

Potencial de mineralización de Nitrógeno de suelos del valle interandino de Huánuco¹

Liliana Vega-Jara², Kadir Márquez Dávila³, José Figueroa Ramírez⁴,
Luisa M. Álvarez Benaute⁵, Ana Mercedes Asado Hurtado⁶, Sebastián Vangeli⁷

Resumen

Introducción: el diagnóstico de fertilidad mejora al incluir el aporte de nitrógeno (N) mineralizable de la fracción orgánica del suelo. El objetivo fue estimar el potencial de mineralizar N de suelos representativos de la región Huánuco. **Materiales y métodos:** se estudió el efecto del manejo sobre los contenidos y distribución superficial de la materia orgánica total (MOT) y Nan, en relación a la temperatura y precipitación de los sitios. Se seleccionaron 18

suelos agrícolas y 6 prístinos representativos de la región y se tomaron muestras de dos estratos del suelo (0-10 y 10-20cm). Se determinó MOT, Nan y N total. **Resultados:** los suelos agrícolas presentaron mayor MOT y Nan que los prístinos, posiblemente por el mayor aporte de biomasa bajo agricultura. La distribución superficial del Nan siguió la tendencia de la MOT, con mayor concentración en el estrato más superficial. Esto ocurrió independientemente del manejo agrícola o prístino, aunque estos últimos presentaron mayor estratificación producto del no laboreo.

¹ Artículo original derivado del proyecto de investigación “Capacidad de mineralización de suelos con distintos manejos y condiciones edafoclimáticas”, de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Perú, ejecutado entre abril de 2018 y diciembre de 2020; Grupo de investigación de Suelos.

² Doctora en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Perú; Magíster en Ciencias del Suelo, Universidad de Buenos Aires, Argentina; Ingeniera Agrónoma, Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Huánuco, docente-investigador y miembro del grupo de investigación de Suelos de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán. Correo: lvega@unheval.edu.pe / ORCID: 0000-0002-9692-0105

³ Magíster en Fitopatología, Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú, Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Huánuco, docente-investigador y miembro del grupo de investigación Bioprotección vegetal de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán. Correo: kmarquez@unheval.edu.pe / ORCID: 0000-0003-3019-5665

⁴ Gobierno Regional de Huánuco. Correo: 46679063@continental.edu.pe, ORCID: 0000-0002-0661-8018

⁵ Magíster en Agua. Análisis interdisciplinario y Gestión sostenible, Universidad de Barcelona, España, Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Huánuco. Correo: lalvarez@unheval.edu.pe / ORCID: 0000-0001-6961-9870

⁶ Magíster en Agroecología y Desarrollo Sostenible, Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Perú, Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Huánuco. Correo: aasado@unheval.edu.pe / ORCID: 0000-0002-4223-6308

⁷ Candidato a Doctor en Ciencias Agropecuarias, Universidad de Buenos Aires, Magíster en Ciencias del Suelo, Universidad de Buenos Aires, Argentina, Ingeniero Agrónomo, Universidad de Buenos Aires. Correo: vangeli@agro.uba.ar ORCID: 0000-0002-0610-6696

Autor para Correspondencia: Liliana Vega-Jara, correo: lvega@unheval.edu.pe
Recibido: 15/08/2021 Aceptado: 10/06/2022

*Los autores declaran que no tienen conflicto de interés

Los suelos estudiados pudieron agruparse en tres, según el potencial de mineralización de N. A través de la relación $N_{an}:N$ total se estimaron mineralizaciones de N de 0,9 %, 2,5 % y 5 % para los distintos grupos, relacionados a las condiciones ambientales de los sitios (mayores mineralizaciones en sitios más cálidos y húmedos). **Conclusiones:** los suelos de Huánuco presentaron distinto

potencial para mineralizar N dependiendo de la temperatura y precipitación. Estos resultados permitirían estimar mejor el aporte de N de los suelos para calcular las dosis de N a fertilizar.

Palabras clave: Materia orgánica del suelo, Suelos agrícolas, Suelos prístinos, Sitios con distintas características climáticas.

Nitrogen Mineralization Potential of Soil's Inter-Andean Valley of Huanuco

Abstract

Introduction: fertility diagnosis improves by including the contribution of mineralizable nitrogen (N) from the soil organic fraction. In this work, we estimate the N mineralization potential of representative soils of the Huánuco region. **Materials and methods:** the management effect on the contents and surface distribution of total organic matter (MOT) and N_{an} , in relation to the temperature and precipitation of the sites, was studied. Eighteen agricultural soils and 6 pristine soils representative of the region, and samples were taken from two superficial soil strata (0-10 and 10-20 cm). MOT, N_{an} , and total N were determined. **Results:** agricultural soils presented higher MOT and N_{an} than pristine soils, possibly due to the greater contribution of biomass under agriculture. The surface

distribution of the N_{an} followed the trend of the MOT, with a higher concentration in the most superficial stratum. This occurred independent of agricultural or pristine management, although the latter presented greater stratification as a result of non-tillage. The soils studied were grouped into three, according to the mineralization potential of N. Through the $N_{an}:\text{total N}$ relationship, N mineralizations of 0.9 %, 2.5 % and 5 % were estimated for the different groups, related to the environmental conditions of the sites (higher mineralizations in warmer and more humid sites). **Conclusions:** the evaluated soils presented different potential to mineralize N depending on temperature and precipitation. These results contribute to a better estimation of the N contribution of soils to calculate the N doses.

Keywords: Organic Soil Matter; Agricultural soils, Pristine soils, Sites with different climatic characteristics.

Potencial De Mineralización De Nitrogênio Dos Solos Do Vale Interandino De Huánuco

Resumo

Introdução: o diagnóstico de fertilidade melhora ao incluir a contribuição de nitrogênio mineralizável (N) da fração orgânica do solo. Neste trabalho, estimamos o potencial de mineralização de N de solos representativos da região de Huánuco. **Materiais e métodos:** estudou-se o efeito do manejo sobre os teores e distribuição superficial da matéria orgânica total (MOT) e Nan, em relação à temperatura e precipitação dos locais. Dezoito solos agrícolas e 6 solos prístinos representativos da região, e amostras foram retiradas de dois estratos superficiais do solo (0-10 e 10-20 cm). MOT, Nan e N total foram medidos. **Resultados:** os solos agrícolas apresentaram maior MOT e Nan do que os prístinos, possivelmente devido à maior contribuição de biomassa na agricultura.

A distribuição superficial do Nan seguiu a tendência do MOT, com maior concentração no estrato mais superficial. Isso ocorreu independentemente do tipo de manejo agrícola ou prístino, embora este último tenha apresentado maior estratificação como resultado do plantio direto. Os solos estudados podem ser agrupados em três, de acordo com o potencial de mineralização de N. Por meio da relação Nan:N total, foram estimadas mineralizações de N de 0,9 %, 2,5 % e 5,0 % para os diferentes grupos, relacionadas às condições ambientais dos locais (maior mineralização em locais mais quentes e úmidos). **Conclusões:** os solos avaliados apresentaram diferentes potenciais para mineralizar N em função da temperatura e precipitação. Esses resultados contribuem para uma melhor estimativa da contribuição de N dos solos para o cálculo das doses de N.

Palavras-chave: Matéria orgânica do solo, Solos agrícolas, Solos primitivos, Sítios com diferentes características climáticas.

Introducción

El nitrógeno (N) es un elemento esencial para la nutrición de los cultivos, con el cual es posible mejorar los rendimientos y la calidad de las cosechas. Es el principal nutriente limitante de la producción agrícola, por lo cual su provisión adecuada es clave para sostener altos niveles de productividad. Sin embargo, un porcentaje importante del N aplicado en fertilizaciones se pierde a través de distintas vías (e.g., volatilización, lixiviación, desnitrificación) (Lassaletta et al., 2014), lo cual no solamente afecta la

eficiencia agronómica, sino que también genera impactos ambientales como la contaminación del agua subterránea, la depleción del ozono atmosférico y la emisión de gases de efecto invernadero. En ese sentido, es importante desarrollar estrategias tendientes a una fertilización racional para reponer los nutrientes en un agrosistema y mejorar la producción agrícola. Para ello, cuantificar el aporte de N a través de la mineralización de la materia orgánica del suelo (MOS) puede ser relevante para estimar el N disponible y calcular correctamente la dosis a aplicar.

La dosificación eficiente de N que requieren los cultivos, hace necesario un correcto diagnóstico a nivel parcela (Reussi Calvo et al., 2013), que a su vez puede estar influenciado por las condiciones ambientales del sitio y el manejo (Alvarez & Steinbach, 2011). El N que aporta un suelo se determina midiendo el N disponible ($N-NO_3^-$) en el estrato de 0-60 cm de profundidad en el momento de la siembra (Reussi Calvo et al., 2018), sumado al N que se mineraliza durante el ciclo del cultivo, conocido como N potencialmente mineralizable (Soon et al., 2007). La medición del $N-NO_3^-$ se realiza usando métodos de rutina (Baethgen & Alley, 1989), mientras que para determinar el N mineralizable es necesario medir el potencial de mineralización. El $N-NH_4^+$ producido por incubación anaeróbica (Nan) en el estrato de 0-20 cm es un estimador simple y confiable del N que se mineraliza durante el ciclo de un cultivo, y su inclusión permite mejorar el diagnóstico de N disponible para los cultivos y ajustar la dosis de N a aplicar. La MOS es muy sensible a la actividad antrópica, y su alteración afecta directamente a la fertilidad del suelo (Quiroga & Studdert, 2015). Una disminución en los niveles y calidad de MOS afecta la actividad de los microorganismos y en consecuencia a la disponibilidad de nutrientes (Liang et al., 2017). El tipo y rotación de cultivos, la intensidad de labranza, entre otros factores también afectan la dinámica de la MOS y la microfauna edáfica (Correa, 2016; Quiroga & Studdert, 2015).

Actualmente, para toda la región Huánuco, se usan empíricamente porcentajes de mineralización de N de 3 %, debido a los datos disponibles acerca de la capacidad

de mineralizar N de los suelos de la región resulta insuficiente. Sin embargo, la amplia variabilidad de las características del suelo, clima y manejos, hace necesario contar con factores de mineralización de N que permitan cuantificar el potencial de mineralizar N de los suelos. La determinación del potencial de mineralizar N de los suelos permitirá conocer la cantidad de N que aporta el suelo y calcular las dosis de N más racionalmente. En consecuencia, la eficiencia de uso de N de los cultivos será mayor, además se evitará la sobre-fertilización. El uso del Nan es una alternativa apropiada para cubrir esta necesidad en la región, porque ha demostrado ser útil en otras regiones agrícolas como la región Pampeana, Argentina (Reussi Calvo et al., 2014, 2018). El uso combinado de disponibilidad de N en el suelo ($N-NO_3^- + Nan$) ha demostrado una mejora significativa en el diagnóstico de disponibilidad de N para los cultivos respecto a utilizar solo $N-NO_3^-$ (Orcellet et al., 2017). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue medir el potencial de mineralizar N de suelos representativos de la región Huánuco y el efecto del manejo sobre los contenidos y distribución de la MOT y Nan, bajo la influencia de temperatura y precipitación de los sitios.

Materiales y Métodos

Descripción del área de estudio y diseño del muestreo

Se seleccionaron diez sitios representativos de la región Huánuco y dos sitios de la región Pasco, vale aclarar que estas regiones pertenecen al valle interandino peruano, en cada sitio se tomaron

dos suelos (**Tabla 1, Figura 1**). Estos suelos tienen distintos manejos y características climáticas, 18 suelos fueron agrícolas y 6 prístinos. Se tomaron muestras de suelo de dos estratos de profundidad (0-10 cm y 10-20 cm), para cada estrato se tomó una muestra compuesta de 25 submuestras en cada suelo.

Las muestras se tomaron durante el mes de octubre del año 2018 (momento de las siembras), para minimizar el efecto de fecha de siembra, vale aclarar que las siembras de cultivos en la región, es a partir de octubre coincidiendo con las primeras lluvias.

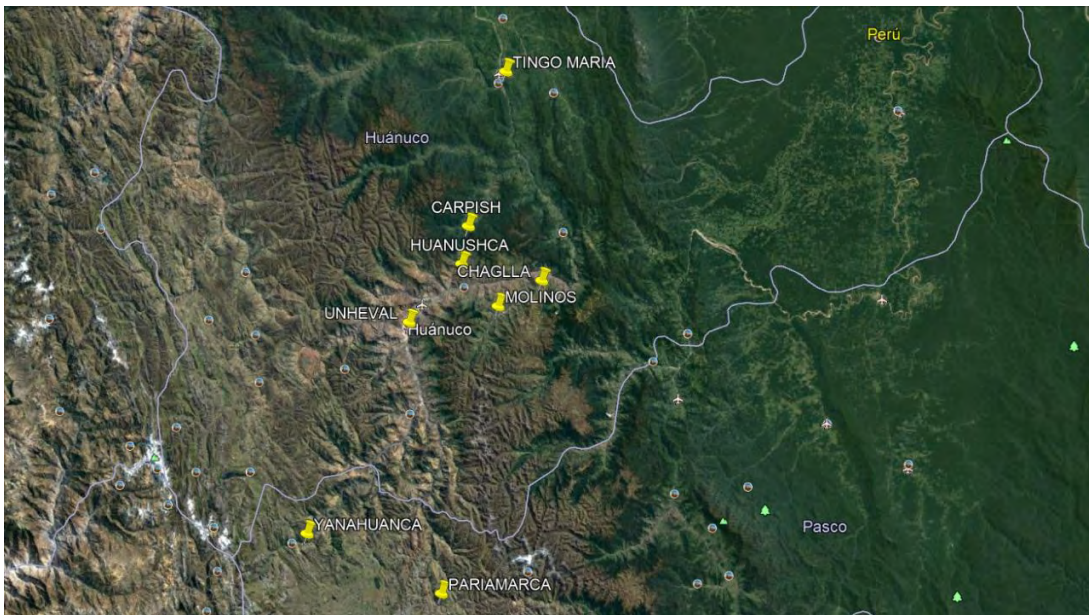


Figura 1: Ubicación de los sitios muestreados para el estudio en Huánuco, Perú.

Fuente: Adaptado por los autores desde google heart.

Análisis de suelo

Los suelos se analizaron en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Huánuco, Perú. Los suelos muestran se secaron al aire, para luego tamizarlos con malla de 2mm y medir la MOT, Nitrógeno total (N Total) y el Nan. La MOT se estimó después de haber medido el carbono (C) orgánico siguiendo el método de Walkley y Black

(Nelson & Sommers, 1982), considerando que el 58 % de la MOT es C orgánico (Asado, 2012). Para estimar el N total se usaron los valores de MOT, asumiendo que el N total es el 4,5 % de la MOTO Asado, 2012). Para medir el Nan, se incubaron 5 g de suelo más 12,5 ml de agua destilada cerrados herméticamente en tubos de 150 por 16 mm a 40°C por 7 días. Luego, se transfirieron los contenidos a fiolas junto con 12,5 ml de solución de KCl 4M (Keeney & Bremner, 1966), se agitaron por 30 minutos

para luego ser filtrados. En seguida, mediante una medición colorimétrica se cuantificó el contenido de $N-NH_4^+$ liberado (Nan) (Baethgen & Alley, 1989). El porcentaje de mineralización de N de cada muestra de suelo se estimó del cociente de la concentración de Nan sobre el N total estimado de la capa de 0-20 cm y multiplicado por 100.

Análisis estadístico

Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) de MOT y Nan con manejo y sitios como efectos fijos, y profundidad como efecto aleatorio. En casos donde hubo diferencia entre estratos de profundidad, se analizó en cada estrato por separado y, en casos donde existió diferencia entre manejos (agrícola y prístino) se realizaron los análisis dentro de cada manejo. Los valores promedio de cada nivel se compararon mediante la prueba de diferencia mínima significativa (LSD)

($p < 0,05$). La estratificación de la MOT y Nan se estimó mediante el cociente de sus concentraciones del estrato de 10-20 cm sobre la capa de 0-10 cm (Franzluebbers, 2002). Se utilizaron cluster, teniendo en cuenta la distancia de Ward para agrupar a los suelos según su potencial para mineralizar N. Se consideró lo descrito por Balzarini et al. (2008) para cortar el nivel de agrupamiento de los sitios en el 50% de la distancia total. Para calcular las relaciones entre el Nan y Ntotal estimado se expresaron en unidades de masa ($mg\ kg^{-1}$), se compararon mediante el análisis de regresión y la prueba F. En casos donde las diferencias fueron no significativas, se presentaron las líneas de regresión para esos sitios con una sola función. Se realizaron análisis de regresión para conocer la relación entre el porcentaje de mineralización de N con la temperatura y precipitación. Se usó el INFOSTAT para los distintos análisis estadísticos (Di Rienzo et al., 2018).

Tabla 1. Características generales, edáficas y climáticas de los sitios de estudio.

Sitio	N	Historia agrícola (años)	Altitud (msnm)	Zona de vida (clasif. de Holdridge)	Cultivos antecesores	Temp. mín. (°C)	Temp. máx. (°C)	pp mes ⁻¹ (mm)
CIFO Huánuco (frutales)	2	+50	1898	monte espinoso Premontano Tropical	Palto (50 %); chirimoyo (50 %)	14,50	26,80	40,76
CIFO Huánuco (olerícola)	2	+50	1898	monte espinoso Premontano Tropical	Repollo (50 %), ajo (25 %); lechuga (25 %)	14,50	26,80	40,76
Yanahuanca (agrícola)	2	+20	3184	bosque húmedo Montano Tropical	Papa (100 %)	14,00	21,50	13,00
Chaglla (agrícola)	2	+20	3000	bosque húmedo Montano Tropical	Papa (50 %); zapallo (50 %)	8,00	15,00	10,00
Carpish (agrícola)	2	+20	2563	bosque pluvial Montano Bajo Tropical	Maíz (50 %); papa (50 %)	3,60	18,30	10,00

Sitio	N	Historia agrícola (años)	Altitud (msnm)	Zona de vida (clasif. de Holdridge)	Cultivos antecesores	Temp. mín. (°C)	Temp. máx. (°C)	pp mes ⁻¹ (mm)
Pariamarca (agrícola)	2	+40	4348	páramo muy húmedo Subalpino Tropical	Papa (100 %)	1,00	12,00	12,00
Tingo María (agrícola)	2	+50	647	bosque húmedo Tropical	Plátano (100 %)	19,90	30,20	284,20
Molinos (agrícola)	2	+20	2361	bosque muy húmedo Montano Bajo Tropical	Papa (50 %); maíz (25 %); haba (25 %)	9,00	18,00	13,00
Huanushca (agrícola)	2	+20	3800	bosque seco Montano Bajo Tropical	Papa (100 %)	6,50	13,00	10,00
Yanahuanca (prístino)	2	0	3184	bosque húmedo Montano Tropical	---	14,00	21,50	13,00
Pariamarca (prístino)	2	0	4348	páramo muy húmedo Subalpino Tropical	---	1,00	12,00	12,00
Huanushca (prístino)	2	0	3800	bosque seco Montano Bajo Tropical	---	6,50	13,00	10,00

*CIFO: Centro de Investigación Frutícola Olerícola de la UNHEVAL, Huánuco

Fuente: Elaborado por autores con datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

Resultados

Distribución de la MOT en el estrato superficial del suelo

La concentración de MOT tuvo un patrón distinto para suelos agrícolas y prístinos (Figura 2a). En el estrato de 0 – 10 cm de profundidad, ambos grupos de suelos presentaron similares niveles de MOT, mientras que en el estrato de 10 – 20 cm, los suelos agrícolas tuvieron un 17 % más MOT que los prístinos (Figura 2a, Tabla 2).

La estimación estratificada de la MOT siguiendo el método descrito por Franzluebbers (2002) pudo distinguir mejor la distribución de la MOT de ambos grupos de suelos (agrícolas y prístinos) (Figura 2b). Los suelos prístinos tuvieron mayor estratificación de MOT, mayor concentración en superficie (0-10 cm) que en la capa de 10-20 cm.

Los niveles de MOT fueron diferentes en todos los sitios (Tabla 2). En el estrato superficial (0-10 cm) el manejo no afectó a la MOT, mientras que en la capa de 10-20

cm, los suelos agrícolas tuvieron más MOT que los prístinos. En general, en el perfil de 0-20 cm, Huanushca, Chaglla y Pariamarca presentaron contenidos de MOT mayores a

4 %, mientras que en Tingo María y CIFO-Huánuco con cultivos olerícolas y frutícolas la MOT fue inferior a 2 %.

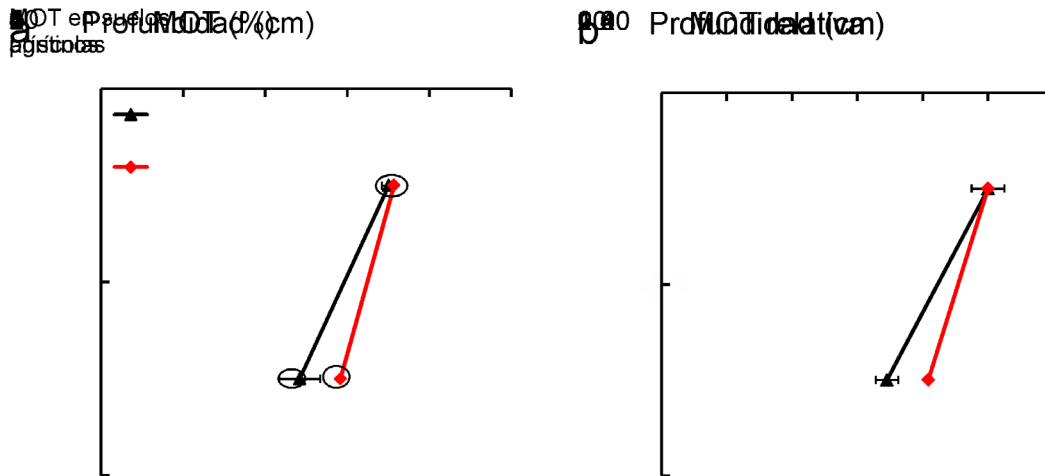


Figura 2: (a) Concentración de materia orgánica total en los estratos de 0-10 y 10-20 cm, (b) Distribución de la concentración de MO en el perfil de 0 a 20 cm del suelo. Las barras son el error estándar. Los cambios de letra indican diferencia entre estratos de profundidad para un mismo manejo (agrícola o prístino), Los círculos encierran a los valores estadísticamente iguales dentro de un mismo estrato a un nivel de $p < 0,05$.

Fuente: Elaborado por autores

Tabla 2. ANOVA y prueba LSD de la concentración de MOT (%) del efecto de sitio, manejo y su interacción en los suelos estudiados*.

Manejo	Sitios	Profundidad (cm)		
		0-10	10-20	0-20
Agrícola	CIFO-Huánuco (frutícola)	2,18 ^h	1,58 ^g	1,88 ^f
	CIFO-Huánuco (olerícola)	1,49 ⁱ	1,52 ^h	1,51 ^f
	Yanahuanca	4,09 ^d	2,34 ^e	3,22 ^d
	Chaglla	5,80 ^a	5,07 ^b	5,44 ^a
	Carpish	3,96 ^e	3,47 ^d	3,72 ^c
	Pariamarca	4,62 ^c	3,62 ^c	4,12 ^b
	Tingo María	1,50 ⁱ	1,08 ⁱ	1,29 ^{fg}

Manejo	Sitios	Profundidad (cm)		
		0-10	10-20	0-20
	Molinos	2,87 ^f	2,31 ^f	2,59 ^e
	Huanushca	5,60 ^b	5,25 ^a	5,42 ^a
Prístino	Yanahuanca	2,43 ^g	1,44 ^c	1,94 ^b
	Pariamarca	5,92 ^a	3,95 ^a	4,94 ^a
	Huanushca	2,16 ^h	1,87 ^b	2,02 ^b
ANOVA				
	Fuente de variación			p-valor
	Sitio (p-valor)	<0,01	<0,01	<0,01
	Manejo (p-valor)	0,27	<0,01	<0,01
	CV (%)	1,56	0,13	4,75

* Las letras diferentes (columna) son diferencias significativas entre sitios dentro de cada estrato y manejo a un nivel de $p < 0,05$.

Fuente: Elaborado por autores

Distribución del Nan en el estrato superficial del suelo

Los suelos de este estudio presentaron un amplio rango de concentración de Nan, hubo diferencias significativas entre suelos agrícolas y prístinos. En ambos estratos (0-10 y 10-20 cm) los suelos agrícolas tenían un 52 % más Nan que los prístinos (Figura 3a).

Ambos grupos de suelos (agrícolas y prístinos) presentaron igual estratificación (Figura 3b). La dinámica del N en el suelo está muy relacionada a la MOS (Vega-Jara et al., 2020), por lo que su distribución en el perfil sigue el patrón de la MO.

En todos los sitios se vio una amplia variación del Nan en el estrato de 0-20 cm, con valores entre 10,76 y 55,90 mg kg⁻¹ (Tabla 3).

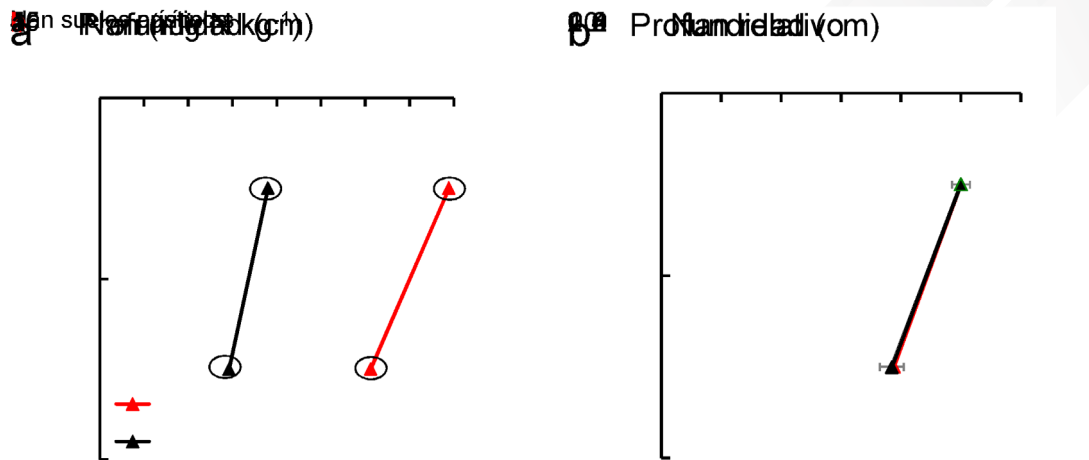


Figura 3. (a) Concentración de Nan en los estratos de 0-10 y 10-20 cm, (b) Distribución de la concentración del Nan en el perfil de 0 a 20 cm del suelo. Las barras son el error estándar. Los cambios de letra indican diferencia entre estratos de profundidad para un mismo manejo (agrícola o prístino), Los círculos encierran a los valores estadísticamente iguales dentro de un mismo estrato a un nivel de $p < 0,05$.

Fuente: Elaborado por autores

Tabla 3: ANOVA y prueba LSD de la concentración de Nan (ppm) del efecto de sitio, manejo y su interacción en los suelos estudiados*

Manejo	Sitios	Profundidad (cm)		
		0-10	10-20	0-20
Agrícola	CIFO-Huánuco (frutícola)	26,68 ^f	23,47 ^e	25,08 ^c
	CIFO-Huánuco (olerícola)	25,92 ^f	24,83 ^e	25,38 ^c
	Yanahuanca	57,26 ^c	22,15 ^{ef}	39,71 ^b
	Chaglla	60,98 ^b	49,93 ^a	55,50 ^a
	Carpish	43,98 ^d	37,83 ^c	40,88 ^b
	Pariamarca	12,69 ^h	21,33 ^f	17,01 ^c
	Tingo María	40,61 ^e	31,87 ^d	36,23 ^b
	Molinos	66,65 ^a	45,10 ^b	55,90 ^a
	Huanushca	20,12 ^g	18,90 ^g	19,51 ^c
Prístino	Yanahuanca	27,63 ^a	12,40 ^d	20,02 ^a
	Pariamarca	17,83 ^c	21,42 ^b	19,63 ^a
	Huanushca	11,51 ^e	10,00 ^f	10,76 ^b

ANOVA			
Fuente de variación	p-valor		
Sitio (p-valor)	<0,01	<0,01	<0,01
Manejo (p-valor)	<0,01	<0,01	0,01
CV (%)	26,66	0,28	11,96

* Las letras diferentes (columna) corresponden a diferencias significativas entre sitios dentro de cada estrato y manejo a un nivel de $p < 0,05$.

Fuente: Elaborado por autores

Estimación del nitrógeno potencialmente mineralizable

Se identificaron tres grupos de sitios (grupos A, B y C) estadísticamente diferentes ($p\text{-valor} < 0,01$, Figura 4) cuando se realizó el análisis de clúster del potencial

de mineralización de N. Los suelos del grupo A presentaron bajos porcentajes de mineralización de N. Por el contrario, los del grupo B tuvieron alto potencial para mineralizar N, mientras que los suelos del grupo C presentaron una situación intermedia.

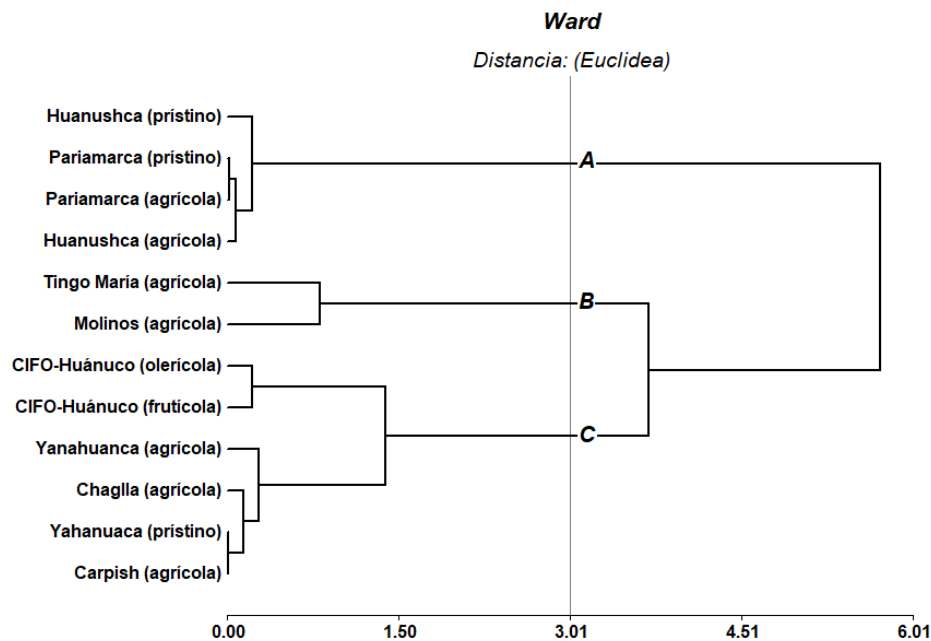


Figura 4. Dendrograma de similaridad de los sitios en base a los porcentajes de mineralización de N evaluados mediante distancia de Ward.

Fuente: Elaborado por autores

Tabla 4. Indicadores de mineralización de N** por cada sitio y agrupados según el análisis de clúster.

Grupo	Sitio	N	Media	DS	%		CV
					mínimo	máximo	
A	Pariamarca (agrícola)	2	0,92	0,30	0,71	1,13	2,14
	Pariamarca (prístino)	2	0,88	0,13	0,79	0,98	2,98
	Huanushca (agrícola)	2	0,80	0,02	0,79	0,81	32,74
	Huanushca (prístino)	2	1,15	0,03	1,12	1,17	15,00
B	Tingo María (agrícola)	2	6,24	0,90	4,01	6,88	14,44
	Molinos (agrícola)	2	4,86	1,21	5,60	5,71	24,85
C	Carpish (agrícola)	2	2,44	0,21	2,29	2,59	8,74
	Chaglla (agrícola)	2	2,27	0,12	2,17	2,35	5,70
	CIFO-Huánuco (frutícola)	2	2,99	0,53	2,61	3,37	17,83
	CIFO-Huánuco (olerícola)	2	3,53	0,01	3,52	3,54	0,49
	Yanahuanca (agrícola)	2	2,74	0,10	2,67	2,81	3,70
	Yanahuanca (prístino)	2	2,29	0,29	2,09	2,50	12,67

n=número de suelos estudiados, DS=desviación estándar; CV=coeficiente de variación

** Diferencias significativas al 0,01 de nivel de significación

Fuente: Elaborado por autores

Se determinó una relación positiva entre el Nan y N total, sin importar el tipo de manejo agrícola o prístino. Sin embargo, los grupos que resultaron del análisis de clústeres (ver Figura 3) presentaron porcentajes distintos de mineralización de N entre sí, pero similares

dentro de cada grupo clúster (Figura 5). Los suelos del grupo A tuvieron como porcentaje de mineralización de N un 0,9 %, los del grupo B (Tingo María y Molinos) un 5 %, mientras que los del grupo C 2,5 % de pendiente en la relación Nan: Ntotal estimado (Figura 5).

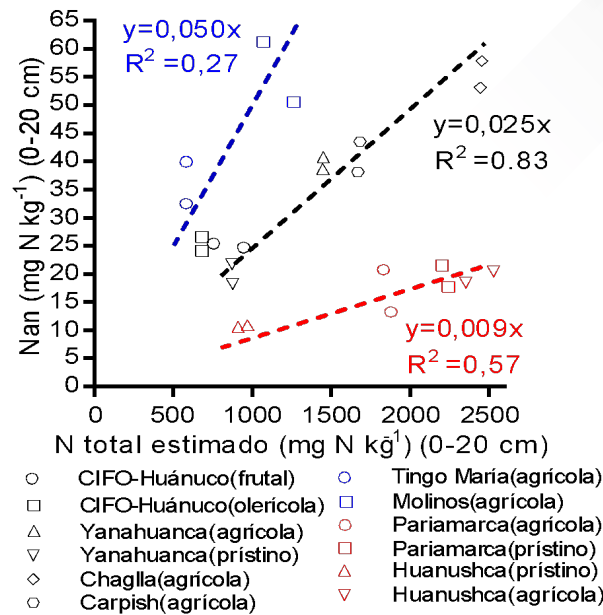


Figura 5. Relación entre la concentración de Nan y N total estimado. La línea roja punteada corresponde a la regresión obtenida para el grupo A que incluye a los sitios Pariamarca (agrícola y prístino), Huanushca (agrícola y prístino). La línea azul punteada corresponde al grupo B, que incluye a Molinos y Tingo María (agrícola). La línea negra punteada corresponde al grupo C, que incluye a CIFO-Huánuco (frutal y olerícola), Yanahuanca (agrícola y prístino), Chaglla (agrícola), Carpish (agrícola).

Fuente: Elaborado por autores

Relación del porcentaje de mineralización de N y las variables climáticas

El porcentaje de mineralización de N en el suelo estuvo relacionado de forma positiva

con la temperatura mínima (Figura 6a), con la temperatura máxima (Figura 6b) y con la precipitación en todos los sitios estudiados (Figura 6c).

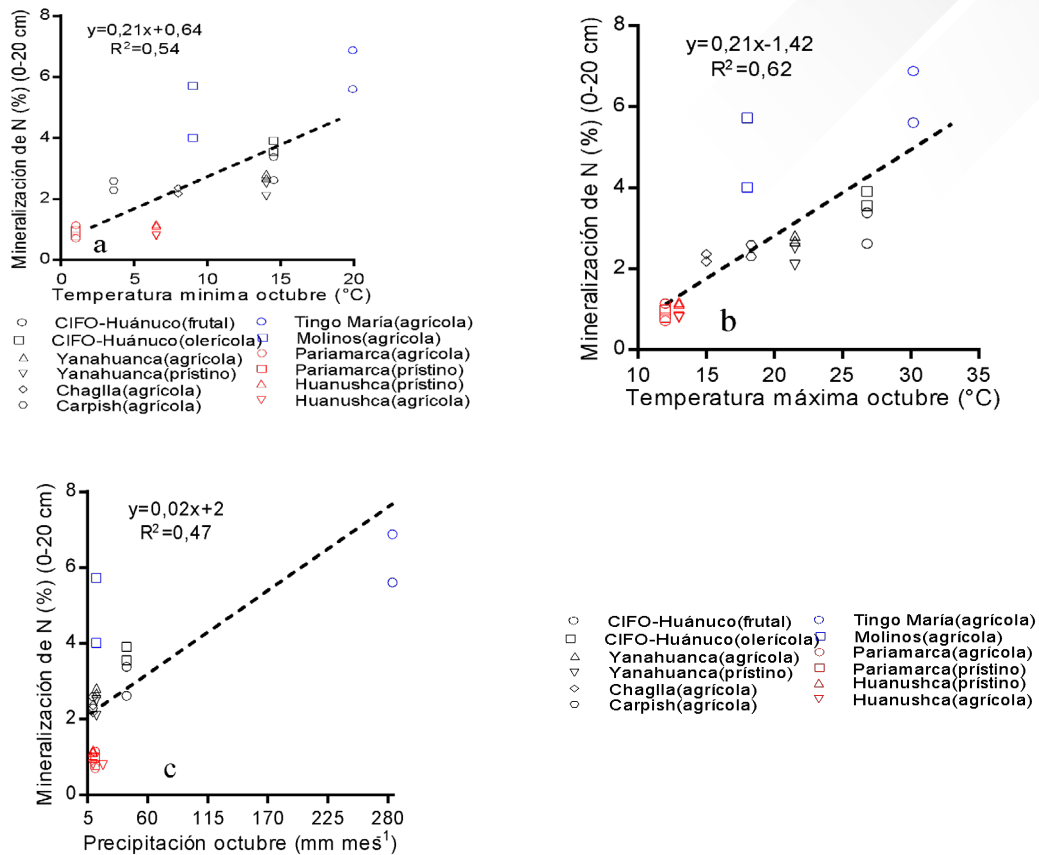


Figura 6. Relación entre el porcentaje de mineralización y, la temperatura mínima (a), la temperatura máxima (b), la precipitación (c) del mes de la toma de muestra (octubre, 2018).

Fuente: Elaborado por autores.

Discusión

Los suelos agrícolas presentaron más MOT que los prístinos en el estrato de 0 a 20 cm de profundidad. Contrariamente, Sainz Rozas, Echeverría & Angelini (2011) informaron valores promedios de MO en la capa arable de 5,5 % y 8,8 % para suelos agrícolas y prístinos respectivamente. Los resultados de este estudio pueden atribuirse a la redistribución de los residuos de cada cosecha de los cultivos antecesores en el perfil, por las continuas

labranzas, más el aporte de las raíces de estos cultivos. La fertilización continua al reponer los nutrientes incrementa los rendimientos, genera mayor biomasa vegetal (i. e. rastrojos), aumentando el contenido de C y nutrientes en el suelo (Shahid et al., 2017). Zhu et al. (2015) también informaron que en sitios con cultivos fertilizados, hay mayor secuestro de C orgánico que provienen de raíces muertas. Cazorla et al. (2017) también vieron que agrosistemas continuos donde hay aporte de residuos de

cosecha, se hace posible el aumento de la MOT. Existe información documentada que los rastrojos son importante fuente de C en el suelo (Beltran et al., 2016), ya que el balance del C orgánico del suelo es el resultado del nivel de oxidación de la MOT con el laboreo, lo que también depende de la cantidad, calidad y forma de retorno de los residuos al suelo (Cazorla et al., 2017). En el caso de los suelos prístinos, los residuos de malezas se habrían incorporado más en superficie y por falta de remoción, se estableció mayor acumulación de MOT en la capa superficial (i. e. 0-10 cm). Beltran et al. (2016), Cazorla et al. (2017) y García-González et al. (2018) también informaron que, en sistemas de cultivo con escasa remoción del suelo, el C orgánico se incrementa principalmente en los primeros 5 a 10 cm. No obstante, a pesar de estar en suelos prístinos, el aporte de residuos provenientes de la vegetación silvestre habría sido menor que en el caso de los suelos agrícolas, conduciendo a las bajas concentraciones de MOT. Los suelos prístinos evaluados en este estudio tuvieron pequeños arbustos silvestres y malezas con poca biomasa aérea y radical. Dado que este es un estudio observacional, futuros estudios experimentales deberían corroborar que el aporte de C a los suelos es mayor bajo agricultura. En este estudio, los suelos prístinos tuvieron mayor estratificación de MOT. Franzluebbers (2002) usando la misma metodología observó mayor estratificación del CO en suelos bajo siembra directa, efecto que no logró distinguir usando las concentraciones absolutas de CO en lugar de este criterio de estratificación. La falta de remoción de los suelos prístinos habría permitido que la MOT se concentre más

en superficie, mientras que, en suelos agrícolas, las labranzas habrían disminuido la estratificación de MOT.

Los diferentes niveles de MOT en los suelos de Huánuco, son atribuibles a la heterogeneidad de las características de los mismos, cultivos y manejos distintos en cada sitio. El tipo y grado de labranza en cada parcela afecta de manera diferencial a la MOT. Labranzas poco agresivas (e. g. siembra directa) mantienen el C en el suelo. Los suelos estudiados tenían antecedentes de labranza con tracción animal (arado de madera) en algunos casos y con tracción mecánica (arado de reja) en el caso del CIFO-Huánuco.

Los suelos agrícolas son superiores en contenido de N a los prístinos. Estos resultados sugieren que el potencial de mineralización de N, además del nivel de MOT, depende del manejo. Según Fabrizio, Morón & García (2003) y Zapata-Hernández et al. (2020) el tamaño de la fracción lábil de MO y tipo de labranza condicionan la mineralización del N. La comunidad microbiana cumple el papel de mineralizar N en el suelo, su actividad, biomasa y estructura pueden verse afectadas por el manejo agrícola (Longa et al., 2017), afectando así a la disponibilidad de nutrientes y la producción de los cultivos. En sistemas con escasa remoción del suelo (i. e. suelos prístinos) la actividad microbiana habría sido menor debido a la baja temperatura (Domínguez et al., 2001). Por otro lado, suelos agrícolas con labranzas continuas pueden oxigenar el suelo mejorando las condiciones para los microorganismos que hacen el papel de mineralizar (Stevenson & Cole, 1999) dejando libre más nutrientes potencialmente

mineralizables como el $N-NH_4^+$ (i. e. Nan). Debido a que el Nan es un buen predictor del potencial de mineralizar N de los suelos, se ha hecho común su uso en los diagnósticos y cálculos de dosis de N para los cultivos (Reussi Calvo et al., 2018).

Ambos grupos de suelos presentaron más Nan en superficie que en profundidad. Fabrizio et al. (2003) demostraron que el C de la fracción lábil está estrechamente relacionado con el Nan, lo cual explicaría el descenso del Nan con la profundidad. En este estudio, se vio que la concentración de Nan fue ampliamente variable en los suelos de la región, atribuible a las distintas concentraciones y labilidad de MOT, historias agrícolas, manejo y diferentes características climáticas de los sitios (Reussi Calvo et al., 2018). En climas más cálidos y húmedos la mineralización de N es mayor (Álvarez & Steinbach, 2011). Este es el primer reporte de Nan en suelos de la región Huánuco. Sin embargo, en otras regiones como la provincia de Buenos Aires, Argentina han reportado valores de Nan entre 12 y 260 $mg\ kg^{-1}$ (Reussi Calvo et al., 2014). En otro partido de la misma provincia, Martínez et al. (2018b) obtuvieron valores promedios de Nan entre 54,2 y 76,3 $mg\ kg^{-1}$ en el estrato de 0-5 cm en suelos con labranza convencional y siembra directa respectivamente. Ellos también vieron que el Nan disminuyó en las capas más profundas (5-10 y 10-20 cm), en estos estratos el sistema de labranza no tuvo efecto sobre el Nan. En otro experimento de largo plazo en Estados Unidos, Shafiri & Zebarth (2008) reportaron valores de Nan en el rango de 129 y 225 $kg\ ha^{-1}$, vieron que la mineralización de N es afectada principalmente por el manejo del

suelo. En este estudio, los valores de Nan fueron más bajos a los reportados en otras regiones posiblemente debido a las bajas concentraciones de MOT y a las amplias variaciones climáticas y características del suelo. Sin embargo, concordamos con otros autores que el Nan es sensible al manejo agrícola (Martínez et al., 2018a). Por lo cual, es importante conocer los factores que afectan la mineralización del N proveniente de la MOS (Martínez et al., 2018a).

Las condiciones de los sitios fueron las fuentes de variabilidad del potencial de mineralización N del suelo en lugar del manejo, puesto que los grupos se establecieron por sitios, independientemente de ser agrícolas o prístinos (Figura 4). Según se muestra en la Tabla 4, los suelos del grupo A, son de climas secos y temperaturas bajas, tenían los porcentajes más bajos de mineralización de N, en el rango de 0,71 % – 1,17 %. Los mayores valores de mineralización de N correspondieron a los suelos del grupo B (Tingo María y Molinos), pese a tener bajos niveles de materia orgánica (Tabla 2), puede atribuirse a sus climas cálidos y húmedos que favorecen la mineralización de N (Senamhi, 2019; Reussi Calvo et al., 2018). Los suelos del grupo C tienen condiciones meteorológicas intermedias y pese a tener altos contenidos de MOT, tuvieron relativamente bajo potencial de mineralizar N (2,09 %–3,54 %).

Los suelos agrícolas y prístinos de Pariamarca y Huanushca (Grupo A) presentaron una pendiente que indica que el 0,9 % del N total estimado es Nan. Esta tasa, que resultó la menor de los 3 clusters, podría ser atribuible a las bajas temperaturas y precipitaciones en estos sitios. En

Pariamarca, las temperaturas fluctúan entre 1°C y 12°C y la precipitación de 12 mm mes⁻¹, condiciones similares a Huanushca (Senamhi, 2019). En condiciones de climas fríos y baja humedad el proceso de mineralización es más lento, porque la actividad microbiana de los suelos disminuye (Álvarez & Steinbach, 2011). Los suelos del Grupo B (Tingo María y Molinos) tuvieron la más alta pendiente en la relación $N_{an}:N_{total}$. En estos sitios, el 5 % del N_{total} estimado fue N_{an} , atribuible a las condiciones climáticas en estos sitios, principalmente las altas temperaturas y precipitaciones. La temperatura máxima promedio durante el mes del muestreo (octubre) fue de 30,2°C y 18°C en Tingo María y Molinos respectivamente, las precipitaciones también fueron altas (Tabla 1). La mineralización de la MOS es más rápida con altas precipitaciones y bajo contenido de arcillas en el suelo (Reussi Calvo et al., 2018), debido a la facilidad de ataque de microorganismos mineralizadores. El tercer grupo de suelos (Grupo C) (CIFO-Huánuco con cultivos olerícolas y frutícolas, suelos agrícolas y prístinos de Yanahuanca, suelos agrícolas de Chaglla y Carpish) presentaron un valor promedio de 2,5 % de pendiente en la relación $N_{an}:N_{total}$ estimado (Figura 5). En estos sitios, las condiciones climáticas son intermedias entre A y B. El N_{an} ha demostrado ser un estimador de la mineralización de la MOS ya que el 98 % del N_{total} en el suelo es orgánico (Reussi Calvo et al., 2014; Orcellet et al., 2017). Por lo tanto, el uso de promedios de la relación $N_{an}:N_{total}$ sería un buen estimador de la capacidad de mineralizar N de un suelo. Los resultados de este estudio sugieren que la mineralización del N, además de los niveles de MO en los suelos,

depende de las condiciones ambientales que favorezcan a la actividad de la biomasa edáfica, principalmente temperatura y precipitación. Por lo tanto, no se puede predecir la capacidad de mineralizar N de un suelo solo a partir de las determinaciones de MOT y N total. Cambios en MOT no implican cambios en el potencial de mineralización de N (Shafiri et al., 2007), ya que cada suelo es distinto en características, calidad y labilidad de MO sumado a sus diferencias climáticas. Estos resultados son una primera aproximación del potencial de proveer N de los suelos de la región Huánuco, ya que en la actualidad se desconoce la existencia de estudios de esta naturaleza. Por lo tanto, esta información podría ser utilizada como orientativa en la elaboración de diagnósticos de fertilidad en la región, cuando no se dispone de información a escala de parcela (Reussi Calvo et al., 2014).

La mineralización de N de los suelos aumentó con la temperatura y la precipitación. Hace más de 70 años, Jenny (1941) informó que la mineralización del N disminuye es bajo en climas fríos con bajas precipitaciones. Los resultados de este estudio también indican que a mayor temperatura y precipitación existe mayor mineralización de N, atribuible a su efecto sobre los microorganismos del suelo concordando con Reussi Calvo et al. (2018). El proceso de mineralización de N tiene dos etapas, el primero es la amonificación, donde el N orgánico es transformado a $N-NH_4$ y es realizado por microorganismos heterótrofos (bacterias, hongos y actinomicetes) (Longa et al., 2017). Dado que el N_{an} es un indicador indirecto de la actividad biológica del suelo, los factores que afectan a los microorganismos

también afectan a la mineralización de N. La composición de la materia orgánica, condiciones ambientales y características del suelo son los principales factores que afectan la mineralización de N (Zapata-Hernández et al., 2020). Si bien, se vieron diferencias en la capacidad de proveer N en los suelos (Tabla 4), el manejo no afectó a la relación entre el porcentaje de mineralización de N y los factores climáticos (Figura 6). En este trabajo se tomaron los datos de temperatura y precipitación del mes de octubre, momento de la toma de muestras, esto sugiere que la mineralización de N puede asociarse al estado del tiempo registrado en el momento del muestreo, a lo cual Hein (1980) llamó efecto memoria de la muestra.

Conclusiones

Los suelos de la región Huánuco presentaron distinto potencial para mineralizar N, dependiendo de la temperatura y precipitación de los sitios. El 0,9 % del N total estimado fue N potencialmente mineralizable en sitios fríos, con bajas lluvias (grupo A); en suelos con climas cálidos y lluviosos (grupo B), el porcentaje de mineralización de N fue 5 % y, 2,5 % en suelos con condiciones meteorológicas intermedias (grupo C). Si bien estos valores no presentan grandes diferencias con el 3 % utilizado actualmente, estos resultados permiten lograr un desglosamiento del N potencialmente mineralizable según las condiciones del sitio. Los suelos agrícolas presentaron más MOT en el perfil de 0-20 cm, atribuible al aporte de rastrojos y raíces muertas y, su redistribución con los laboreos; mientras que los suelos

prístinos tuvieron menos MOT, pero más estratificada. El aumento de la actividad de los mineralizadores con el laboreo en suelos agrícolas, habría permitido que contengan más N. Futuras investigaciones deberían estudiar la capacidad para mineralizar N de suelos de la región, considerando la calidad de MOS, pH y textura porque la protección física de texturas finas podría disminuir la actividad de los mineralizadores y éstos también dependen del pH. Los resultados de este estudio podrían utilizarse para mejorar las estimaciones del aporte de N de los suelos y calcular mejor la dosis de N a fertilizar, favoreciendo un manejo más eficiente y sustentable del N en sistemas agropecuarios.

Referencias

- Álvarez, R. & Steinbach, H. S. (2011). Modeling Apparent Nitrogen Mineralization under Field Conditions Using Regressions and Artificial Neural Networks. *Agronomy Journal*, 103,1159-1168. Online:doi.org/10.2134/agronj2010.0254
- Asado, A.M. (2012). El suelo, soporte de vida. 1ra ed. Huánuco, Perú. Editorial Universitaria. 419 pp.
- Baethgen, W. & Alley, M. (1989). A manual colorimetric procedure for measuring ammonium nitrogen in soil and plant Kjeldahl digests. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 20,961-969. Online: doi.org/10.1080/00103628909368129
- Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., Casanoves, F., Di Rienzo, J. A. &

- Robledo, C. W. (2008). Infostat: Manual del Usuario. Córdoba. Editorial Brujas. Online: <https://bit.ly/3hw5uit>
- Beltran, M.J., Brutti, L.; Romianuk, R. & Bacigaluppo; S. (2016). Calidad de la materia orgánica y disponibilidad de macro y micronutrientes por la inclusión de trigo como cultivo de cobertura. *Ciencia del suelo* 34(1), 67-79. Online: <https://bit.ly/3b0kKSq>
- Cazorla, C.R., Cisneros, J.M., Moreno, I.S. & Galarza, C. M. (2017). Mejora en el carbono del suelo y estabilidad de agregados por fertilización y cultivos de cobertura. *Ciencia del suelo* 35(2), 301-313. Online: <https://bit.ly/3gthTT3>
- Correa, O. S. (2016). La fertilización y las comunidades microbianas indígenas de los suelos. En: AACCS (ed.). Sustentabilidad de agrosistemas y el uso de fertilizantes. Vol.1. 1era edn Pp. 141-167.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzales, L., Tablada, M. & Robledo, C. W. (2018). InfoStat 2018. Córdoba, Argentina: Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Page online: <https://bit.ly/3lltK9p>
- Domínguez, G. F., Studdert, G. A., Echeverría, H. E. & Andrade, F. H. (2001). Sistemas de cultivo y nutrición nitrogenada en maíz. *Ciencia del Suelo* 19(1), 47-56. Online: <https://bit.ly/2Yzudv6>
- Fabrizzi, K. P., Morón, A. & García, F.O. (2003). Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. nondegraded Mollisols in Argentina. *Soil Science Society of America Journal* 67(6), 1831-1841. Online: doi:10.2136/sssaj2003.1831
- Franzluebbers, A. J. (2002). Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil & Tillage Research* 66, 95-106. Online: doi:10.1016/S0167-1987(02)00018-1
- García-Gonzalez, I., Chiquinquirá, H., Gabriel, J.L., Alonso-Ayuso, M. & Quemada, M. (2018). Cover crops to mitigate soil degradation and enhance soil functionality in irrigated land. *Geoderma* 322, 81-88. Online: doi:10.1016/j.geoderma.2018.02.024
- Hein, W. H. (1980). Capacidad potencial de mineralización del nitrógeno en suelos con distintos cultivos y pasturas. 1ra edición. Editorial INTA E.E.R.A, Rafaela, Argentina, 25 pp. <https://inta.gob.ar/documentos/ensayos-de-larga-duracion-en-argentina-un-aporte-al-logro-de-sistemas-agricolas-sustentables>. Online: <https://bit.ly/34DNGOS>
- Jenny, H. (1941). Factors of soil formation. McGraw-Hill. New York, Estados Unidos. 281 p. Online: doi:10.2307/211491
- Keeney, D. R. & Bremner, J. M. (1966). Comparison and evaluation of laboratory methods of obtaining an index of soil nitrogen availability. *Agronomy Journal*. 58,498-503.

- Online: doi.org/10.2134/agronj1966.00021962005800050013x
- Lassaletta, L., Billen, G., Romero, E., Garnier, J. & Aguilera, E. (2014). How changes in diet and trade patterns have shaped the N cycle at the national scale: Spain (1961-2009). *Regional Environmental Change*. 14,785-797. Online: doi:10.1007/s10113-013-0536-1
- Liang, X., Yuan, J., Yang, E. & Meng, J. (2017). Responses of soil organic carbon decomposition and microbial community to the addition of plant residues with different C:N ratio. *European Journal of Soil Biology*. 82, 50-55. Online: doi:10.1016/j.ejsobi.2017.08.005
- Longa, C. M. O., Nicola, L., Antonielli, E., Zanzotti, R., Turco, E. & Pertot, I. (2017). Soil microbiotas respond to green manure in organic vineyards. *Journal Applied Microbiology* 123,1547-1560. Online: doi:10.1111/jam.13606
- Martínez, J. M., Duval, M., Galantini, J. A. (2018a). ¿Es el nitrógeno anaeróbico un indicador preciso para calcular la mineralización de los suelos del sudeste bonaerense? *Universidad Nacional del Sur; Agro UNS*; 29(7),13-15. Online: https://bit.ly/2YzAoPu
- Martínez, J. M.; Duval, M. E.; López, F. & Galantini, J. A. (2018b). Efectos de largo plazo de los sistemas de labranza en el sudoeste bonaerense: Efectos sobre la fracción mineralizable. En: Siembra directa en el SO Bonaerense. Ed. J.A. Galantini. Bahía Blanca, Argentina. Pp 46-51. Online: doi:10.13140/RG.2.2.23820.77449
- Nelson, D. W. & Sommers, L. E. (1982). Total carbon, organic carbon and organic matter. In A. L. Page, R. H. Miller, & D. R. Keeney (Eds.), *Methods of soil analysis (Part 2, 2nd ed., Agronomy Monograph 9, pp. 534-580)*. Madison, WI: ASA and SSSA.
- Orcellet, J., Reussi Calvo, N., Sainz Rozas, H. R., Wyngaard, N. & Echeverría, H. E. (2017). Anaerobically incubated nitrogen improved nitrogen diagnosis in corn. *Agronomy Journal*, 109, 291-298. Online: doi:10.2134/agronj2016.02.0115
- Quiroga, R. A. & Studdert, G. A. (2015). Manejo del suelo e intensificación agrícola: agua y materia orgánica, dos aspectos clave. En: Echeverría, HE & FO García (eds). *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos*. 2da Edición. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina. pp.73-100. Online: https://bit.ly/2EySZ7t
- Reussi Calvo, N.I., Wyngaard, N., Orcellet, J. M., Sainz-Rozas, H. R. & Echeverría, H. E. (2018). Predicting field apparent nitrogen mineralization from anaerobically incubated nitrogen. *Soil Science Society of America Journal*. 82,502-508. Online: doi.org/10.2136/sssaj2017.11.0395
- Reussi Calvo, N. I., Studdert, G. A., Calandroni, M. B., Diovisalvi, N.V. & Cabria, F. N. (2014). Nitrógeno incubado en anaerobiosis y carbono orgánico en

- suelos agrícolas de Buenos Aires. *Ciencia del Suelo* 32(2), 189-196. Online: <https://bit.ly/31tvRQw>
- Reussi Calvo, N. I., Sainz-Rozas, H. R., Echeverría, H. E. & Berardo, A. (2013). Contribution of anaerobically incubated nitrogen to the diagnosis of nitrogen status in spring wheat. *Agronomy Journal* 105(1), 1-8. Online: doi:10.2134/agronj2012.0287
- Sainz-Rozas, H., Echeverría, H. R. & Angelini, H. (2011). Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana argentina. *Ciencia del Suelo* 29, 29-37. Online: <https://bit.ly/3aZrCzm>
- Senamhi. (2019). Mapa-estaciones. Page online: <https://bit.ly/3jlfIHn>
- Shahid, M., Nayak, A. K., Puree, C., Tripathi, R., Lal, B., Gautam, P., Bhattacharyya, P., Mohanty, S., Kumar, A., Panda, B. B., Kumar, U. & Shukla, A. K. (2017). Carbon and nitrogen fractions and stocks under 41 years of chemical and organic fertilization in a subhumid tropical rice soil. *Soil and Tillage Research*, 170, 136-146.
- Sharifi, M., Zebarth, B. J., Burton, D. L. & Cooper, J. et al. (2007). Evaluation of some indices of potentially mineralizable nitrogen in soil. *Soil Science Society of America Journal*. 71, 1233-1239. Online: doi:10.2136/sssaj2006.0265
- Sharifi, B. & Zebarth, J. (2008). Response of potentially mineralizable soil Nitrogen and Indices of Nitrogen Available to tillage system. *Soil Science Society of America Journal*. 72, 1124-1131. Online: doi.org/10.2136/sssaj2007.0243
- Soon, Y.K., Haq, A. & Arshad, M. A. (2007). Sensitivity of nitrogen mineralization indicators to crop and soil management. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 38, 2029-2043. Online: doi.org/10.1080/00103620701548688
- Stevenson, F.J. & Cole, M. A. (1999). Cycles of soil. Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. 2nd edition. John Wiley & Sons, Inc. USA. 427 p.
- Vega-Jara, L., Gutierrez Boem, F., Garcia, F. & Rubio, G. (2020). Long-term fertilization does not affect soil carbon/nitrogen/sulfur ratios or the proportion between labile and nonlabile fractions in Mollisols. *Soil Science Society of America Journal*. 1-13. Online: doi.org/10.1002/saj2.20058
- Zapata-Hernández, I., Zamora-Natera, J. F., Trujillo-Tapia, M. N. & Ramirez-Fuentes, E. (2020). ¿La incorporación de residuos de diferentes especies de Lupinus, como abono verde, afecta la actividad microbiana del suelo? *Terra Latinoamericana* 38, 45-56. Online: doi.org/10.28940/terra.v38i1.501.
- Zhu, L., Li, J., Tao, B. & Hu, N. (2015). Effect of different fertilization modes on soil organic carbon sequestration in paddy fields in South China: A meta-analysis. *Ecological Indicators* 53, 144-153.