

Fertilidad del suelo: la fracción soluble como indicador de calidad

Soil fertility: the soluble fraction as an indicator of quality

José Alberto Urrieta Velazquez^{1*}, Jesús Arcadio Muñoz Villalobos², Petra Andrade Hoyos³, Erika Nava Reyna¹

¹CENID-RASPA, INIFAP. Km. 6.5 Margen Derecha Canal de Sacramento S/N, Ejido Las Huertas, Gómez Palacio, Durango. CP. 35140.

²C. E. Delicias. INIFAP. Km. 2 Carretera Delicias-Rosales, Centro, Cd. Delicias, Chihuahua. C. P. 33000.

³C. E. Zacatepec, INIFAP. Carretera Zacatepec-Galeana S/N, Colonia IMMS. C. P. 62780, Zacatepec, Morelos, México.

*Autor para correspondencia: urrieta.jose@inifap.gob.mx

RESUMEN

La fertilidad de un suelo natural es capaz de proveer los nutrimentos y condiciones biológicas, físicas y químicas para el crecimiento de la vegetación, la cual se vulnera cuando se cambia el uso de suelo, es por ello que se considera un recurso natural no renovable. Para mantener la calidad es necesario cuantificarla para sostener la producción de alimentos, un indicador importante es la fracción soluble de los nutrimentos, que son formas que los cultivos pueden absorber para su nutrición o pueden ser lixiviados en los sistemas de cultivo cuando hay mal manejo del riego o sobrefertilización. Así, el objetivo de este trabajo fue cuantificar los elementos solubles y otros parámetros generales del suelo. Para realizarlo, se tomaron muestras compuestas de suelo con manejo forestal, considerando un área natural, una reforestada y aprovechada. Se hicieron muestras compuestas considerando cuatro repeticiones o puntos para cada área en una capa superficial y una profunda. Se hizo el análisis del extracto saturado de pasta de las muestras incluyendo pH, CE (dS/m), sodio ($\text{cmol}\cdot\text{L}^{-1}$), nitrato (NO_3^-) y fosfatos (PO_4^-), adicionalmente se determinó el contenido de materia orgánica (0-30 cm). La información fue analizada a través de un análisis de varianza y una prueba de medias de Tukey ($\alpha=0.05$). Las observaciones mostraron que no ha habido cambios en el pH y la CE del suelo entre las capas analizadas ni entre condiciones de manejo ($\alpha=0.05$), lo mismo ocurrió con los contenidos de Na^+ , NO_3^- y PO_4^- , lo cual es indicador que no se están dando procesos de lixiviación que cause impactos negativos en regiones aledañas y cuerpos de agua cercanos. Ello también es buen indicador de que el manejo forestal y prácticas de aprovechamiento del arbolado y obras de conservación de suelo no están causando impactos negativos en el suelo.

Palabras clave: lixiviación, nutrimentos solubles, sostenibilidad

ABSTRACT

The fertility of a natural soil is capable of providing nutrients and biological, physical and chemical conditions for the growth of vegetation, which is undermined when land use changes, which is why it is considered a non-renewable natural resource. To maintain quality, it is necessary to quantify it to sustain food production. An important indicator is the soluble fraction of nutrients, which are forms that crops can absorb for their nutrition or can be leached in crop systems when there is poor irrigation management or over-fertilization. Thus, the objective of this work was to quantify the soluble elements and other general soil parameters. To do so, composite soil samples were taken from forest management areas, considering a natural area, a reforested area and a harvested area. Composite samples were made considering four repetitions or points for each area in a superficial and a deep layer. The saturated extract of the samples was analyzed, including pH, EC (dS/m), sodium ($\text{cmol}\cdot\text{L}^{-1}$), nitrate (NO_3^-) and phosphates (PO_4^-). Additionally, the organic matter content (0-30 cm) was determined. The information was analyzed through an analysis of variance and a Tukey mean test ($\alpha=0.05$). Observations showed that there have been no changes in the pH and EC of the soil between the layers analyzed or between management conditions ($\alpha=0.05$). The same occurred with the contents of Na^+ ,



NO_3^- and PO_4^- , which is an indicator that leaching processes are not occurring that cause negative impacts in surrounding regions and nearby water bodies. This is also a good indicator that forest management and tree use practices and soil conservation works are not causing negative impacts on the soil.

Keywords: leaching, soluble nutrients, sustainability

INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural no renovable, caracterizado por ser un sistema complejo, heterogéneo, con niveles variables de materia orgánica y minerales, los cuales constituyen la matriz del suelo, facilitando el flujo y retención de aire y agua, los cuales se mueven en los poros. Además, posee una población activa de microorganismos (bacterias, hongos, algas, etc.), insectos y fauna con un relevante rol en la génesis del suelo, crecimiento vegetal y ciclo del carbono (Vistoso y Martínez, 2022). Es por ello que la fertilidad del suelo en su definición conceptual, indica que es la capacidad de un suelo de nutrir a las plantas o la habilidad de sostener el crecimiento de las mismas a través de nutrientes esenciales y condiciones favorables químicas, físicas y biológicas (Vega-Blancas *et al.*, 2022; Dobermann *et al.*, 2022). Para suelos agrícolas, la fertilidad del suelo se determinó por mucho tiempo a través de su contenido de nutrientes (macronutrientes y micronutrientes), materia orgánica, pH, CE y algunas propiedades físicas como la textura, densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchitez permanente basados en la NOM-021 (SEMARNAT, 2002), no obstante, algunos investigadores (Etchevers 1999, Etchevers *et al.*, 2014) han propuesto el análisis del suelo en sus fracciones extractable (contenido de nutrientes que potencialmente puede aportar un suelo) y soluble (contenido de nutrientes que están en solución en el suelo y que los cultivos pueden absorber), con lo cual es posible determinar no solo la disponibilidad de los nutrientes, sino que también se pueden detectar problemas de lixiviación de nutrientes como el nitrato (NO_3^-) en el perfil del suelo (Zamudio-González *et al.*, 2011). Recientemente, éste nuevo enfoque se está implementando de forma práctica para el manejo del fertirriego en cultivos intensivos en suelo y sustratos. Ello debido a que permite el monitoreo de las concentraciones de iones que están en solución y que son las formas disponibles para los cultivos, además, están en equilibrio con la matriz mineral y orgánica del suelo (Grohskopf *et al.*, 2015). Esto significa que de manera práctica es posible

balancear la solución del suelo con base en el requerimiento de nuestro cultivo.

Es importante señalar que en la práctica, el análisis de la solución del suelo principalmente se hace utilizando electrodos específicos para nitrato, potasio, calcio, magnesio, sodio, sulfato o fósforo, eliminando la posibilidad de cuantificar iones quelatados por compuestos orgánicos biosintetizados por microorganismos o plantas (He *et al.*, 2021); es por ello que es recomendable analizar mediante el extracto saturado de pasta para disolver todos los iones presentes en la “solución del suelo” y puedan ser cuantificados, ya que muchos de esos iones adsorbidos en la matriz orgánica de la solución del suelo también pueden ser absorbidos por las plantas. Esto resalta la importancia de mantener niveles elevados de materia orgánica en los suelos para favorecer la proliferación de poblaciones microbianas que nos ayuden a mantener los iones fertilizantes en el suelo disponibles para las plantas. De lo contrario, puede ocurrir lixiviación de los mismos y causar contaminación de cuerpos de agua superficial o subterránea (Marcano y Elizalde, 2010; Rodríguez *et al.*, 2016). Para que ello se considere contaminación, es importante tener niveles de referencia normales o seguros, de acuerdo a reportes oficiales (CONAGUA, 2018), que para aguas superficiales las variables que se monitorean son la demanda bioquímica de oxígeno (>30 y >120 mg/L para las categorías contaminada y fuertemente contaminada), demanda química de oxígeno (>40 y >200 mg/L para las categorías contaminada y fuertemente contaminada), sólidos suspendidos totales y coliformes fecales. Lo cual nos puede dar idea de la proliferación de microorganismos y presencia de especies químicas demandantes de oxígeno como el fósforo y nitrógeno, que tienden a oxidarse. Mientras que, para aguas subterráneas, se hace referencia al proceso de salinización (agua dulce: <1000 mg/L, ligeramente salobre: $1000-2000$ mg/L, salobres: $2000-10,000$ mg/L y salinas: $>10,000$ mg/L). Estos pueden ser indicadores de calidad desde el punto de vista ambiental y agrícola, al representar un problema para su uso sin llevar un proceso de tratamiento y no

represente un problema en el futuro (Sepúlveda *et al.*, 2011). Es por ello que es importante el monitoreo de algunas variables del suelo para evitar esos procesos de contaminación de cuerpos de agua, así, el objetivo de este trabajo de investigación fue cuantificar la fracción soluble de algunos iones del suelo para detectar problemas de lixiviación en el perfil del suelo bajo diferentes condiciones de manejo forestal.

MATERIALES Y MÉTODOS

El sitio de estudio se eligió en la sierra de Durango, en el poblado de Echeverría de la Sierra (23° 48' 55" N y 105° 03' 00" W), que se ubica a una altitud de 2496-2564 msnm con precipitación media anual de 800-1200 mm con suelos ligeros y delgados. En el sitio se hace manejo forestal, dentro del cual se tomaron muestras de suelo en un sitio testigo sin perturbar o natural, un sitio en recuperación o refosrestado y un sitio recién aprovechado o talado. Las muestras fueron compuestas (tres submuestras por punto) en cuatro puntos de muestreo, tomando en la capa superficial de 0-10 cm y en la más profunda para buscar variaciones entre condiciones de manejo. Las muestras fueron analizadas a través del extracto saturado de pasta, realizando una digestión húmeda para solubilizar todos los iones presentes en la solución del suelo y posterior lectura en un equipo de absorción atómica (PerkinElmer AAnalyst 700, 190-900 nm) para cuantificar Na⁺ (Sonmez *et al.*, 2007) y NO₃⁻ y PO₄⁻ se determinaron por colorimetría usando un espectrofotómetro UV-Vis (Modelo GENESYS 50, 200-800 nm) a 420 nm. Las variables pH y CE se determinaron utilizando un electrodo (HI1285-51) y la materia orgánica en el perfil del suelo de 0-30 cm (Walkley y Black, 1934).

El análisis de las variables se hizo bajo un diseño experimental factorial 3X2 con cuatro repeticiones a través de un ANOVA y la prueba de comparaciones múltiples de medias de Tukey ($\alpha=0.05$) utilizando el software estadístico SAS/STAT v15.2 (SAS Institute Inc., 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La región muestreada presenta principalmente bosque de pino-encino con suelo delgado. Esto es importante ya que propiedades del suelo como el contenido de materia orgánica, conductividad

eléctrica y pH cambian por su acumulación y descomposición (Julca-Otiniano *et al.*, 2006). No obstante, como se observa en el Cuadro 1, el pH del suelo fue de neutro (SEMARNAT, 2002) y sin cambios significativos entre las capas analizadas del perfil del suelo ni entre condiciones de suelo ($\alpha=0.05$), únicamente de detectó una tendencia a la acidez en la capa superficial, sobre todo en la condición natural y el área recién aprovechada.

La conductividad eléctrica como un indicador del contenido general de iones en el suelo es importante para entender la fertilidad del suelo que pueda soportar el crecimiento de la vegetación como en este caso donde el máximo valor registrado fue de 0.31 dS/m, muy debajo del límite máximo de un suelo no salino según la NOM-021 (SEMARNAT, 2002). La cual, en el estudio, no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($\alpha=0.05$) en las dos profundidades analizadas ni entre condiciones de manejo (Cuadro 1). Esto significa que el aprovechamiento del arbolado se hace de forma adecuada al no alterar estas propiedades del suelo, ya que en su estado natural fue similar en su pH y CE con respecto al suelo que se encuentra en el área aprovechada (recién talada) y la reforestada (con 18 años de crecimiento).

Cuadro 1. Indicadores de pH y conductividad eléctrica (CE) como parte de la salud del suelo en Echeverría de la Sierra, Durango.

Condición	Profundidad	pH	CE dS/m
Natural	Superficial	6.84a	0.25a
	Fondo	7.00a	0.18a
Aprovechado	Superficial	6.89a	0.31a
	Fondo	7.19a	0.27a
Reforestada	Superficial	6.63a	0.14a
	Fondo	6.60a	0.08a
CV† (%)		6.23	111.99
Condición		ns	ns
Profundidad		ns	ns
CondiciónXProfundidad		ns	ns

†Coeficiente de variación; ns: no significativo con $\alpha=0.05$.

Otro de los indicadores de la calidad del suelo fue el sodio, el cual se encontró en un rango de concentración en la solución del suelo de 0.07 a 0.22 cmol⁺·L⁻¹ muy por debajo del límite bajo de la categoría "Muy Bajo" de la NOM-021 (SEMARNAT,



2002), sin encontrarse diferencias estadísticas significativas entre la capa superficial y del fondo del perfil del suelo ($\alpha=0.05$), como ocurrió al comparar entre condiciones de manejo forestal. Esto es importante ya que se observa que el manejo del arbolado no está causando impactos negativos en esa región, además de que los niveles de Na^+ son muy bajos en comparación con suelos con problemas de sodicidad.

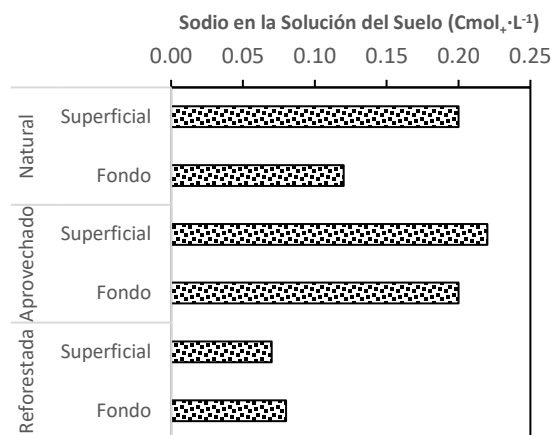


Figura 1. Fracción soluble de sodio en dos capas del perfil de suelos bajo tres condiciones de manejo forestal.

El contenido de nitratos en los suelos fue otro de los indicadores de la calidad del suelo, el cual representa la fracción soluble en este estudio pues es la parte que potencialmente podría ser lixiviada y transportada a cuerpos de agua subterránea o superficial causando problema para el consumo humano u otros problemas ambientales como la proliferación de microorganismos (Veizaga y Rodríguez, 2016). Las concentraciones encontradas en la solución del suelo forestal bajo diferentes condiciones de manejo variaron de 0.53 a 2.38 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, sin observarse diferencias estadísticas significativas entre las capas del perfil del suelo analizadas ni tampoco entre las condiciones de manejo donde fueron tomadas las muestras. Esto es indicador de que las condiciones de manejo forestal no están causando cambios significativos en el suelo con respecto a su estado natural. En comparación con los niveles permitidos de nitratos en el agua potable de 11 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (NOM-127-SSA1-2021), los valores encontrados no representan ningún riesgo para la salud humana en la región. En una investigación con lixiviación de nitrato (2011), Zamudio-González y colaboradores reportaron

valores de más de 100 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ y por encima de 5800 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, lo cual indica que la aplicación de fuentes fertilizantes con nitratos representa un mayor riesgo de contaminación.

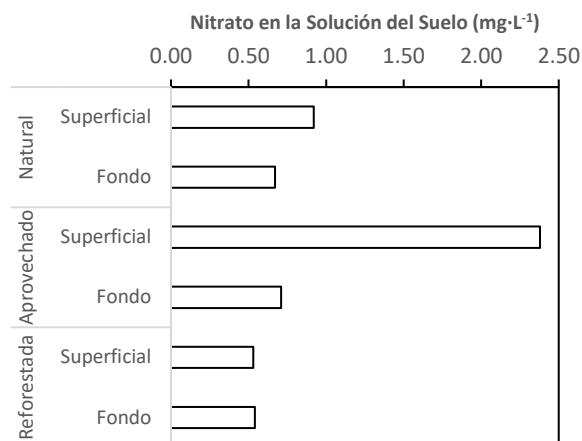


Figura 2. Fracción soluble de nitrato (NO_3^-) en dos capas del perfil de suelos bajo tres condiciones de manejo forestal.

El contenido de fósforo en los suelos es bajo en general, sin embargo, en regiones donde la actividad agrícola es intensiva pueden ocurrir excesos en las aplicaciones de éste elemento y causar problemas de contaminación de cuerpos de agua causando eutrofización en ellos (Pérez-Díaz *et al.*, 2019). Es por eso que es importante su monitoreo tanto en la actividad agrícola como en cualquier otra donde se modifique el ambiente natural como el bosque de pino-encino que aquí se presenta. Así, los datos observados muestran que la actividad forestal de la región no ha causado cambios significativos en el contenido de fósforo soluble ($\alpha=0.05$), pues como de muestra en el Figura 3, los valores registrados en el suelo en su estado natural son muy similar al suelo en áreas donde ya se aprovechó el arbolado y donde ya se está recuperando, con valores de 2.25 a 6.27 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. El hecho de que se encuentre fósforo soluble en el suelo es muy importante porque es un buen indicador de que no se está perdiendo por erosión hídrica o algún otro proceso como la lixiviación. Un factor importante de que se conserve el fósforo y el suelo en la zona de manejo forestal es que los técnicos forestales en conjunto con los ejidatarios han implementado obras de conservación de suelos como el cabeceo, presas de gavión y barreras físicas con ramas provenientes de los aprovechamientos que se hacen en los rodales.

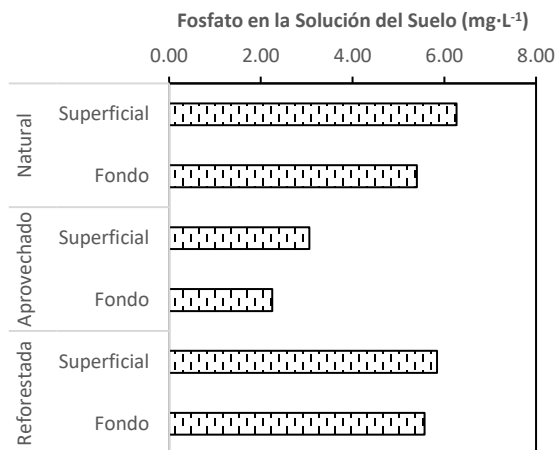


Figura 3. Fracción soluble de fósforo (PO_4) en dos capas del perfil de suelos bajo tres condiciones de manejo forestal.

Las condiciones generales del suelo de la región estudiada son buenas, pues no se observaron cambios significativos en los iones presentes en la fracción soluble, que son las formas químicas en las que pueden representar un problema potencial para otras áreas naturales o cuerpos de agua cercanos (García, 2012). Otro de los factores que puede estar ayudando a este equilibrio es el contenido de materia orgánica, el cual varió de 1.98% a 3.33% y representa un contenido medio de MO según la NOM-021 (NOM-021-RECNAT-2000) para suelos no volcánicos. Ello significa que existe aún un equilibrio en el suelo que mantiene los niveles adecuados de fertilidad para la regeneración del sotobosque en las plantaciones forestales.

La fracción soluble del suelo puede ser un indicador potencial de la calidad o salud de suelo debido a que es posible comparar entre capas del perfil del suelo para detectar procesos de lixiviación y cambios en el contenido de iones con potencial contaminante (Na^+ , NO_3^- , PO_4^-) en condiciones de suelo natural y bajo algún otro uso.

La actividad forestal en la región de Echeverría de la Sierra, Durango no está causando cambios significativos en el contenido de nutrientes solubles en el suelo de la región.

Fuente financiadora

La fuente financiadora fue el INIFAP a través del proyecto fiscal No. 8295235642.

LITERATURA CITADA

- CONAGUA. (2018) Estadísticas del agua en México. Comisión Nacional del Agua. SEMARNAT. http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf
- Etchevers B. J. D. (1999) Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutricional de los cultivos. *Terra Latinoamericana* 17(3), 209-219. En línea: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57317305>
- Etchevers-Barra J. D., Padilla C. J., Moreno H. C., Tasistro A. (2014) ¿Por qué hay confusión en la interpretación de los análisis químicos de suelos en México? *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* 14, 10-13. En línea: [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/5A6124D757A4BC2E85257CE9007D537D/\\$FILE/10.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/5A6124D757A4BC2E85257CE9007D537D/$FILE/10.pdf)
- García O. A. (2012) Criterios modernos para la evaluación de la calidad del agua para riego. *IAH* 6, 26-34. [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/6E4999FFE5F6B8F005257A920059B3B6/\\$FILE/Art%205.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/6E4999FFE5F6B8F005257A920059B3B6/$FILE/Art%205.pdf)
- Grohskopf M. A., Cassol P. C., Corrêa J. C., Albuquerque J. A., Ernani P. R., Mafra M. S. H., Mafra A. L. (2016) Soil solution nutrient availability, nutritional status and yield of corn grown in a typic hapludox under twelve years of pig slurry fertilizations. *Rev. Bras. Cienc. Solo.* 40:e0150341.
- He M., Xiong X., Wang L., Hou D., Bolan N. S., Ok Y. S., Rinklebe J., Tsang D. G. W. (2021) A critical review on performance indicators for evaluating soil biota and soil health of biochar-amended soils. *Journal of Hazardous Materials* 414, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125378>
- Julca-Otiniano A., Meneses-Florián L., Blas-Sevillano R., Bello-Amez S. (2006) La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *IDESA (Chile)* 24(1), 49-61. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>
- Marcano L., Elizalde G. (2010) Nitrato lixiviado de columnas de suelo sin disturbar, Pertenecientes a dos suelos de la cuenca



- del lago de valencia. *Revista de la Facultad de Ingenieria U. C. V.* 25(2), 67-72. http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_fiucv/issue/view/252
- NOM-127-SSA1-2021. 2022. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua. Diario Oficial de la Federación. 02/05/2022. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5650705&fecha=02/05/2022&print=true
- Pérez-Díaz J. P., Ortega-Escobar H. M., Ramírez-Ayala C., Flores-Magdaleno H., Sánchez Bernal E. I., Can-Chulim A., Mancilla-Villa O. R. (2019) Concentración de nitrato, fosfato, boro y cloruro en el agua del río Lerma. *Ecosist. Recur. Agrpec.* 6(16), 175-182. <https://era.ujat.mx/index.php/rera/issue/view/81>
- Rodríguez S. C., De Asmundis C. L., Martínez G. C. (2016) Variaciones estacionales de las concentraciones de fosfatos y nitratos en distintas fuentes de aguas de pequeños productores hortícolas. *Agrotecnia* 24, 30-34. <https://revistas.unne.edu.ar/index.php/agr>
- SAS Institute Inc. (2016) SAS/STAT 15.2 v9.4 para Windows. North Carolina, U.S.A.
- SEMARNAT, 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. México.
- Sepúlveda A., González E., Inostroza C. (2011) Remediación de la contaminación por nitratos en el suelo: antecedentes generales de pertenencia en zona sur de Chile. *Gestión Ambiental* 21, 13-32. <https://www.ceachile.org/revista/numeros.html>
- Sonmez S., Buyuktas D., Okturen F., Citak S. (2007) Assessment of different soil to water ratios (1:1, 1:2.5, 1:5) in soil salinity studies. *Geoderma* 144, 361-369. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.12.005>
- Veizaga E. A., Rodríguez L. B. (2016) Estudio de la dinámica del nitrato en el suelo proveniente de la actividad ganadera intensiva. *Mecánica Computacional* 34, 2239-2258. <http://fich.unl.edu.ar>
- Vistoso G. E., Martínez-Lagos J. (2022) Importancia de la fertilidad del suelo en la producción agropecuaria. *Instituto de Investigaciones Agropecuarias-Informativo INIA REMEHUE* 291. En línea: <https://biblioteca.inia.cl/items/194e7148-913e-4e78-a46c-4f1d0d8027b8>
- Walkley, A., I.A. Black., (1934) An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Sci.* 63:251-263. 10.1097/00010694-193401000-00003
- Zamudio-González B., Mendoza-Nicolás E., Alcántara-González G., Etchevers-Barra J. D., Vázquez-Alarcón A. (2011). Pérdidas de nitratos y salinización del suelo por riego por goteo con nitrógeno. *Terra Latinoamericana* 29(3), 239-248.