

# LIXIVIACIÓN DE NITRATOS EN DOS SUELOS AL ALTERAR SUS PROPIEDADES FÍSICAS

SANDRA CRISTINA ARIAS\*  
JUAN CARLOS PÉREZ\*\*  
ORFELY MARÍA RUEDA\*\*\*

## RESUMEN

Se realizaron dos experimentos en los cuales, mediante la mezcla de horizontes A y B o arena y horizontes B, se alteraron los contenidos de materia orgánica en un grupo y arena en otro, en dos suelos diferentes del departamento de Antioquia: un Andisol y un Oxisol, con el propósito de determinar cómo los cambios inducidos artificialmente en estas propiedades afectan la capacidad del suelo para retener nitratos.

Los incrementos en el contenido de arena aumentaron significativamente las cantidades de nitrógeno recuperado en columnas de lixiviación, en tanto que las alteraciones en el contenido de materia orgánica sólo afectaron la capacidad para retener nitratos en el Andisol. El experimento permitió identificar los suelos estudiados como altos retenedores de nitratos, no obstante, existen otros factores adicionales a las características estudiadas que no fueron considerados en este experimento, igualmente importantes en la retención del ion.

PALABRAS CLAVE: nitratos, lixiviación, Andisol, Oxisol.

## ABSTRACT

Two experiments in columns were carried out, to study how changes in organic matter and sand content of soil could affect its ability to retain added nitric nitrogen. Mixtures of A and B horizons or quartz sand and B horizon taken from soils belonging to Andisol and Oxisol orders, let us artificially change organic matter and sand content in each soil before a nitrate leaching test. Changes in sand content significantly reduce the ability to retain nitric nitrogen in both soils, and organic matter reduction accounted for a increase in nitrate leaching only in the Andisol. A brief discussion is shown, about the possible role of another conditions influencing nitrate leaching in this soils.

KEY WORDS: nitrate, leaching, Andisol, Oxisol.

---

\* Ingeniera Ambiental, candidata a Maestría en Ingeniería Ambiental de la Universidad de Antioquia. Docente de la Escuela de Ingeniería de Antioquia. pfsanar@eia.edu.co.

\*\* Ingeniero Agrónomo. M.Sc. Profesor asistente. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. jcperez@unalmed.edu.co.

\*\*\* Ingeniera Sanitaria, candidata a Maestría en Ingeniería Ambiental de la Universidad de Antioquia. Docente Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia. eomrg670@udea.edu.co.

## INTRODUCCIÓN

El nitrógeno (N) es un nutriente esencial para el desarrollo de los seres vivos, al ser un constituyente de todas las proteínas. Desde el punto de vista ambiental y agrícola, buena parte del interés en este elemento se dirige hacia su comportamiento y transformaciones en el suelo, los cuales definen en buena medida la disponibilidad de formas inorgánicas de N esenciales para el desarrollo vegetal, especialmente iones nitrato  $\text{NO}_3^-$ , nitrito  $\text{NO}_2^-$  y amonio  $\text{NH}_4^+$ . Su movimiento, desde el suelo hacia cuerpos de agua, representa un riesgo grave de contaminación, dados los efectos adversos en la salud humana y animal por la presencia de compuestos derivados, especialmente del ion nitrato, además de favorecer los procesos de eutrofización en los cuerpos de agua naturales.

El contenido de N en los suelos varía en un amplio espectro, tendiendo a disminuir con la profundidad. Su asimilación por las plantas es diferencial, ya que el ion nitrato se encuentra disuelto en la solución del suelo, mientras que gran parte del ion amonio está adsorbido sobre superficies de arcillas. En algunos tipos de suelo también se presenta adsorción aniónica, que es dependiente del pH del suelo y se incrementa cuando el valor de éste decrece; pero los iones fosfatos y los sulfatos son más fuertemente adsorbidos que los nitratos (Kinjo, 1972). El nitrato es muy móvil en suelos y es fácilmente desplazado desde su punto de origen por las adiciones de agua, además, es relativamente estable, excepto cuando se transforma biológicamente por el proceso de desnitrificación, lo cual sólo ocurre en suelos muy húmedos o dentro de los agregados del suelo con un alto contenido de humedad. Por esta razón, algunos autores, entre ellos Jury et al (1991), manifiestan que si hay una fuente de nitrógeno y un exceso de agua aplicado al suelo, los nitratos tendrán un potencial de alcanzar las aguas subterráneas y, finalmente, las corrientes naturales.

Según estudios realizados por Thompson y Troeh (1982), la cantidad de nitratos que se lixivía

hacia el subsuelo depende, entre otros factores, del régimen de pluviosidad, tipo de suelo y cantidades de fertilizante nítrico utilizado. La mayoría de los suelos de zonas templadas poseen abundantes partículas coloidales, tanto orgánicas como inorgánicas cargadas negativamente, con lo que se repelen aniones y, como consecuencia, en éstos se lixivian fácilmente los nitratos. Por el contrario, muchos suelos tropicales adquieren carga positiva y, por tanto, manifiestan una fuerte retención de nitratos.

Los modelos de análisis del comportamiento del ion nitrato se basan en los estudios internacionales, algunos de ellos realizados por Jury et al., Thompson y Troeh, Finjo y McCants. El objetivo de esta investigación fue identificar cambios en la lixiviación de nitratos en dos suelos, al alterar el contenido de arena y de materia orgánica.

## METODOLOGÍA

Se realizaron dos experimentos con dos suelos: un Oxisol tomado del municipio de Bello, sector de Niquía, y un Andisol tomado del municipio de El Santuario, ambos en el departamento de Antioquia. Para cambiar las propiedades de estos suelos, se tomaron de ellos muestras de horizontes A y B (HA y HB).

En un experimento se alteró el contenido de materia orgánica al mezclar con el HB del mismo suelo los siguientes porcentajes en volumen del horizonte A (HA): 0, 5, 10, 15, 20 y 25% para el suelo Andisol. Para el suelo Oxisol se utilizó una mezcla de 0, 10, 20, 30, 40 y 50% HA con el HB. Las diferencias en esta mezcla para los dos suelos obedecen al alto contenido de materia orgánica naturalmente presente en el Andisol.

En el otro experimento se alteró el contenido de arena de los suelos, mediante la mezcla del horizonte B de cada uno, con volúmenes variables de cuarzo (tamaño menor que 1mm) así: 0, 10, 20, 30, 40 y 50% (v/v).



A ambos suelos se adicionaron 300 mg N kg<sup>-1</sup>, utilizando como fuente ácido nítrico diluido en un volumen de agua, que sobrepasó en 50% la máxima capacidad de retención de humedad para cada mezcla de suelo.

Al considerar dos tipos de suelo y variar dos de sus propiedades, cada una en cinco niveles, se tiene un arreglo factorial de dos por dos. Adicionalmente, cada prueba se realizó tres veces para tener mayor seguridad en la información obtenida. A los valores obtenidos se les realizaron los cálculos respectivos, según la etapa de la metodología, así: para identificar diferencia entre el NO<sub>3</sub><sup>-</sup> lixiviado por cada suelo y sus diferentes niveles de variación de las propiedades, se utilizó un análisis de varianza ANOVA, con confianza del 95%; para identificar el nivel de asociación entre el NO<sub>3</sub><sup>-</sup> retenido y la variación de las propiedades de los dos suelos, se realizó un análisis de correlación simple; y, para identificar el comportamiento de la lixiviación de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en cada suelo al variar dos de sus propiedades físicas, se realizó un análisis de regresión.

### **Determinación de la máxima capacidad de retención de humedad en cada una de las mezclas**

Se utilizaron vasos plásticos (Tro-formas® ref 1002) con las siguientes dimensiones (cm): altura 4,5; diámetro superior 5; diámetro inferior 3,5. Cada uno se perforó 25 veces en la parte inferior, utilizando una aguja hipodérmica. A cada recipiente se le adicionaron 20 g de suelo seco al aire, después se humedeció en exceso mediante inmersión durante 22 horas en una lámina de agua de 2 cm de altura. El recipiente con la mezcla saturada de agua se pesó nuevamente después de tres horas de drenaje.

La máxima capacidad de retención de humedad se calculó con base en la ganancia en peso de la muestra después del drenaje respecto al peso inicial del suelo seco al aire.

### **Montaje de las columnas para la realización de las pruebas y adición de nitrógeno**

Para el montaje de las columnas se utilizaron 66 cilindros de PVC de 8,66 cm de diámetro y 20 cm de altura, previamente lavados con ácido nítrico 0,1N con el fin de retirar cualquier residuo de suelo presente en ellos. A cada cilindro se le fijó una malla plástica en su parte inferior utilizando cinta adhesiva y se instaló un papel de filtro en su interior, para evitar el paso de partículas de suelo al lixiviado.

En cada columna se adicionaron 300 g de la mezcla de suelo secado al aire, después de retirar manualmente los materiales más gruesos, y se adicionó ácido nítrico (65% de concentración con una densidad de 1,41 kg l<sup>-1</sup>) en una cantidad equivalente a 300 mg de N por kg de suelo, disuelto en una cantidad de agua destilada equivalente al 70% de la máxima capacidad de retención de humedad en la mezcla de suelo.

Los cilindros así preparados permanecieron cubiertos con tapas plásticas durante 24 horas. Más tarde, se adicionó la cantidad de agua necesaria para llegar a 1,5 veces la máxima capacidad de retención de humedad, previamente calculada para cada cilindro, lo que permitió asegurar la generación de lixiviado.

Para determinar la cantidad de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> retenido por cada cilindro, se recogió en recipientes plásticos el lixiviado generado al aplicar el agua en exceso; con el volumen y la concentración de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> presente, se calculó la cantidad de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; y por diferencia con la cantidad aplicada, se calculó el porcentaje de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> lixiviado.

Adicionalmente, para conocer el nivel de asociación entre los cambios en materia orgánica, contenido de arena y carga eléctrica en cada mezcla con los cambios en retención de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, se tomaron al azar dos de cada tres réplicas y se determinó en ellas el pH

en agua y en una solución de cloruro de potasio (KCl) 1M. El valor positivo, obtenido por la diferencia entre los valores de pH ( $\Delta$ pH) medido en la solución de KCl y el valor medido en agua, indica la presencia de carga neta positiva sobre las superficies coloidales del suelo. Con estas determinaciones y los valores obtenidos como porcentajes de lixiviación se realizaron análisis de correlación.

### Procedimientos analíticos

La determinación de nitratos se realizó de acuerdo con el procedimiento establecido en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, que básicamente corresponde a la formación de complejo coloreado con

brusina ácida. El contenido de materia orgánica, mediante el método de Walkley and Black<sup>1</sup>. Las cantidades de arena se determinaron por el método de Boyoucus.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 puede observarse que, al incrementar la proporción de HA con respecto al HB en el Andisol, se presentó un incremento significativo ( $p = 0,0003$ ) en la cantidad de  $\text{NO}_3^-$  lixiviado, situación que no fue evidente en el Oxisol ( $p = 0,06$ ). La adición de arena al HB de ambos suelos también influyó en forma significativa en la lixiviación de  $\text{NO}_3^-$ , presentando los mayores valores en las mezclas con 40 y 50% de cuarzo (tabla 2).

**Tabla 1.**  $\text{NO}_3^-$  lixiviado en ambos suelos al variar la proporción del horizonte A (HA) en ellos y su diferencia significativa con respecto a los otros valores con 95% de confianza.

Andisol			
Proporción de HA	$\text{NO}_3^-$ lixiviado(%)	Proporción de HA	
		Con diferencia significativa	Sin diferencia significativa
0	2,86	5, 10, 15, 20, 25	
5	6,75	0	10, 15, 20, 25
10	7,30	0, 20	5, 15, 25
15	7,22	0, 20	5, 10, 25
20	5,20	0, 10, 15, 25	5
25	7,72	0, 20	5, 10, 15
Oxisol			
Proporción de HA	$\text{NO}_3^-$ lixiviado(%)		
0	0,55	No existe diferencia significativa entre estos valores	
10	0,05		
20	0,39		
30	0,12		
40	0,81		
50	1,2		

1 Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Amer. Soc. of Agr. Madison, Wisconsin, 1982.

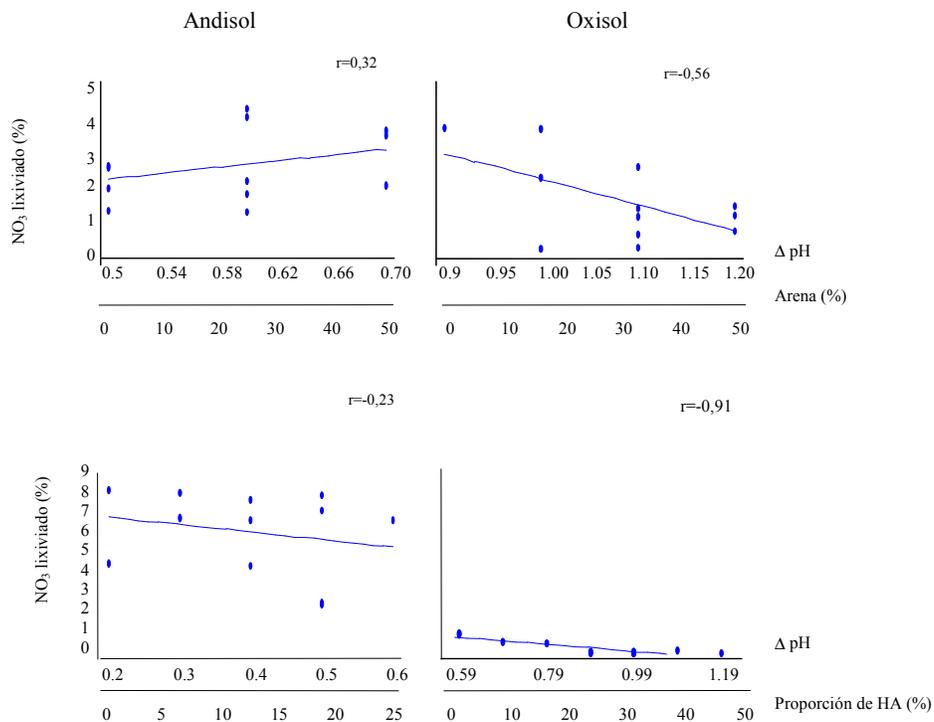


**Tabla 2.**  $\text{NO}_3^-$  lixiviado en ambos suelos, al variar el porcentaje de arena y su diferencia significativa con respecto a los otros valores con 95% de confianza

Proporción de arena en la mezcla (%)	Andisol			Oxisol		
	$\text{NO}_3^-$ lixiviado (%)	Proporción con diferencia significativa	Proporción sin diferencia significativa	$\text{NO}_3^-$ lixiviado (%)	Proporción con diferencia significativa	Proporción sin diferencia significativa
0	2,86	10, 20, 30, 40, 50		0,56	50	10, 20, 30, 40
10	1,36	0, 40, 50	20, 30	1,39	40, 50	0, 20, 30
20	1,65	0, 40, 50	10, 30	0,76	40, 50	0, 10, 30
30	1,92	0, 40, 50	10, 20	0,98	40, 50	0, 10, 20
40	4,02	0, 10, 20, 30	50	2,10	10, 20, 30, 50	0
50	3,56	0, 10, 20, 30	40	3,20	0, 10, 20, 30, 40	

De lo anterior se puede concluir que sólo para el incremento de HA en el Oxisol no se presentaron efectos significativos en la lixiviación de  $\text{NO}_3^-$ , con un 95% de confianza. En los demás casos se considera que, para los valores obtenidos al incrementar los porcentajes de arena y materia orgánica, se tienen diferencias significativas con el mismo nivel de confianza.

La diferencia entre estos suelos para retener  $\text{NO}_3^-$ , en contra de procesos de lixiviación, parece estar relacionada con diferencias en la magnitud de la carga eléctrica positiva presente en ellos. La figura 1 presenta la relación entre los valores de  $\Delta\text{pH}$  y la proporción de  $\text{NO}_3^-$  lixiviado en cada suelo, además el valor  $r$  de la regresión.



**Figura 1.** Nitrógeno lixiviado y su relación con los valores de  $\Delta\text{pH}$  obtenidos al variar cantidades de arena y HA en cada suelo.

Para el caso del Oxisol, aunque no existen diferencias significativas en la cantidad de  $\text{NO}_3^-$  lixiviado, al variar el porcentaje de materia orgánica, puede observarse como al incrementar el valor  $\Delta\text{pH}$  se disminuye el lavado de  $\text{NO}_3^-$ . Una tendencia similar se presenta en este suelo al variar las proporciones de arena en la mezcla, lo que explica al menos parcialmente la alta capacidad de estos suelos para retener  $\text{NO}_3^-$ , y estos cambios en la carga neta positiva del suelo sí presentan una relación consistente con los cambios en arena o materia orgánica (expresada aquí como proporción de HA) obtenidos al realizar las mezclas en cada suelo. Esta situación es explicada por Salinas y Valencia (1984), quienes señalan la presencia de cargas positivas sobre las superficies de óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio, minerales abundantes en este tipo de suelo. No se observa una relación similar en el Andisol.

Las diferencias en la capacidad de retención de aniones en ambos suelos no pueden ser explicadas en la misma forma, y la generación de carga neta positiva parece ser un fenómeno más relevante en el caso del Oxisol (Kinjo et al, 1972). Es importante considerar otras variables que permitan explicar la retención en el Andisol, por ejemplo, la velocidad de infiltración que evidentemente es mayor en él, pero no se consideró en este experimento.

Los resultados sugieren que no se puede establecer una relación directa y única entre el  $\text{NO}_3^-$  lixiviado de un suelo con la variación en contenidos de arena y materia orgánica, ya que para los dos suelos en estudio los resultados son diferentes.

Es necesario considerar otras condiciones, como las propiedades mineralógicas, la velocidad de aplicación del flujo de agua y su intensidad, la concentración de nitratos aplicada, el grado de saturación de los nitratos, la densidad aparente, la heterogeneidad de los materiales adsorbentes del suelo y el pH, entre otras, si se desean entender mejor las diferencias entre suelos en su capacidad para retención de éste y otros aniones. Es importante llamar también la atención sobre los porcentajes altos de retención de nitratos, superiores a 90% en ambos suelos, encontrados en este

experimento, lo que sugiere una alta capacidad de intercambio de aniones en estos suelos, contrario a la creencia común de que los nitratos se lixivian fácilmente. Sin embargo, esa capacidad sí es sensible a cambios texturales o de materia orgánica.

## CONCLUSIONES

Al incrementar la proporción de horizonte A con respecto al horizonte B en el Andisol, se presentó un incremento significativo en la cantidad de  $\text{NO}_3^-$  lixiviado, situación que no fue evidente en el Oxisol. La adición de arena al horizonte B de ambos suelos también influyó en forma significativa en la lixiviación de  $\text{NO}_3^-$ , presentándose los mayores valores en las mezclas con 40 y 50% de cuarzo.

Se considera que la textura y contenido de materia orgánica de los suelos son factores importantes en relación con la lixiviación, ya que la capacidad de intercambio iónico de un suelo es principalmente una función de la clase y cantidad de arcilla y materia orgánica.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue realizada gracias al apoyo del personal técnico de los laboratorios de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Antioquia y de Suelos de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

## BIBLIOGRAFÍA

- JURY, William; Wilford GARDNER and Walter GARDNER. Soil physics. 5<sup>th</sup> ed. John Wiley and Sons, 1991.
- McCANTS C.B. Movimiento del nitrógeno en el suelo. Suelos Ecuatoriales. El uso del nitrógeno en el trópico. Segundo coloquio de suelos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Volumen IV No.1. Julio, 1972.
- KINJO, T.; P.T. Pratt y A.L. Page. Adsorción de nitratos: III. Desorción, movimiento y distribución en andepts. Suelos Ecuatoriales. El uso del nitrógeno en el trópico. Segundo coloquio de suelos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Volumen IV No.1. Julio, 1972.
- THOMPSON, L.M. y F.R. TROEH. Los suelos y su fertilidad. 4 ed. Barcelona : Reverté, 1982.
- SALINAS, J. y C. VALENCIA. Oxisoles y Ultisoles en América tropical. II. Mineralogía y características químicas. Cali : CIAT, 1984. 68 p.