Research and Development*. v. 20, n. 3: 64-71
- Polo, M., Folgarait, P., Martínez, A. 2004. Evaluación estacional del efecto de los nidos de *Camponotu sunctulatus* sobre la biomasa y la actividad microbiana en una pastura subtropical de Argentina. *Ecología Austral*, v. 14, 149 – 163.
- Russell, E., Wild, A. 1997. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Madrid, España. 1025 p.
- Sivila de Cary, R., Herve, D. 2006. Efecto de leguminosas nativas en terrenos en descanso sobre la microbiota del suelo durante un cultivo de papa (Altiplano central boliviano). *Ecología en Bolivia*, v.41, n. 3, 154-166.
- Solís, J. D., Díaz, E., León, N. S., Guillén, J. 2010. Enmiendas orgánicas y actividad metabólica del suelo en el rendimiento de maíz. *Terra Latinoamericana*. v. 28, 239-245.
- Tedesco, M. J. et al. 1995. Análise de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre. Universidad Federal do Rio Grande do Sul. 1995. 168p.
- Thompson, L., Troeh, F. 2002. Los suelos y su fertilidad. Centro superior de Investigaciones Científicas. 4ta Ed. Editorial REVERTE. Barcelona – España. 649 p.