



Potencial de mineralización de Nitrógeno de suelos de Huánuco, Perú

Potential of mineralization of Nitrogen from soils of Huanuco, Peru

Liliana Vega-Jara^{1,*}; Adrin Jensen Abad Castro¹; Russ Elvis Herrera Veramendi¹

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Av. Esteban Pabletich N° 172 Pillco Marca, Huánuco, Perú.

*Autor corresponsal: lvega@unheval.edu.pe (L. Vega-Jara).

ID ORCID de los autores

L. Vega-Jara:  <http://orcid.org/0000-0002-9692-0105>

R. E. Herrera Veramendi:  <http://orcid.org/0000-0001-8463-5617>

RESUMEN

El objetivo fue relacionar el contenido de N total y Nan (Nitrógeno potencialmente mineralizable) a escala de la provincia de Huánuco para determinar la capacidad de mineralizar N de los suelos. Se seleccionaron 31 sitios ubicados en los tres distritos de Huánuco, un suelo agrícola y un suelo prístino en cada sitio. Se tomaron muestras de suelo del estrato de 0-20 cm de profundidad, se secaron y tamizaron a 2 mm de diámetro. Se midió la MOT (materia orgánica total) siguiendo el método descrito por Walkley y Black, con el cual se estimó el N total, se determinó la concentración de Nan después de una incubación anaeróbica y medición colorimétrica. Los resultados permitieron distinguir dos grupos de suelos, agrupados por sitios independientemente del manejo (agrícola o prístino). El grupo A estuvo conformado por suelos con características climáticas más frías y con bajas precipitaciones, donde el promedio de porcentaje de mineralización de N fue de 1,16%. Los suelos del grupo B, con climas relativamente más cálidos y más húmedos presentaron en promedio de 3,16% como porcentaje de mineralización de N. En general, se vieron que suelos más arenosos tenían mayor capacidad para liberar más Nan.

Palabras clave: Nitrógeno Potencialmente Mineralizable (Nan); materia orgánica del suelo; características climáticas de distritos de Huánuco.

ABSTRACT

The goal was to relate the content of total N and Nan (potentially mineralizable Nitrogen) at the scale of the Huánuco province to determine the capacity to mineralize N of the soils. 31 sites located in the three districts of Huánuco were selected, an agricultural soil and a pristine soil in each site. Soil samples were taken from the stratum 0-20 cm deep, dried and sieved to 2 mm in diameter. MOT (total organic matter) was measured following the method described by Walkley and Black, with which total N was estimated, Nan concentration was determined after anaerobic incubation and colorimetric measurement. The results allowed to distinguish two groups of soils, grouped by sites regardless of management (agricultural or pristine). Group A was made up of soils with colder climatic characteristics and low rainfall, where the average percentage of N mineralization was 1.16%. Group B soils, with relatively warmer and more humid climates, presented an average of 3.16% as a percentage of mineralization of N. In general, it was seen that more sandy soils had a greater capacity to release more Nan.

Keywords: Potentially Mineralizable Nitrogen (Nan); soil organic matter; climatic characteristics of districts of Huánuco.

Recibido: 03-02-2021.
Aceptado: 23-05-2021.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

INTRODUCCIÓN

Razones económicas y ambientales obligan el uso racional del N en la agricultura. Económicas, porque la fertilización nitrogenada racional permite reducir costos, y ambientales porque su uso excesivo contamina el agua de la napa (Stevenson, 1982) y el aire. Esta necesidad ha conllevado a la búsqueda de mejoras en la calidad de las recomendaciones de fertilización nitrogenada que se realiza en un servicio de análisis de suelo. Uno de los aspectos débiles para hacer buenas recomendaciones, es que no se toman en cuenta la medición de la contribución de la mineralización de MOT (materia orgánica total) el cual suministra N potencialmente disponible para los cultivos, porque no existe un método de rutina que cuantifique adecuadamente este aporte (Rodríguez, 1993). Lo común es tomar los cambios en MOT (Di Gerónimo, Videla & Laclau, 2018), sin tomar en cuenta la calidad de la MOT y sus distintas capacidades para mineralizar N. Se estima la mineralización de las fracciones orgánicas de N, midiendo el N mineral presente en un momento determinado. Sin embargo, este método no cuantifica la capacidad de los suelos para proveer N mineral para los cultivos durante una campaña agrícola. Es así, que después de muchos intentos por desarrollar un método adecuado que determine el aporte de N de la fracción orgánica del suelo, se ha desarrollado una metodología por incubación corta y en condiciones anaeróbicas que permite cuantificar el N que potencialmente se hace disponible en el suelo durante un ciclo de cultivo, el cual es denominado Nan (Nitrógeno potencialmente mineralizable), el cual es usado con frecuencia en

muchos estudios (Landriscini et al., 2019, 2020). La medición de la concentración de N de amonio producido por incubación anaeróbica (Nan) de muestras de suelo, ha demostrado ser un buen indicador, debido a que se han visto correlaciones más estrechas con el N potencialmente mineralizable (Echeverría et al., 2000; Reussi Calvo et al., 2018). Reussi Calvo et al. (2018) informaron mejoras en el ajuste de la dosis de N a agregar en los diagnósticos de la disponibilidad de N junto con el N-NO₃ del estrato de 0-60 cm. Landriscini et al. (2020) también usaron al Nan para conocer la capacidad de aporte de N en suelos con distintos niveles de MOT. Vega-Jara et al. (2020) reportaron que el Nan no varía con el agregado de fertilizantes por 14 años consecutivos, pero cambia con los sitios, atribuible a las diferencias climáticas entre ellos. Por su lado, Boccolini et al. (2021) mostraron relación alta entre el Nan y el COP (Carbono orgánico particulado) en suelos con cultivo de cobertura durante tres campañas y recomendaron usar cobertura para disminuir el impacto ambiental de los herbicidas. El Nan se usa como un buen indicador de la capacidad de proveer N de las fracciones orgánicas del suelo en distintos escenarios. No existen registros que evalúen los niveles de Nan a nivel de Huánuco, que permita conocer el potencial de mineralizar N de suelos bajo distintos usos agrícolas o en descanso. El Nan es afectado por la temperatura y precipitación de los sitios (Reussi et al., 2018). El objetivo de este trabajo fue relacionar el contenido de N total y Nan a escala de la provincia de Huánuco para determinar la capacidad de mineralizar N de los suelos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio y diseño del muestreo

Se seleccionaron 31 sitios representativos ubicados en tres distritos de la provincia de Huánuco: Churubamba, Chinchao y San Pedro de Pillao (Figura 1). En cada sitio se seleccionó un suelo agrícola y un prístino, en total se tuvo 62 suelos para este estudio (Tabla 1, Figura 2). Estos suelos tenían distintos manejos y características

climáticas. Se tomaron muestras de suelo de 0-20 cm de profundidad, cada muestra estuvo conformada por 25 submuestras. Las muestras se tomaron durante los meses de setiembre y octubre del año 2019 (momento de las siembras) con el fin de minimizar el efecto de fecha de siembra. Las siembras en la región se dan a partir de octubre, junto con las primeras lluvias.



Figura 1. Ubicación de la provincia de Huánuco, Perú.

Tabla 1

Características generales, altitud, ubicación y zona de vida de los sitios de estudio

Distrito	Sitio	Altitud (msnm)	Ubicación		Zona de vida
			Latitud sur	Longitud oeste	
Churubamba	Pircoj	2450	9° 51' 9"	76° 6' 6"	bs-PMT
	Chullqui	1830	9° 50' 28"	76° 7' 31"	bs-MBT
	Quechualoma	2624	9° 48' 2.52"	76° 10' 46.56"	bs-MBT
	Cancan	3146	9° 37' 54"	75° 10' 46.56"	bmh-MT
	Utao	2996	9° 45' 45.7"	76° 12' 49.3"	bh-MBT
	Comun Corral	3664	9° 43' 57.7"	76° 13' 28.6"	bh-MBT
	Riscupa	3676	9° 43' 9.5"	76° 13' 41.5"	bp-MT
	Congona	3110	9° 47' 30"	76° 13' 56"	me-PT
Chinchao	Tungra	2574	9° 48' 39"	76° 5' 17"	bs-PT
	Huanushca	2971	9° 48' 50"	76° 6' 30"	bs-MBT
	Tulca	2624	9° 48' 50"	76° 6' 30"	bh-MBT
	Serro Verde	2724	9° 43' 57.7"	76° 05' 48.5"	bh-MBT
	San Pedro de Carpish	2720	9° 43' 15.8"	76° 05' 59.3"	bp-MBT
	Santa Catalina	1565	9° 36' 10"	76° 01' 55"	bmh-MBT
	Buenavista 2	1566	9° 41' 06"	75° 50' 26"	bp-MBT
	Santa Rosa Alta	1225	9° 33' 59"	75° 54' 03"	bm-HPT(tb)
	Pampamarca	1310	9° 37' 54"	75° 51' 06"	bp-MT
	Chichipara	1310	9° 39' 15.1"	75° 50' 15"	bmh-PTtb
San Pedro de Pillao	Buena Vista 1 (puente Duran)	1059	9° 30' 45.7"	75° 56' 44.4"	bp-MT
	Pumpuy	2248	9° 48' 50"	76° 00' 40"	bs-PT
	Vista Alegre de Pillao	2856	9° 47' 18.6"	75° 56' 11.4"	bh-MBT
	San Pedro de Pillao	2891	9° 46' 50.2"	75° 59' 06"	bmh-MBT
	Bella Vista	2818	9° 46' 45"	75° 53' 45"	bmh-MBT
	Pilko Pampa	2856	9° 45' 45"	75° 57' 25"	bh-MBT
	Dos Aguas	1760	9° 47' 45"	75° 51' 30"	bp-MT
	Oso Pata	1846	9° 45' 30"	75° 49' 30"	bmh-MBT
	Nueva Esperanza de Huaylas	2838	9° 45' 8.35"	76° 4' 6.26"	bp-MT
	Santa Rosa	1231	9° 33' 59"	75° 54' 45"	bs-MBT
	San Martin de Porras	1310	9° 47' 18.6"	75° 56' 11.4"	bs-MBT
	Santa Ana de Pillao	1225	9° 34' 25"	75° 53' 11.4"	bp-MT
San Ramón	1348	9° 35' 05"	75° 54' 05"	bh-MBT	

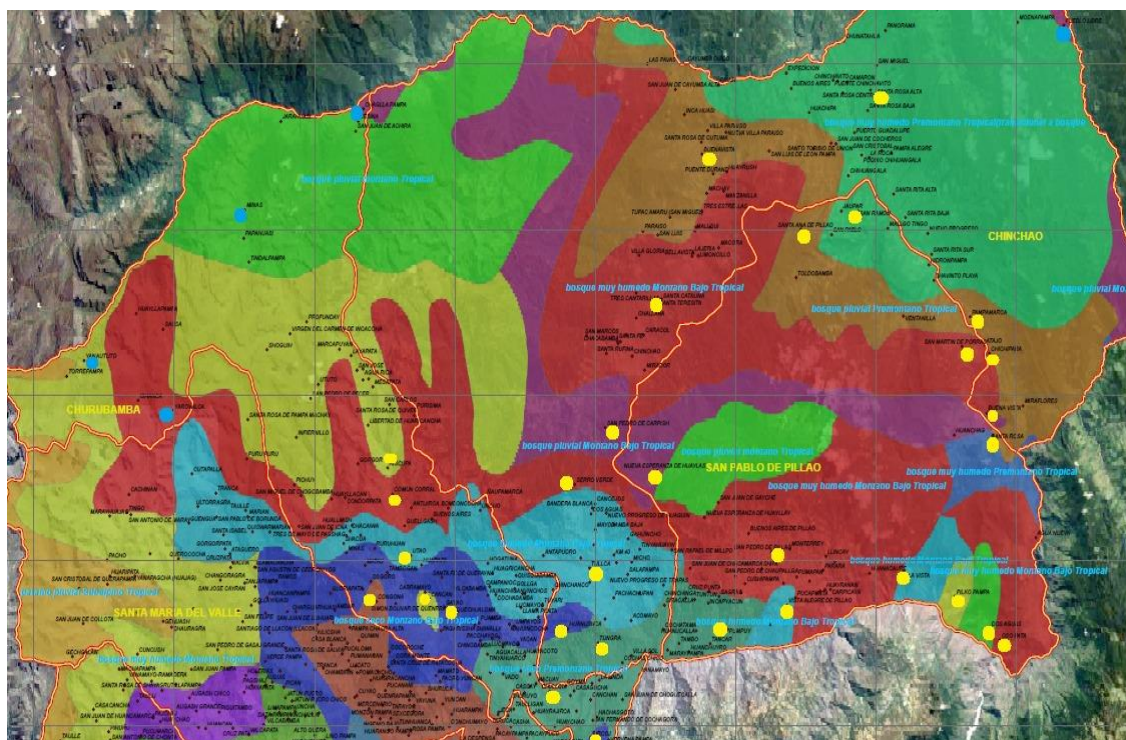


Figura 2. Ubicación de los sitios muestreados (puntos amarillos) en los distritos de la provincia de Huánuco (Churubamba, Chinchao y San Pedro de Pillao). La línea roja delimita a los distritos y las áreas sombreadas con distintos colores separan a las zonas de vida dentro de la provincia.

Análisis de suelo

Las muestras fueron secadas al aire y tamizadas con una malla de 2 mm. Se determinó la materia

orgánica total (MOT), el nitrógeno total (Ntotal) y el Nan. Para medir la MOT, primero se determinó el carbono (C) orgánico por el método de Walkley

y Black (Nelson & Sommers, 1982), luego se estimó la MOT considerando que el 58% de la MOT es C orgánico, N total se estimó a partir de la MOT asumiendo que el 4,5% de la MOT es N total (Asado, 2012). El Nan se midió después de una incubación anaeróbica en tubos (150 por 16 mm) llenos con 5 g de suelo y 12,5 ml de agua destilada (Keeney & Bremner, 1966). Los tubos fueron herméticamente cerrados e incubados por 7 días a 40 °C. Al final del periodo de incubación, el contenido fue transferido a fiolas con una solución de KCl 4M, fueron agitados durante 30 minutos y luego filtrados. El N-NH₄⁺ liberado (Nan) se midió por colorimetría (Baethgen & Alley, 1989). El porcentaje de mineralización de N de cada suelo se calculó del cociente de la concentración de Nan sobre el N total estimado del estrato de 0-20 cm y multiplicado por 100.

Análisis estadístico

Se realizó análisis de varianza (ANOVA) de MOT, Nan, pH, arena, limo y arcilla con manejo como

efecto fijo, y sitio como efecto aleatorio. Donde hubo diferencia entre manejos (agrícola y prístino) los análisis se hicieron dentro de cada manejo. Los valores promedio de cada nivel se compararon utilizando la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) (p < 0,05). La similitud del potencial de mineralización de N de los suelos se agrupó mediante el análisis de cluster, teniendo en cuenta la distancia de Ward. El corte del nivel de agrupamiento de los sitios fue en 50% de la distancia total (Balzarini et al., 2008). Las relaciones entre el Nan y Ntotal estimado fueron expresados en unidades de masa (mg kg⁻¹) y comparado a través de análisis de regresión y prueba F. Cuando las diferencias no fueron significativas, las líneas de regresión para esos sitios fueron representados por una sola función. Las relaciones entre el % de mineralización de N con la arena y arcilla fueron evaluadas mediante análisis de regresión. Los análisis estadísticos se realizaron con INFOSTAT (Di Rienzo et al., 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Nitrógeno Potencialmente Mineralizable en suelos de Churubamba, Chinchao y San Pedro de Pillao

El análisis de clúster del potencial de mineralización de N permitió identificar dos grupos de sitios (A y B) significativamente diferentes (p-valor < 0,01, Figura 4). Las características climáticas de los sitios explicaron el mayor porcentaje de variabilidad del potencial de mineralización de N del suelo, porque los grupos se formaron por sitios y no por su uso (agrícola o prístino) (Figura 4).

Los suelos del grupo A (de climas fríos y secos) tuvieron bajos porcentajes de mineralización de N, en promedio de 1,6%. Por el otro extremo, los del grupo B (con climas más cálidos y con mayores precipitaciones presentaron relativamente más altos porcentajes de mineralización de N, en promedio de 3,6%. Según Reussi Calvo *et al.* (2018) el factor determinante para la mineralización del N es el clima, siendo mayor los niveles de mineralización a temperaturas relativamente altas y con mayores regímenes de precipitación.

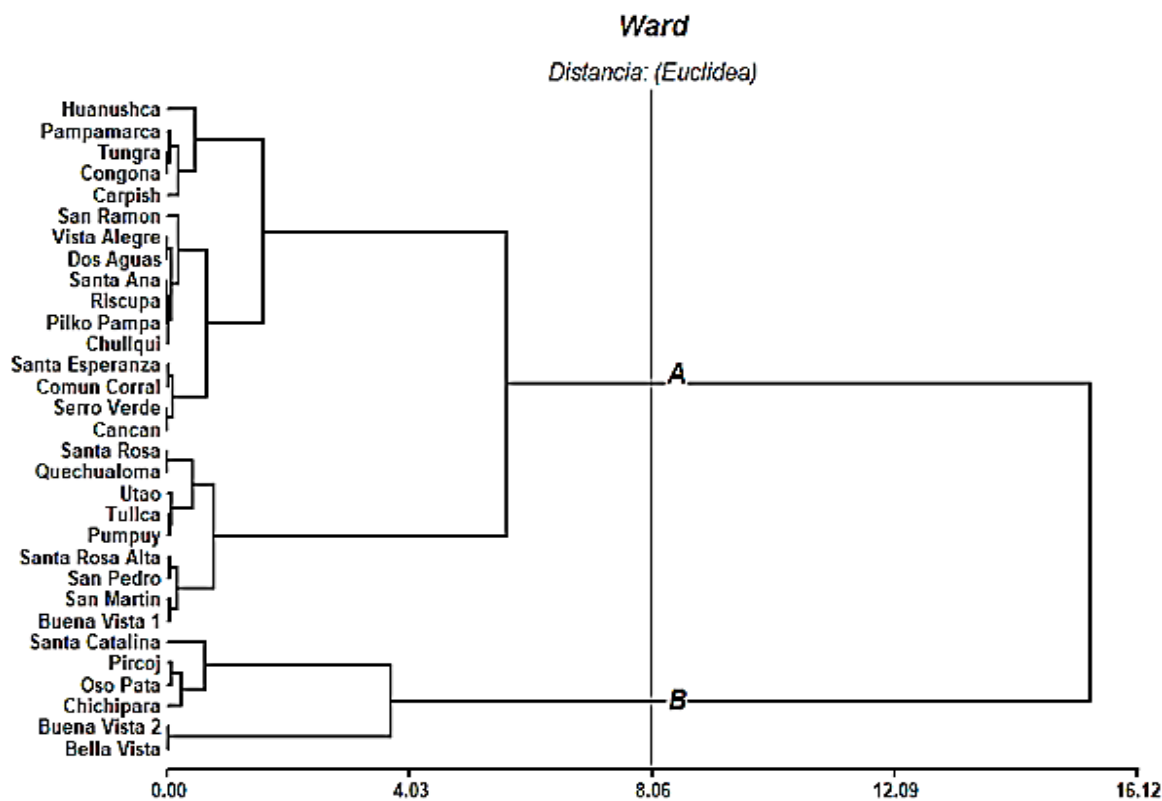


Figura 4. Dendrograma de similaridad de los sitios según los porcentajes de mineralización de N evaluadas mediante distancia de Ward.

Álvarez & Steinbach (2011) también indicaron que la actividad microbiana de los suelos es más lenta en condiciones de climas fríos y con baja humedad, reduciendo con ello el proceso de mineralización de la materia orgánica. Las altas temperaturas y bajos contenidos de arcillas en el suelo también aceleran la mineralización de la materia orgánica (Reussi Calvo *et al.*, 2018).

En este estudio, se vio una ligera tendencia de disminución del Nan en suelos más arcillosos (Figura 6), esto puede atribuirse a la protección física que cumple la arcilla, con lo cual se reduce el ataque de los microorganismos mineralizadores (Jaramillo, 2015). Varios autores han indicado que el Nan es un buen estimador de la mineralización de la MOS (Genovese, 2009; Orcellet *et al.*, 2017). Usar promedios de la relación Nan: N total sería un buen estimador de la capacidad de mineralizar N de los suelos, además de conocer sus contenidos de materia orgánica. Por lo tanto, no se puede predecir la capacidad de mineralizar N de un suelo solo a partir de conocer la concentración de MOS y Nitrógeno total. Los cambios de MOS no necesariamente implican cambios en la mineralización de N (Sharifi *et al.*, 2007) porque cada suelo tiene diferente calidad de MOS y clima. Los resultados mostrados en este trabajo pueden ser usados de forma orientativa en los diagnósticos de la fertilidad nitrogenada en la región Huánuco.

La concentración de Nan y N total del suelo se relacionaron estrechamente de forma positiva, esta relación fue independiente del manejo (i. e. agrícola o prístino, Figura 5). Los grupos de sitios identificados en el análisis de clusters (Figura 4) tuvieron tasas de mineralización de N diferentes entre grupos, pero similares entre sí dentro de cada cluster (Figura 5). Por un lado, los suelos del grupo A, conformados por Huanushca, Pampamarca, Tundra, Congona, Carpish, San Ramón, Vista Alegre, Dos Aguas, Santa Ana, Riscupa, Pilko Pampa, Chullqui, Santa Esperanza, Corral Compun, Cerro Verde, Cancan, Santa Rosa, Quechualoma, Utao, Tullca, Pumpuy, Santa Rosa Alto, San Pedro, San Martín, Buena Vista 1, presentaron una pendiente de 0,016 cuando se relacionó el Nan y el N total. Este valor, en términos de porcentaje es de 1,16%, es decir el 1,16% de N total fue Nan. Lo cual es razonable porque estos sitios estuvieron ubicados a situaciones de climas más secos y fríos (Tabla 1). Reussi Calvo *et al.* (2018) generaron un modelo matemático para predecir el N mineral, vieron que la precipitación y temperatura fueron las variables que permitieron una mejor predicción del N mineral, indicaron la utilidad de dicho modelo para ajustar las recomendaciones de fertilizantes nitrogenados, reduciendo el impacto económico y ambiental de la fertilización. Los suelos del grupo B que muestra la Figura 5, son los de Santa Catalina, Pircoj, Oso Pata, Chicipara, Buena Vista 2, Bella Vista quienes presentaron una pendiente de 0,036 cuando se relacionó el Nan y N total. Lo cual indica que el 3,6% del N total de dichos suelos fue Nan. Las variables climáticas de estos sitios fueron ligeramente más cálidos y con mayores regímenes de precipitación, lo cual explicaría el mayor

porcentaje de mineralización de N. Panigatti y De Hein (1985) también informaron que en verano una gran parte de la materia orgánica de fácil descomposición se mineraliza con mayor rapidez debido a las altas temperaturas y humedad, por ello se reduce el N total en el suelo, porque hay más salidas por mineralización.

Los resultados de este estudio sugieren considerar como porcentaje de mineralización de N de 3,6% para los suelos de la región Huánuco que tengan características climáticas parecidas al grupo B y, usar 1,6% como porcentaje de mineralización de N para aquellos suelos que tienen similar clima a los suelos del grupo A.

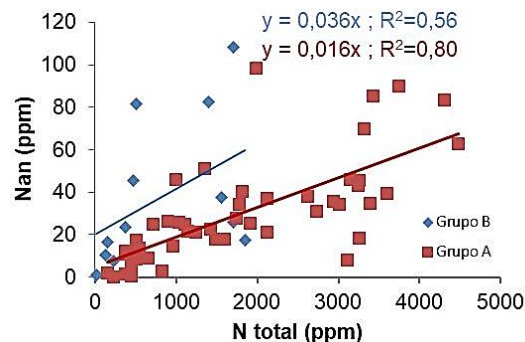


Figura 5. Relación entre la concentración de Nan y N total. La línea azul corresponde a la regresión obtenida para el grupo B que incluye a los sitios de Santa Catalina, Pircoj, Oso Pata, Chicipara, Buena Vista 2, Bella Vista. La línea roja corresponde al grupo A que incluye a Huanushca, Pampamarca, Tundra, Congona, Carpish, San Ramón, Vista Alegre, Dos Aguas, Santa Ana, Riscupa, Pilko Pampa, Chullqui, Santa Esperanza, Corral Compun, Cerro Verde, Cancan, Santa Rosa, Quechualoma, Utao, Tullca, Pumpuy, Santa Rosa Alto, San Pedro, San Martín, Buena Vista 1.

Relación entre el Nan y arcilla, arena, pH del suelo

Si bien, el Nan del suelo estuvo relacionado de forma negativa con el % de arcilla en el suelo (p -valor=0,02, Figura 6a), esta relación no fue muy fuerte porque el R^2 tan solo fue del 11%. Los resultados indican que por la reducción de 0.8% de arcilla en el suelo, la concentración de Nan se incrementa en 1 ppm. Lo cual, se puede corroborar cuando se vio la relación positiva entre en Nan y el contenido de arena (Figura 6b). Suelos más arenosos tendrían mayor capacidad para mineralización N. Orcellet *et al.* (2017) también vieron que en suelos con mayor temperatura y de textura más arenosa, se incrementa la tasa de mineralización de N debido a la baja protección física de la arena sobre los microorganismos mineralizadores y a su mayor actividad en condiciones más cálidas, concordando con nuestros resultados. En este estudio, no se vio una relación entre el pH y la mineralización del N (Figura 6c) posiblemente debido a la baja variabilidad del pH de los suelos que fue entre 4,73 y 6,96. Otros autores, sin embargo, han informado que los factores abióticos de mayor influencia sobre las comunidades bacterianas de mayor importancia es el pH del suelo (Fierer, 2017; Zhalnina *et al.*, 2015), y que este factor afecta la mineralización de la MOS.

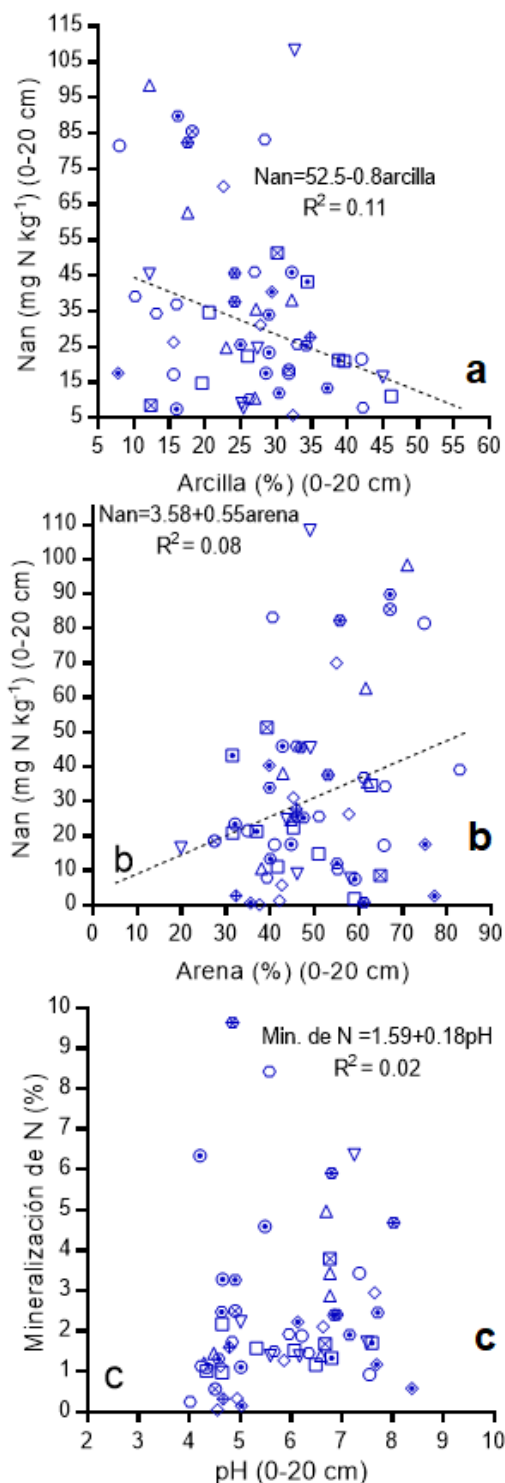


Figura 6. Relación entre el Nan y arcilla (a), Nan y arena (b) y, mineralización de N y el pH (c).

Materia orgánica del suelo, nitrógeno total, Nan, pH y textura del suelo

Los resultados que muestra el ANOVA indican que el uso agrícola del suelo afectó a la concentración de MOS y NT (Nitrógeno total) (Tabla 2). El mayor contenido de MOT y NT correspondió a los suelos agrícolas más que a los prístinos. Estos resultados son atribuibles a la heterogeneidad en las características de los suelos, con distintos cultivos y manejos. El tipo y grado de labranza pueden afectar diferencialmente sobre la concentración de MOS. Algunas labranzas poco agresivas, como

labranzas reducidas o siembra directa reducen las salidas del C orgánico del suelo por mineralización (Irizar y Andriulo, 2017). Los suelos en este estudio tenían antecedentes de labranzas con tracción animal en casi todos los casos, estas labranzas son más superficiales, ya que se usa arado de madera, típico de la zona y, por aporte de rastrojos de los cultivos antecesores habría incrementado las concentraciones de MOS. Un cultivo bien nutrido puede producir mayor biomasa y significar mayor aporte de materia orgánica para los suelos. El NT sigue la tendencia de la MOS porque casi todo el N del suelo es orgánico. Los aportes de MO proveniente de rastrojos en el caso de los suelos agrícolas, habrían sido significativas para acumular más MO en el suelo. Martínez *et al.* (2015) vieron alta relación entre el N orgánico y las fracciones orgánicas más lábiles del suelo, los que pueden afectar la mineralización de N. Las fracciones de mayor labilidad pueden liberar nutrientes en el corto plazo (Galantini y Landriscini, 2007). Los resultados mostrados en la Tabla 2 también indican que el uso agrícola no habría afectado al pH, Nan y otras características texturales del suelo. Además, es importante destacar que las zonas de vida no tuvieron efectos sobre las concentraciones de MOT, NT, Nan, pH, arcilla, limo y arena.

Tabla 2

ANOVA de concentración de MOS, NT, Nan, pH, arcilla, arena y limo

		MOS (%)	NT (%)	pH	Arcilla (%)	Arena (%)	Limo (%)	Nan (ppm)
Uso	Agrícola	4,40A	0,20A	5,70	27,96	46,04	26,00A	35,21
	Prístino	2,61B	0,12B	5,82	26,69	52,27	21,04B	21,43
Zona de vida	bp-MT	7,47	0,34	4,18	26,20	61,04	12,76	23,51
	bp-PT	5,57	0,25	6,37	17,93	56,38	25,69	54,61
	bmh-MT	4,40	0,20	5,31	26,80	44,96	28,24	32,59
	bp-MBT	3,57	0,16	5,15	19,77	54,36	25,87	38,94
	bs-PT	3,53	0,16	6,96	28,95	43,14	27,91	31,11
	bmh-MBT	3,36	0,15	6,13	29,13	51,42	19,45	34,97
	bmh-PT	3,13	0,14	5,90	27,00	42,93	30,07	29,82
	me-PT	2,85	0,13	4,73	42,80	39,11	18,09	15,21
Uso*Zona de vida	bmh-PTtb	2,75	0,12	6,20	25,35	48,43	26,22	31,60
	bs-MBT	2,53	0,11	5,63	29,33	48,93	21,73	19,50
	bh-MBT	2,12	0,10	5,77	29,33	47,02	23,65	19,57
	bs-PMT	0,82	0,04	5,84	25,30	52,15	22,55	8,40
ANOVA								
Fuente de variación		p-valor						
Uso	0,02	0,02	0,75	0,70	0,14	0,04	0,09	
Zona de vida	0,21	0,21	0,19	0,38	0,73	0,23	0,48	
Uso*Zona de vida	0,78	0,79	0,93	0,59	0,37	0,86	0,84	
CV (%)	74,45	74,63	20,77	40,99	27,27	33,62	84,61	

Características climáticas de los sitios

Las características climáticas de los sitios se agruparon en zonas de vida, donde estuvieron ubicados los sitios. Aquellos sitios que correspondieron a la zona de vida bp-PT tuvieron las más altas precipitaciones y temperaturas dando lugar a la mayor mineralización de N en el suelo. Vale resaltar que los suelos del grupo A, de menores porcentajes de mineralización de N, correspondieron a las zonas de vida bp-PT, bp-MT, bs-MBT, bs-PT y bh-MBT. Por otro lado, los suelos que tuvieron mayores precipitaciones y temperaturas más altas fueron los de las zonas de vida bs-PT, bp-PT, bmh-PTtb y bs-PMT, coincidentemente los suelos del grupo B (Santa Catalina, Pircoj, Oso Pata, Chichipara, Buena Vista

2 y Bella Vista) presentaron estas características (Tabla 1 y 3). Estos resultados explican por qué los suelos del grupo A tuvieron promedios más bajos de mineralización de N respecto de los suelos del grupo B. Hace más de veinte años, Zak *et al.* (1999) también informaron que en siembras tardías, debido a la mayor temperatura y disponibilidad hídrica genera mejoras en la tasa de mineralización de MOS. Estudios más recientes, proponen la posibilidad de usar al Nan como indicadora de la capacidad de proveer N de los suelos y esta depende directamente de la temperatura y humedad del suelo (Reussi Calvo *et al.*, 2018). La mineralización del N tiene dos etapas, el primero se denomina amonificación, es a través de este que el N orgánico es transformado a N-NH₄, es llevado a cabo por microorganismos heterótrofos (bacterias, hongos y actinomicetes) (Longa *et al.*, 2017). Cuantificar concentraciones de N-NH₄ ha significado medir la capacidad de proveer N de los suelos, debido a que el Nan es un indicador indirecto de la actividad microbiana del suelo (Martínez *et al.*, 2017), la composición de la materia orgánica, condiciones ambientales y

características del suelo como los contenidos de arcilla y pH podrían afectar la mineralización del N (Zapata-Hernández *et al.*, 2020).

Tabla 3

Datos de precipitación y temperatura de las zonas de vida en estudio

Características climáticas	pp min anual	pp max anual	T° min anual	T° max anual
bp-MT	1000c	2000d	7f	13d
bp-PT	5660a	5660a	24a	24a
bmh-MT	1000c	1500e	13d	17c
bp-MBT	1500b	2500c	13d	18b
bs-PT	900d	1000f	17,40c	25,1a
bmh-MBT	1500b	2000d	13d	17c
bmh-PT	1500b	3500b	18b	24a
me-PT	1000c	1500e	13d	17bc
bmh-PTtb	1500b	3500b	18b	24a
bs-MBT	400f	700g	12e	18,35b
bh-MBT	500e	1000f	12e	16c
bs-PMT	900d	1000f	17,40c	25a
ANOVA				
Fuente de variación				
Zona de vida (p-valor)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
CV (%)	<0,01	<0,01	<0,01	5,47

CONCLUSIONES

Los suelos agrícolas y prístinos de los tres distritos de Huánuco (Churubamba, Chinchao y San Pedro de Pillao) se agruparon en dos, según su capacidad para mineralizar N. Los del grupo B, con mayores regímenes de precipitación y temperaturas relativamente más cálidas, presentaron en promedio 3,6% como porcentaje de mineralización de N. Este agrupamiento fue independiente si el manejo

fue agrícola o prístino. El Nan estuvo relacionado de forma negativa con el contenido de arcilla y guardó relación positiva con la arena, sugiriendo la mayor capacidad para mineralizar N de los suelos arenosos. Finalmente, el uso agrícola aumentó los contenidos de MOT y NT sin cambiar el pH y textura de los suelos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece especialmente a Matías Zambrano Ramos por el apoyo con las distintas determinaciones en las muestras de suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, R., & Steinbach, H. S. (2011). Modeling Apparent Nitrogen Mineralization under Field Conditions Using Regressions and Artificial Neural Networks. *Agronomy Journal*, 103, 1159-1168.
- 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.
- Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., Casanoves, F., Di Rienzo, J. A. & Robledo, C. W. (2008). *Infostat: Manual del Usuario*. Córdoba. Editorial Brujas.
- Boccolini, M. F., Cazorla, C. R., Galantini, J. A., Belluccini, P. A. & Baigorria, T. (2021). Cultivos de cobertura disminuyen el impacto ambiental mejorando las propiedades biológicas del suelo y el rendimiento de los cultivos. *RIA*, 45(3): 412-425.
- Di Gerónimo, P. F.; Videla, C. C. & Laclau, P. (2018). Distribución de carbono y nitrógeno orgánico en fracciones granulométricas de suelos bajo pastizales, agricultura y forestaciones. *Ciencia del suelo (Argentina)* 36(1): 11-22.
- 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.
- Echeverría, H. E., San Martín, N. & Bergonzi, R. (2000). Métodos rápidos de estimación del nitrógeno potencialmente mineralizable en suelos. *Ciencia del Suelo* 18: 9-16.
- Fierer, N. (2017). Embracing the unknown: disentangling the complexities of the soil microbiome. *Nature Reviews Microbiology*, 15(10), 579-590.
- Galantini, J. A. & Landriscini, M. R. (2007). *Equilibrio y dinámica de las fracciones orgánicas del suelo: Relación con la fertilidad del suelo y la sustentabilidad del sistema*. En: Thuar A. *et al* (eds.). *De la Biología del Suelo a la Agricultura*. Pp. 229-245. Editorial Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.
- Genovese, M., Echeverría, H. & Studdert, G. (2009). Nitrógeno de aminoazúcares en suelos: calibración y relación con el nitrógeno incubado anaeróbico. *Ciencia del Suelo*, 27, 225-236.
- Irizar, A. & Andriulo, A. (2017). *Reservas de materia orgánica en la pampa ondulada: efecto de la secuencia de cultivo y del sistema de labranza en el largo plazo*. En: *Ensayos de larga duración en Argentina: Un aporte al logro de Sistemas Agrícolas sustentables*. Compilado por Salvaggiotti, F.; Krüger, H.; Studdert, G. 1ra edición. Ediciones INTA, Entre Ríos, Argentina. Pp. 181-198.
- Jaramillo, C. X. (2015). *Mineralización de la gallinaza y de los restos de cosecha en el suelo. Aplicación al cultivo de la coliflor en la Huerta de Valencia*. Tesis de doctorado, Universitat Politècnica de València, Valencia, España. 330 pp.
- 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.
- Landriscini, M. R., Galantini, J. A., Duval, M. E. & Caputto, J. E. (2019). Nitrogen balance in a plant-soil system under

- different cover crop-soybean cropping in Argentina. *Applied Soil Ecology*, 133: 124-131.
- Landriscini, M. R., Galantini, J. A., Forján, H. & García, R. J. (2020). Fracciones de carbono y nitrógeno del suelo y productividad del trigo en sudeste bonaerense, Argentina. *Revista de investigación de la Facultad de Ciencias Agrarias, Ciencias Agronómicas*, 35(20):1-21.
- Longa, C. M. O., Nicola, L. & Antonielli, E. (2017). Soil microbiota respond to green manure in organic vineyards. *Journal Applied Microbiology*, 123, 1547-1560.
- Martínez, J. M., Galantini, J. A., Duval, M. E., & López, F. M. (2017). Tillage effects on labile pools of soil organic nitrogen in a semi-humid climate of Argentina: A long-term field study. *Soil Till. Res.* 169, 71-80.
- Martínez, J. M., Galantini, J. A., & Duval, M. E. (2015). Indicadores de mineralización de nitrógeno en el sudoeste bonaerense: relación con las fracciones orgánicas del suelo. *Ciencias Agronómicas-Revista*, XXVI, 49-57.
- 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. (2017). Anaerobically incubated nitrogen improved nitrogen diagnosis in corn. *Agronomy Journal*, 109, 291-298.
- Panigatti, J. L., & De Hein, W. H. (1985). Mineralización potencial de nitrógeno en epipediones del norte de la región pampeana. *Ciencia del Suelo*, 3(1-2), 53-60.
- Reussi Calvo, N. I., Wyngaard, N., & Orcellet, J. M. (2018). Predicting field apparent nitrogen mineralization from anaerobically incubated nitrogen. *Soil Science Society of America Journal*, 82, 502-508.
- Rodríguez, J. (1993). *La fertilización de los cultivos. Un método racional. Colección en Agricultura*. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 149 pp.
- Sharifi, M., Zebarth, B. J., & Burton, D. L. (2007). Evaluation of some indices of potentially mineralizable nitrogen in soil. *Soil Science Society of America Journal*, 71, 1233-1239.
- Stevenson, F. (1982). *Nitrogen in Agricultural soils*. American Society of Agronomy. Crop Science Society of America and Soil Science Society of America Publisher. *Madison, Wisconsin*, USA. 940 pp.
- Vega-Jara, L., Gutierrez-Boem, F., García, F., & Rubio, G. (2020). Long-term fertilization does not affect soil carbón/nitrogen/sulfur ratios or the proportion between labile and nonlabile fractions in Mollisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 84, 798-810.
- Zak, D. R., Holmes, W. W., Macdonald, N. W., & Pregitzer, K. S. (1999). Soil temperature, matric potential, and the kinetics of microbial respiration and nitrogen mineralization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63, 575-584.
- Zapata-Hernández, I., Zamora-Natera, J. F. & Trujillo-Tapia, M. N. (2020). ¿La incorporación de residuos de diferentes especies de Lupinus, como abono verde, afecta la actividad microbiana del suelo?. *Terra Latinoamericana*, 38, 45-56.
- Zhalnina, K., Dias, R., de Quadros, P. D., Davis-Richardson, A., Camargo, F. A., Clark, I. M., & Triplett, E. W. (2015). Soil pH determines microbial diversity and composition in the park grass experiment. *Microbial ecology*, 69(2), 395-406.