

Fecha de recibido: 29-11-2024  
Fecha de aceptado: 05-04-2025  
DOI: 10.22490/ECAPMA.7544

## ESTIMACIONES DE NITRÓGENO Y FÓSFORO EN LIXIVIADOS DE SUELOS AGRÍCOLAS CON ALTA SATURACIÓN DE MAGNESIO INTERCAMBIABLE

## ESTIMATES OF NITROGEN AND PHOSPHORUS IN LEACHATE FROM AGRICULTURAL SOILS WITH HIGH SATURATION OF EXCHANGEABLE MAGNESIUM

**Milton Cesar Ararat Orozco**

Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2482-1834>

Email: [milton.ararat@unad.edu.co](mailto:milton.ararat@unad.edu.co)

**Oscar Eduardo Sanclemente Reyes**

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

<https://orcid.org/0000-0003-0283-2524>

[oscar.sanclemente@unad.edu.co](mailto:oscar.sanclemente@unad.edu.co)

**Citación:** Ararat, M. y Sanclemente, O. (2025). Estimaciones de nitrógeno y fósforo en lixiviados de suelos agrícolas con alta saturación de magnesio intercambiable. *Working Papers ECAPMA*, 8(1), 53 – 63. <https://doi.org/10.22490/ECAPMA.7544>



## RESUMEN

**Contextualización:** la cuantificación de parámetros químicos en los lixiviados aporta una información técnica para el estado de salud del suelo frente a la pérdida de nutrientes. Estos resultados hacen parte de la gestión de investigación institucional de la UNAD en el proyecto denominado “Efecto de enmiendas y fertilización nitrogenada sobre la productividad de caña de azúcar en condiciones de suelos del Valle del Cauca con alta saturación de  $Mg^{+2}$  intercambiable”.

**Vacío de conocimiento:** en la problemática de suelos agrícolas con tendencia a la salinidad y de alta saturación de magnesio ( $Mg^{+2}$ ) intercambiable se limita la productividad de cultivos como la caña de azúcar, por esto se hacen cuestionamientos acerca del desconocimiento de algunas interacciones de propiedades químicas de lixiviados que podrían contribuir al manejo edáfico; en este sentido, el nitrógeno (N) y fósforo (P) son dos de los nutrientes más limitantes en sistemas de cultivo de caña de azúcar y sus formas disponibles, entonces, una pregunta asociada a este problema es:

¿macronutrientes como N y P podrían perderse por lixiviación en el suelo con diferentes manejos de enmiendas?

**Propósito:** definir el manejo agronómico de diferentes enmiendas a partir de la determinación en laboratorio de las cantidades de nitratos y fosfatos en los lixiviados de suelos con alta saturación de magnesio intercambiable.

**Metodología:** en el Valle del Cauca se emplearon muestras de suelo con dosis y aplicaciones de las enmiendas agrícolas (sulfato de calcio y compost de cachaza). La estimación de formas de nitrógeno (nitratos) y fósforo (fosfatos) se realizó por determinación colorimétrica en un tiempo de monitoreo de 5 semanas.

**Resultados y conclusiones:** los nitratos y fosfatos en los lixiviados se consiguieron en suelos sin aplicación de enmiendas y los tratamientos con compost de cachaza determinaron las menores pérdidas de fosfatos.

**Palabras clave:** caña de azúcar, fosfatos, nitratos, salinidad del suelo

## ABSTRACT

**Contextualization:** The quantification of chemical parameters in the leachate provides technical information for the state of soil health in the face of nutrient loss, therefore, these results are part of the institutional research management of the UNAD in the project called “Effect of amendments and nitrogen fertilization on sugarcane productivity in soil conditions of Valle del Cauca with high saturation of exchangeable  $Mg^{+2}$ ”.

**Knowledge gap:** In the problem of agricultural soils with a tendency to salinity and high saturation of exchangeable magnesium ( $Mg^{+2}$ ), the productivity of crops such as sugar cane is limited, and this is how questions are raised about the lack of knowledge of some interactions. of chemical properties of leachates that could contribute to soil management; In this sense, nitrogen (N) and phosphorus (P) are 2 of the most limiting nutrients in sugarcane cultivation systems and their available forms, therefore, a question associated with this problem is: could they be lost

through leaching in the soil with different management of amendments?

**Purpose:** Laboratory determination of the amounts of nitrates and phosphates in leachates from soils with high saturation of exchangeable magnesium to define the agronomic management of different amendments.

**Methodology:** In soils from Valle del Cauca, soil samples were used with doses and applications of agricultural amendments (calcium sulfate and cachaça compost. The estimation of forms of nitrogen (nitrates) and phosphorus (phosphates) was carried out by colorimetric determination in a time 5-week monitoring.

**Results and conclusions:** The nitrates and phosphates in the leachates were obtained in soils without the application of amendments; Treatments with cachaça compost determined the lowest losses of phosphates.

**Keywords:** nitrates, phosphates, soil salinity, sugar cane

## 1. INTRODUCCIÓN

En la ciencia del suelo el problema de salinidad por alta saturación de Magnesio ( $Mg^{+2}$ ), es un tema importante en términos de limitantes en el cultivo de caña de azúcar en el Valle del Cauca, los cuales podrían tener efectos en la reducida oferta de nutrientes en la solución del suelo. A partir de estas condiciones, se incluye el manejo de enmiendas para favorecer la dinámica de microorganismos funcionales del suelo con el fin de proyectar un agroecosistema saludable en función del tiempo.

En la cadena productiva de la agroindustria de la caña de azúcar en el Valle del Cauca, se resalta la identificación e importancia de los suelos magnésicos, cuyas concentraciones pueden estar en niveles cercanos o superiores a los de calcio en las áreas más fértiles, generando mayor susceptibilidad de estos terrenos en la reducción de las propiedades hídricas con concentraciones relativamente más bajas de sodio y otros nutrientes (Madero *et al.*, 2004).

El  $Mg^{+2}$  en la fase intercambiable puede disminuir el crecimiento de las plantas debido a un efecto inmediato de toxicidad. La rebaja en la productividad puede atribuirse a

una deficiencia del calcio que es causada por altas concentraciones de  $Mg^{+2}$  en el suelo. Por tanto, se recomienda una evaluación minuciosa cuando la relación Ca/Mg sea menor que uno. En este caso la determinación del contenido de  $Ca^{+2}$  edáfico disponible es necesario para resolver si se debe completar una enmienda cálcica (García, 1989) y mantener el equilibrio químico de estos dos elementos.

De acuerdo con González (2001), la concentración iónica en las aguas para riego puede variar en función del producto de solubilidad de diferentes solutos predominantes, sujetos al fenómeno de concentración por ascenso capilar ( $Na^+$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^+$ ,  $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ ) y también por concentración relativa de Ca por  $HCO_3^-$  y  $SO_4^{2-}$ , (Mthandi *et al.*, 2014); por tanto, es preciso reconocer el papel que puede jugar de forma adversa en los suelos agrícolas la concentración de  $Mg^+$  intercambiable para un posible manejo con enmiendas orgánicas o minerales, teniendo en cuenta que la gran cuenca del Valle del Cauca está dominada por minerales ferromagnesianos.

En la interpretación de la distribución geográfica de los suelos

magnésicos es conveniente aplicar un manejo agronómico, puesto que ya se han tenido en cuenta la influencia de la calidad de las aguas de riego en el equilibrio químico de suelos fértiles en zonas semiáridas como las del Valle del río Cauca (Pla, 1989).

Por las condiciones ambientales anteriores y texturas de suelos francas, una alta cantidad del agua de lluvia o láminas de riego estaría lixiviando sales y otros minerales; por tal razón, las tasas de infiltración relativamente altas podrían lavar

nitratos y fosfatos si no se tienen elementos o moléculas que lo retengan.

De acuerdo con Sanclemente *et al.* (2021), para evitar la pérdida de estos nutrientes en agroecosistémicas, se deben considerar técnicamente labores de manejo de enmiendas y analizar las interacciones bioquímicas que permitan establecer equilibrio dinámico del sistema productivo, para generar rutas de intervención en el marco de la sustentabilidad de cultivos.

## 2. METODOLOGÍA

Las muestras del suelo agrícola del orden Vertisol fueron obtenidas de un sistema de cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) variedad CC01-1940, cuyos contenidos de humedad están clasificados en C3 según la zonificación agroecológica para el cultivo de caña de azúcar en el del Valle del río Cauca (CENICAÑA, 2001). Dichas muestras se colocaron en contenedores de vidrio transparente con volúmenes de suelo conocidos cuyas dosis y aplicaciones de las enmiendas agrícolas se calcularon en función

del volumen de suelo utilizado. Los tratamientos se especifican así:

- Aplicación de enmienda: sulfato de calcio.
- Aplicación de enmienda: compost de cachaza.
- Aplicación de enmienda: compost de cachaza + sulfato de calcio.
- Testigo (sin aplicación de enmienda).

Para simular un riego del cultivo, se aplicó una lámina de agua estimando la capacidad de campo, posteriormente se recolectaron los

lixiviados derivados del proceso (diez repeticiones por tratamiento); las determinaciones de nitratos y fosfatos fueron realizadas en el laboratorio multipropósito de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), campus Palmira.

La estimación de formas de nitrógeno (nitratos) y fósforo (fosfatos) se efectuó por determinación colorimétrica en un tiempo de monitoreo de cinco semanas; para el caso de los iones nitratos, se reducen a iones nitritos en medios ácidos y estos forman una amina aromática resultando un colorante azoico amarillo anaranjado, el rango de valoración es:  $1 - 120\text{mg/L NO}_3^-$ . En la determinación colorimétrica de los

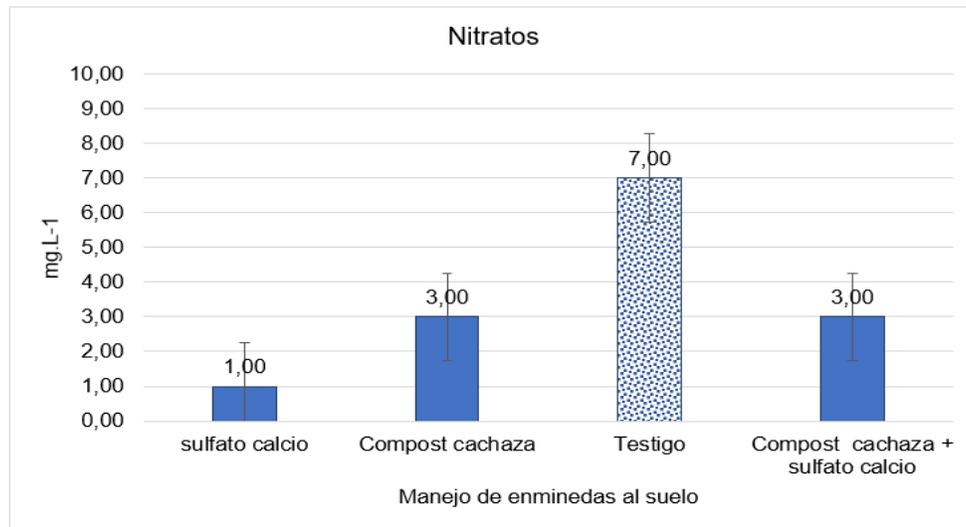
iones fosfato, el molibdato de amonio forma un ácido-fosfomolibdico con los fosfatos, el cual se reduce a azul de fosfomolibdico. El rango utilizado fue de  $0,2 - 5\text{ mg/L POCP}$ .

El análisis estadístico de Shapiro-Wilks mostró una distribución normal con un nivel de significancia de  $0,05$ . Los datos se procesaron de forma descriptiva para identificar los tratamientos con mayores promedios de lixiviación de nitratos y fosfatos. Se tuvo en cuenta el pH y la cantidad de calcio y magnesio intercambiable para el análisis de correlación de *Pearson* clasificándose como positiva (según Hernández *et al* en 2014) y de alta significancia con valores  $> 0,90$ .

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El manejo del suelo sin aplicación de enmienda sólida (testigo) fue el tratamiento que presentó las mayores cantidades de nitratos en el

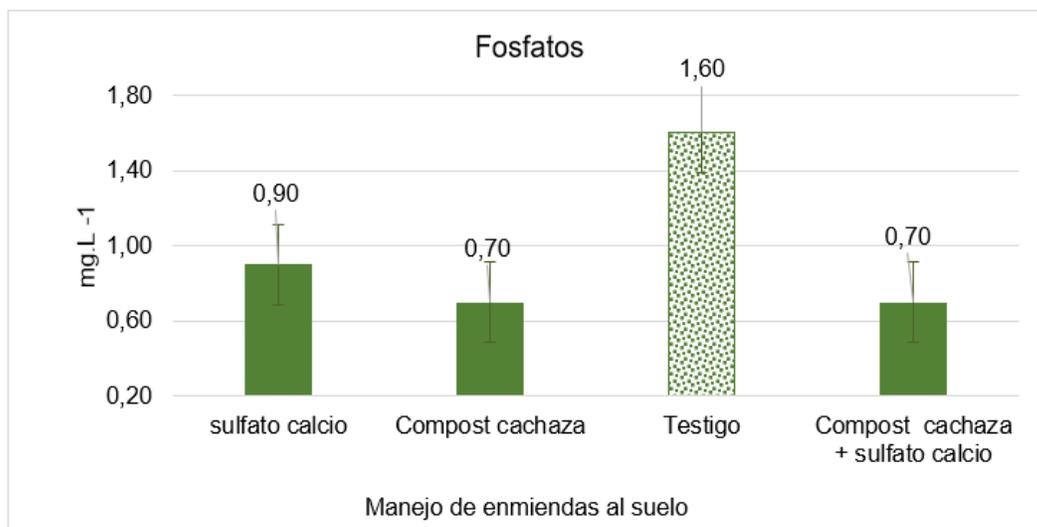
lixiviado (Figura 1) y, en contraste, la enmienda sulfato de calcio presentó los menores valores de esta molécula.



**Figura 1.** Estimación de nitratos de lixiviados del suelo con aplicación de enmiendas **Fuente:** autores.

Para el caso de fosfatos, se presentó la misma tendencia de lixiviación cuando no se aplicó alguna enmienda, por tanto, los tratamientos que contenían compost de cachaza presentaron los menores valores (Figura 2), lo que podría relacionar una alta retención iónica

por parte de grupos carboxílicos de la materia orgánica, como lo reporta Ararat (2019), donde altas cantidades de materia orgánica y el metabolismo microbiano hacen la función de retención rápida o parcial en el componente mineral del suelo.



**Figura 2.** Estimación de fosfatos de lixiviados del suelo con aplicación de enmiendas. **Fuente:** autores.

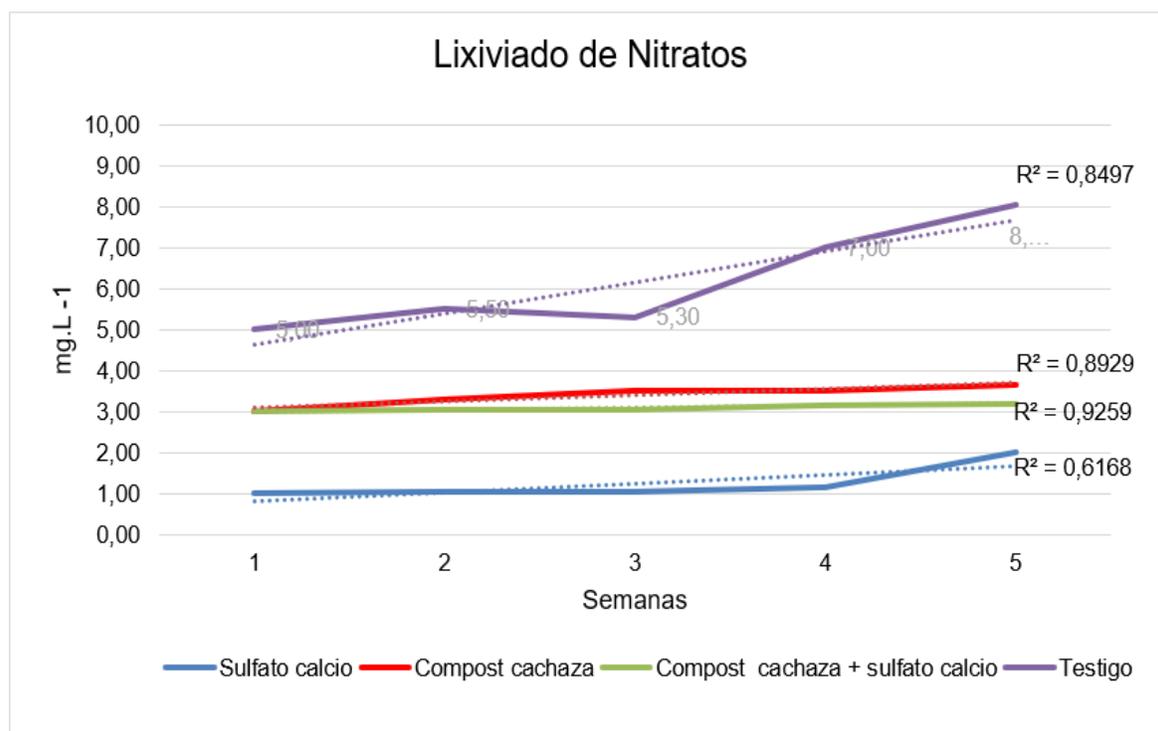
Para analizar el comportamiento de los tratamientos de enmiendas en función del tiempo (5 semanas), el tratamiento sin aplicación de enmienda (testigo), presentó valores más altos de lixiviación tanto para

nitratos como para fosfatos en cada momento de monitoreo (figuras 3 y 4), presentando una equivalencia de pérdidas de 14,93 kg. ha<sup>-1</sup> y 7,57 kg. ha<sup>-1</sup> respectivamente (Tabla 1).

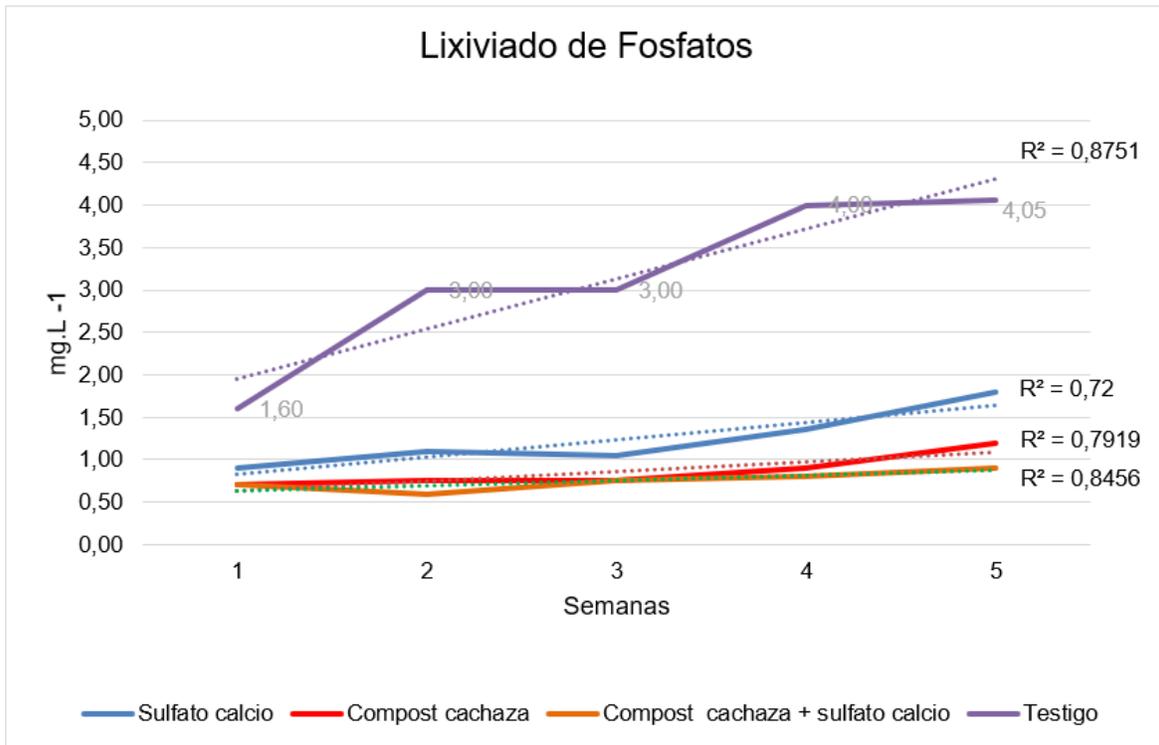
**Tabla 1.** Cantidades estimadas de pérdidas de nitratos y fosfatos por lixiviación en el suelo bajo diferentes aplicaciones de enmiendas.

Nutriente	Pérdidas en el suelo (kg. ha <sup>-1</sup> ) bajo diferentes enmiendas			
	Sulfato calcio	Compost cachaza	Compost cachaza + sulfato calcio	Testigo (sin aplicación)
Nitratos	3,03	8,20	7,48	14,93
Fosfatos	3,00	2,08	1,82	7,57

**Fuente:** autores.



**Figura 3.** Ilustración de nitratos de lixiviados del suelo con aplicación de enmiendas en función del tiempo. **Fuente:** autores.



**Figura 4.** Ilustración de fosfatos de lixiviados del suelo con aplicación de enmiendas en función del tiempo. **Fuente:** autores.

La Tabla 2 expone una correlación positiva fuerte ( $> 0,80$ ), definida como directamente proporcional entre pH del suelo y fosfatos ( $0,98$   $p < 0,05$ ), pero inversamente proporcional con los nitratos ( $-0,81$ ,  $p < 0,05$ ). Esto indica la diferencia de cada nutriente en su ciclo correspondiente con respecto a la reacción del suelo, para el caso de

suelos salinos con alta saturación de  $Mg^{+2}$ , se relaciona la deficiencia de nitrógeno en el cultivo de caña con pérdida de nitratos ( $0,80$ ,  $p < 0,05$ ).

Tanto para nitratos como para fosfatos, la lixiviación aumenta en función del tiempo en ausencia de enmiendas.

**Tabla 2.** Correlación estadística de nitratos y fosfatos con pH y bases intercambiables del suelo

Parámetro químico	pH (1:1)	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Ca <sup>+2</sup> int. meq.kg <sup>-1</sup>	Mg <sup>+2</sup> int. meq.kg <sup>-1</sup>
pH (1:1)	1,000				
Nitratos (mg/L)	<b>-0,816</b>	1,000			
Fosfatos (mg/L)	0,980	<b>0,816</b>	1,000		
Ca <sup>+2</sup> Inter. (meq.kg <sup>-1</sup> )	0,082	-0,408	-0,082	1,000	
Mg <sup>+2</sup> Inter. (meq.kg <sup>-1</sup> )	-0,375	<b>0,805</b>	0,375	-0,273	1,000

**Fuente:** autores.

## 4. CONCLUSIONES

Las mayores cantidades de nitratos y fosfatos en los lixiviados se obtuvieron en suelos sin aplicación de enmiendas, representado en pérdidas de 14,93 y 7,57 kg.ha<sup>-1</sup> respectivamente.

Los tratamientos cuya composición tenían compost de cachaza representaron las menores pérdidas

de fosfatos, lo que indica un factor de manejo de enmiendas en suelos magnésicos.

Se obtuvo una asociación lineal negativa en la correlación de nitratos y pH del suelo (-0,81), lo que implica riesgos de pérdidas de este nutriente a medida que aumenta el pH por salinidad.

## REFERENCIAS

Ararat M. y Puentes O. (2019). Comportamiento de la actividad metano-génica específica (AME) en diferentes lodos orgánicos procedentes de la agroindustria del Valle del Cauca. *Documentos De Trabajo ECAPMA*, 3(2). <https://doi.org/10.22490/ECAPMA.3161>

García, A. (1989). Determinación de la salinidad del suelo. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/20233>.

González A. (2001). Efecto de la aplicación de aguas bicarbonatadas sobre las propiedades físicas y químicas de algunos suelos del Valle del Cauca y Tolima. Tesis Doctoral. Universidad Nacional. de Colombia, Palmira. 138 p.

Hernández R., Fernández C. y Baptista M. (2014). *Metodología de la Investigación*. Editorial Mc GRAW-HILL

Madero E., Malagón C. y García A. (2004). *Una mirada al origen y las propiedades de los suelos magnésicos en el Valle del Cauca, Colombia*.

Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/22021>

Mthandi J., Kahimba F., Tarimo A., Salim B., Lowole M. (2014). Nitrogen Distribution Model: A Farmer and Farm-Centre Model to Monitor N Movement in the Soil. *Journal of Water Resource and Protection*, 6(16).

<http://dx.doi.org/10.4236/jwarp.2014.616141>

Pla I. (1989). *Salsodimar: Un modelo práctico para la predicción y control de la salinidad y sodicidad en tierras de regadío*. Universidad Central de Venezuela. Maracay.

Sancllemente O., Ararat M., Gallo P., García M. (2021). *Relaciones agroambientales en sistemas productivos rurales*. Grupo de Investigación: Producción Sostenible. Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

<https://doi.org/10.22490/9789586518048>



**Licencia de Creative Commons**

Revista Working Papers ECAPMA is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.