



DOI: [10.29298/rmcf.v14i79.1359](https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i79.1359)

Artículo de Investigación

## Efecto en las propiedades fisicoquímicas de un Regosol con cambios de uso de suelo

### Effect on the physicochemical properties of a Regosol from land use change

María Inés Yáñez Díaz<sup>1\*</sup>, Israel Cantú Silva<sup>1</sup>, Fortunato Garza Ocañas<sup>1</sup>

Fecha de recepción/Reception date: 14 de marzo de 2023.

Fecha de aceptación/Acceptance date: 11 de agosto de 2023.

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales. México.

\*Autor para correspondencia; correo-e: maria.yanezd@uanl.edu.mx; inesyd@gmail.com.

\*Corresponding author; e-mail: maria.yanezd@uanl.edu.mx; inesyd@gmail.com.

#### Resumen

Los suelos proporcionan bienes y servicios ecosistémicos que son afectados por la pérdida de su fertilidad; los cambios de uso de suelo orientados a la recuperación de áreas o a reducir la degradación influyen positivamente en sus propiedades. Este estudio se realizó en un suelo Regosol en Galeana, Nuevo León, donde se evaluaron propiedades físicas (textura, densidad aparente y resistencia mecánica a la penetración) y químicas (pH, conductividad eléctrica y materia orgánica) a dos profundidades (0-5 y 5-30 cm) en un bosque de pino, área de reforestación, uso agrícola y pastizal. Los resultados no mostraron diferencias significativas en la mayoría de las propiedades evaluadas entre usos de suelo y profundidad. La resistencia mecánica a la penetración del suelo fue una de las variables más susceptible para el uso agrícola (8.25 kg cm<sup>-2</sup>), a diferencia del bosque (22.5 kg cm<sup>-2</sup>). El pH no evidenció cambios entre los usos del suelo, mientras que entre profundidades se incrementó y presentó diferencias con una media de 7.75 (0-5 cm) y 7.81 (5-30 cm); y no hubo problemas de salinidad (0.17 dS m<sup>-1</sup>). El contenido de materia orgánica (MO) registró una tendencia de recuperación en el orden de pastizal>bosque de pino>reforestación>agrícola. La textura se clasificó como franca, con diferencias en el contenido de arena para el factor profundidad y en el de limo en el estrato de 5-30 cm entre los diferentes usos. Se concluye que los cambios de uso de suelo enfocados hacia la recuperación de áreas pueden mejorar la calidad del Regosol.

**Palabras clave:** Bosque de pino, compactación, degradación de suelos, materia orgánica, pastizal, reforestación.

#### Abstract

Soils provide ecosystem goods and services that are affected by the loss of their fertility; land use changes aimed at recovering areas or reducing degradation have a positive influence on their properties. This study was conducted in a Regosol soil in Galeana, Nuevo León, where physical (texture, bulk density, and mechanical resistance to penetration) and chemical properties (pH, electrical conductivity, and organic matter) were evaluated at two depths (0-5 and 5-30 cm) in a pine forest, reforestation area, agricultural use, and grassland. The results showed no significant differences in most of the properties evaluated between soil uses and depths. Mechanical resistance to soil penetration was one of the most susceptible variables for agricultural use (8.25 kg cm<sup>-2</sup>), as opposed to forest (22.5 kg cm<sup>-2</sup>). The pH did not show changes between soil uses, while it increased and showed differences between depths with a mean of 7.75 (0-5 cm) and 7.81 (5-30 cm), and there were no salinity issues (0.17 dS m<sup>-1</sup>). The organic matter (OM) content showed a recovery trend in the order of grassland>pine forest>reforestation>agriculture. Texture was classified as loam, with differences in sand

content for the depth factor and silt content in the 5-30 cm stratum between the different land uses. It is concluded that land use changes focused on reclamation can improve the quality of Regosol.

**Key words:** Pine forest, compaction, soil degradation, organic matter, grassland, reforestation.

## Introducción

El suelo es un recurso natural del cual dependen las civilizaciones. El crecimiento poblacional y la presión que se ejerce sobre este, principalmente por la producción de alimentos, lleva a su degradación cuando no se aplican estrategias de recuperación. Esta disminución de la capacidad para producir bienes y servicios se conoce como degradación, la cual es un factor limitante con impactos negativos severos, producto del cambio periódico en el uso que se realice (Yinka *et al.*, 2022).

El cambio de uso de suelo es la modificación de la cobertura vegetal natural a un ecosistema inducido, como tierras de cultivo y pastizales que por lo general lleva a una pérdida de su fertilidad (Gong *et al.*, 2022), ya que se afectan sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Yinka *et al.*, 2022). Sin embargo, cuando estos cambios se enfocan a una recuperación o conversión de cobertura terrestre, tal como sucede con la reforestación después del abandono de las tierras de cultivo, pueden aumentar su fertilidad con el tiempo (Smith *et al.*, 2016), además de los efectos positivos por el aumento de las especies de fauna (Nardi y Marini, 2021).

Las propiedades edáficas, como indicadores de la calidad del suelo, reflejan su capacidad para funcionar dentro de los límites del ecosistema del cual forman parte (Bautista *et al.*, 2004); si bien es posible estudiarlas de manera aislada, todas están relacionadas entre sí (López y Estrada, 2015). Las propiedades físicas, químicas y biológicas indican el comportamiento, constitución y fertilidad del suelo y son un producto inherente del proceso de formación.

En México, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) cita 25 de las 32 unidades de suelo clasificadas por el Sistema Internacional Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB por sus siglas en inglés), en las que predominan suelos someros como Leptosol y Regosol que cubren 41.5 % del territorio nacional (Semarnat, 2016). Los regosoles son un tipo de suelo que se desarrolla sobre materiales no consolidados y pobres en materia orgánica, con amplia distribución a nivel mundial y en todas las altitudes, principalmente en zonas áridas, en los trópicos secos y en las regiones montañosas (Semarnat, 2016), y son utilizados en actividades agropecuarias.

En México, el deterioro de los suelos afecta a numerosos componentes del medio social y natural; su gestión involucra a diferentes instancias, organizaciones internacionales e instituciones académicas y civiles (Semarnat, 2000). Los programas de restauración ambiental están enfocados a la vegetación, lo cual conlleva a realizar acciones para la recuperación de la capacidad y potencial natural de los suelos forestales en función de su estructura, de las prácticas de gestión aplicada y del tiempo que ha estado en condiciones de disturbio (de Andrade *et al.*, 2017); cabe señalar que la materia orgánica es una de las propiedades de mayor utilidad como indicador de su fertilidad (Salehi *et al.*, 2011; Cantú y Yáñez, 2018).

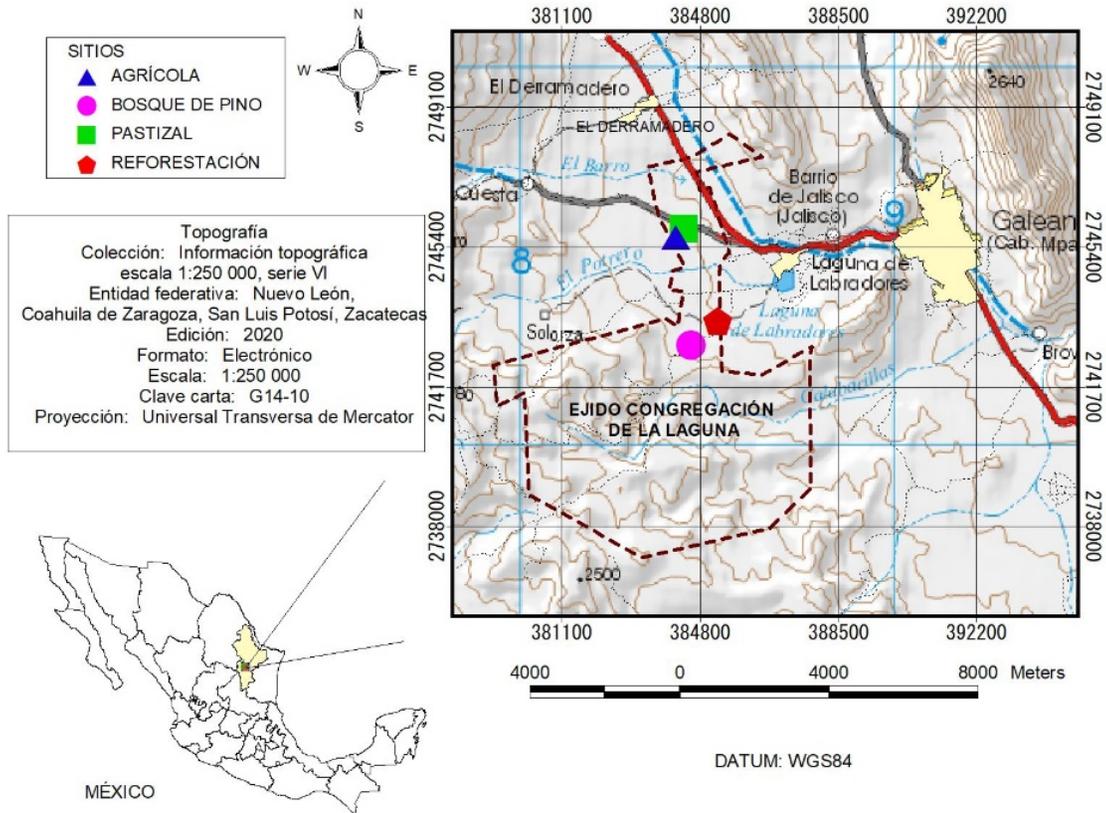
El objetivo de la presente investigación fue evaluar las propiedades físicas (textura, densidad aparente, resistencia mecánica a la penetración) y químicas (pH, conductividad eléctrica y materia orgánica) de un Regosol que presenta vegetación de bosque de pino y compararlo con áreas de reforestación forestal, de uso agrícola y pastizal.

## **Materiales y Métodos**

## Área de estudio

El área de estudio se ubicó en el ejido Congregación de la Laguna, municipio Galena, Nuevo León, México, cuyas coordenadas son 24°49'59.88" N y 100°04'01" O. El clima dominante es templado subhúmedo con lluvias de verano, la precipitación total anual fluctúa entre 600 y 800 mm, y la temperatura media anual entre 12 y 18 °C (INEGI, 2008). Los suelos dominantes en la zona pertenecen al tipo Leptosol (38.8 %) y Regosol (20 %) calcáreo. La vegetación en los valles y partes bajas es un matorral desértico rosetófilo y en las partes más altas los pinos cubren áreas considerables (INEGI, 2007).

Dentro del área, se seleccionaron cuatro sitios de 100 m<sup>2</sup> establecidos al azar. S1: Bosque de pino (BP) donde predominan *Pinus cembroides* Zucc. y *P. greggii* Engelm. ex Parl., S2: Área de reforestación (REF) con pino (*P. cembroides*) con bordos a nivel establecida en 2008, S3: Área agrícola (AGRI) de temporal con cultivos de maíz (*Zea mays* L.) y trigo (*Triticum aestivum* L.), y S4: Área de pastizal abandonado (PAST) con presencia de gramíneas, aproximadamente con 10 años de abandono, previo uso en agricultura de temporal (Figura 1).



**Figura 1.** Localización de los sitios de muestreo en el ejido Congregación de la Laguna, municipio Galeana, Nuevo León, México.

## Materiales y métodos

El muestreo consistió en un diseño experimental al azar con arreglo bifactorial (usos de suelo por profundidad). En cada sitio, se seleccionaron cuatro áreas al azar de 100 m<sup>2</sup> para la obtención de muestras compuestas derivadas de cinco submuestras a dos profundidades (0-5 cm y 5-30 cm) ( $n=32$ ) para evaluar el efecto desde la parte superficial del suelo (5 cm), hasta el desarrollo de las raíces (30 cm).

Las muestras se procesaron en el Laboratorio de Suelos y Nutrición de Bosques de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, donde se secaron a temperatura ambiente y se cribaron con una malla de 2 mm para las determinaciones de potencial de hidrógeno (pH) en una relación 1:2 de suelo-cloruro de calcio 0.01 M, medido a través de un electrodo de vidrio combinado marca *Thermo Scientific*® modelo 8172BNWP, según el método AS-23 de la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (Semarnat, 2002). Conductividad eléctrica (CE) a partir de una suspensión suelo-agua 1:5 después de 2 horas de reposo (Woerner, 1989). Tanto el pH como la CE se midieron en un pH/conductivímetro marca *Corning*® modelo 542. El contenido de materia orgánica (MO) se determinó por el método de combustión húmeda de Walkley y Black (1934); la composición granulométrica (textura) con el densímetro tipo Bouyoucos método AS-09, metodología de la NOM-021-RECNAT-2000 (Semarnat, 2002).

Para evaluar el contenido de la densidad aparente (DA) se usó el método del cilindro (Woerner, 1989), para ello se colectaron muestras inalteradas mediante cilindros metálicos de 5 cm de diámetro y 5 cm de longitud (volumen 98.175 cm<sup>3</sup>). Se obtuvieron cinco muestras por sitio en la capa superior del suelo, después de 48 horas, se pesaron y se llevaron a peso constante después de secarse a 105 °C en una estufa de aire forzado marca *Riossa*® modelo HCF-102-D. En los sitios seleccionados se evaluó la resistencia mecánica a la penetración (RMP) mediante un penetrómetro portátil tipo *Yamanaka (Orion*® 22110, MKK Co. Japan), se realizaron cinco mediciones en la superficie del suelo dentro de cada punto de muestreo.

## **Análisis estadísticos**

Los datos de las propiedades físicas y químicas evaluadas se analizaron con una prueba de normalidad de *Shapiro-Wilk* y prueba de homocedasticidad de varianzas de

*Levene* con el paquete estadístico *SPSS* (IBM, 2016). Las propiedades de pH, conductividad eléctrica (*CE*), densidad aparente (*DA*) y resistencia mecánica a la penetración (*RMP*) cumplieron con dichos supuestos. Las variables correspondientes a los contenidos de arena, limo y arcilla, se les aplicó una transformación de raíz cuadrada de la proporción de cada componente ( $\sqrt{x}$ ), y al contenido de materia orgánica (*MO*) una transformación de inverso de la proporción ( $1/x$ ) (Sokal y Rohlf, 2012).

Se realizó un análisis de varianza de dos vías (ANOVA) para el uso del suelo (Factor A), profundidad (Factor B) y su interacción (Factor A×Factor B), además de un ANOVA de un factor segmentado por profundidad para la comparación de medias entre los usos de suelo con la prueba de *Tukey* ( $p \leq 0.05$ ) (Sokal y Rohlf, 2012).

## Resultados y Discusión

Las propiedades químicas indicadoras de la calidad y los resultados para los cuatro tipos de uso (Cuadro 1) resaltaron el efecto por los cambios de uso de suelo que provocan modificaciones en la fertilidad. Los valores de pH corresponden a un suelo ligeramente alcalino (Semarnat, 2002), con un promedio de 7.70 unidades de pH en un intervalo de 7.71 (agrícola 0-5 cm) a 7.84 (pastizal 5-30 cm); los mayores valores se registraron para la segunda profundidad, con diferencias entre las dos profundidades. Esto concuerda con Martínez *et al.* (2008), quienes señalan que después de cuatro años de manejo del suelo mediante labranza se presentó una disminución de pH en la superficie. La *CE* registró valores bajos de salinidad en un  $0.159 \text{ dS m}^{-1}$  (agrícola 0-5 cm) a  $0.187 \text{ dS m}^{-1}$  (pastizal 5-30 cm) y sin diferencias significativas entre los usos de suelos para cada profundidad (Cuadro 1). Por lo

general, los suelos con textura gruesa tienen macroporos que dificultan la acumulación de sales (Encina y Valinotti, 2000).

**Cuadro 1.** Estadística descriptiva de las propiedades químicas evaluadas en los cuatro usos de suelo y las dos profundidades (0-5 y 5-30 cm).

Propiedades químicas	Uso de suelo	Profundidad (cm)	Valores medios	Desv. Std.	Valor Min.	Valor Max.
pH	BP	0-5	7.72	0.04	7.67	7.76
		5-30	7.79	0.09	7.69	7.90
	REF	0-5	7.80	0.06	7.73	7.87
		5-30	7.82	0.06	7.77	7.91
	AGRI	0-5	7.72	0.02	7.70	7.74
		5-30	7.80	0.09	7.72	7.90
	PAST	0-5	7.76	0.05	7.72	7.82
		5-30	7.84	0.06	7.77	7.92
CE (dS m <sup>-1</sup> )	BP	0-5	0.18	0.06	0.10	0.23
		5-30	0.17	0.05	0.11	0.24
	REF	0-5	0.16	0.02	0.15	0.19
		5-30	0.17	0.02	0.15	0.20
	AGRI	0-5	0.16	0.04	0.10	0.19
		5-30	0.14	0.04	0.10	0.19
	PAST	0-5	0.17	0.04	0.12	0.22
		5-30	0.19	0.02	0.15	0.21
MO (%)	BP	0-5	4.34	2.12	2.28	7.28
		5-30	3.22	0.86	2.00	4.03
	REF	0-5	3.63	1.37	2.74	5.67
		5-30	3.49	0.47	2.90	4.06
	AGRI	0-5	2.57	0.47	2.18	3.17
		5-30	2.94	0.81	2.04	4.00
	PAST	0-5	4.43	2.02	2.61	7.28
		5-30	3.39	0.64	2.69	4.24

pH = Reacción del suelo; CE = Conductividad eléctrica; MO = Materia orgánica; BP = Bosque de pino; REF = Reforestación; AGRI = Agrícola; PAST = Pastizal.

La materia orgánica representa la fertilidad de los suelos, producto importante de la combinación de las propiedades físicas y químicas, además del aporte de los residuos orgánicos en proceso de descomposición, y constituye 5 % de la composición de un suelo ideal (Porta *et al.*, 2003).

En el Regosol analizado, los valores de *MO* a la profundidad 0-5 cm fluctuaron de 2.56 % para el área agrícola a 4.43 % en el pastizal. Para la profundidad de 5-30 cm, el bosque de pino y pastizal disminuyeron alrededor de 1 % con relación al contenido total; el sitio de reforestación se mantuvo similar (diferencia de 0.1 %), mientras que el uso agrícola aumentó ligeramente (0.5 %). Los valores más altos en la primera profundidad indican un mayor contenido de carbono y nitrógeno activo debido a la acumulación de residuos vegetales (Gong *et al.*, 2022).

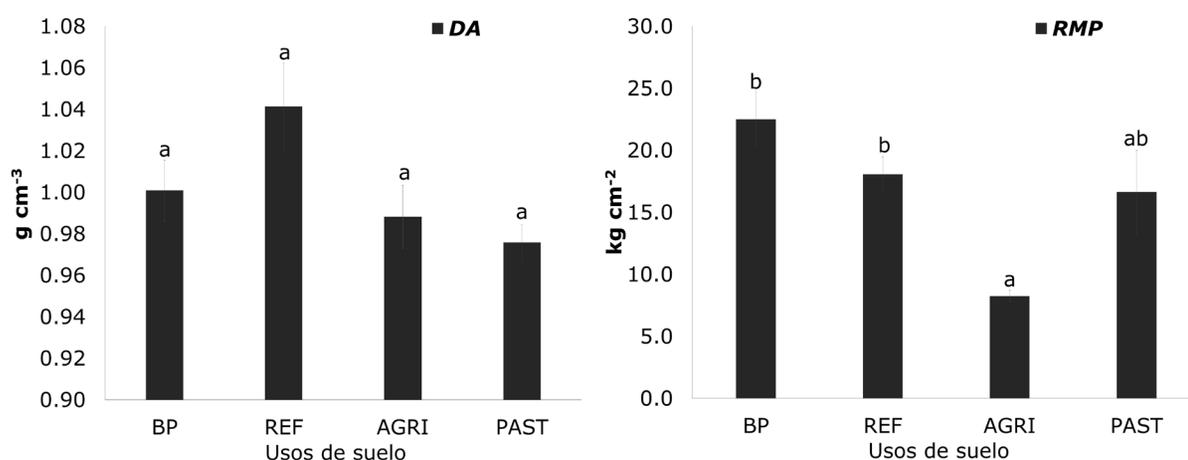
El suelo es una reserva activa de carbono orgánico que puede actuar como una fuente o reservorio de Carbono (C) hacia la atmósfera según el manejo que se aplique (Lal, 1997). Los suelos con sistemas agrícolas presentan, por lo general, reservas de carbono más bajas que aquellos con vegetación natural (Kátai *et al.*, 2022); en los pastizales se estiman 70 Mg ha<sup>-1</sup>, valor similar a lo documentado para suelos forestales (Céspedes *et al.*, 2012).

En este estudio, el aumento de la *MO* en el pastizal abandonado, a diferencia del área agrícola, constituye un mayor potencial para la captura de carbono, y evidencia el efecto de las buenas prácticas de gestión del uso de suelo (descanso). Al respecto, Sahoo *et al.* (2019) señalan que una disminución de las existencias de *MO* en diferentes usos de suelo, contrario al bosque, implica un agotamiento del C, lo cual se mejora solo cuando se proporcionan mejores prácticas de gestión que incluyan una adición de residuos de las plantas y menor disturbio.

Ordoñez *et al.* (2022) compararon el efecto de cambios de uso de suelo en bosques; dichos autores refieren un menor impacto en la conversión a pastos naturales en

comparación con lo observado en cultivos debido a que las diferencias entre ambos usos en el tiempo requieren para que se recuperen a las comunidades microbianas del suelo; asimismo, buenas gestiones de manejo y el efecto de las condiciones climáticas como la humedad, influyen en el contenido de nutrientes y en los procesos microbianos del suelo (Kátai *et al.*, 2022). Martínez *et al.* (2008) citan que el contenido de *MO* no solo depende de las condiciones ambientales locales, sino que es afectado por el manejo que se realice.

Las propiedades físicas del suelo son la forma como se comporta un suelo en procesos que no implican modificaciones químicas, y ejercen una influencia directa o indirecta en todas las funciones que desempeña (Narro, 1994), la cual se expresa por la organización estructural, es decir, el estado de agregación que se caracteriza por la forma, estabilidad y resiliencia de la estructura (Álvarez *et al.*, 2006), y que es determinada por las actividades que se realizan en su superficie que inciden en la reducción del sistema poroso y su continuidad (González *et al.*, 2008). La densidad aparente (*DA*) y la resistencia mecánica a la penetración (*RMP*) son dos de las propiedades físicas que reflejan la afectación del estado poroso del suelo, producto de los cambios de uso. En esta investigación, la *DA* se mantuvo en un promedio de  $1.00 \text{ g cm}^{-3}$ , sin diferencias significativas entre los usos de suelo con relación al bosque de pino (Figura 2).



Valores diferentes para cada propiedad indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre los usos de suelo. BP = Bosque de pino; REF = Reforestación; AGRI = Agrícola; PAST = Pastizal.

**Figura 2.** Valores medios para densidad aparente (*DA*) y resistencia mecánica a la penetración (*RMP*) para la profundidad superficial.

En el pastizal destacó la presencia de gramíneas que cubren la mayor cantidad de área; la *DA* registró valores bajos, sin diferencias significativas entre los usos, sin embargo, en el pastizal se presentó el menor valor con  $0.97 \text{ g cm}^{-3}$  en comparación con los otros sitios, donde el área de reforestación tuvo valores de hasta  $1.04 \text{ g cm}^{-3}$ . Celaya *et al.* (2015) en áreas con 25 años de transformación a zacate *buffel* observaron un impacto en las propiedades físicas y los reservorios de nitrógeno y agua para las zonas de interespacios de las partículas del suelo, lo que relacionaron con el pisoteo del ganado. Mongil-Manso *et al.* (2022) señalan que el tiempo de recuperación en algunas propiedades es lenta después de realizar una reforestación y se requieren periodos largos para cambios significativos en las propiedades del suelo, aun en reforestaciones con 20 años de antigüedad; a diferencia de Hernández-Vigoa *et al.* (2018) quienes indican que variables biológicas y algunas físicas y químicas, como la densidad aparente y el carbono orgánico total, son muy susceptibles al cambio a muy corto plazo debido a la intensidad de uso del suelo.

La *RMP* fue la propiedad más sensible al cambio de uso de suelo. Se registraron diferencias significativas entre los usos de suelo en la capa superficial; el bosque de pino presentó la mayor *RMP* con un valor promedio de  $22.5 \text{ kg cm}^{-2}$ , a diferencia del área agrícola donde el efecto del laboreo rompe la capa superficial disminuyendo su compactación a solo  $8.25 \text{ kg cm}^{-2}$  en promedio (Figura 2). Esto concuerda con los resultados de Navarro *et al.* (2000), quienes evaluaron el efecto de cinco tratamientos de labranza en suelos franco arenoso y franco arcilloso, donde

registraron que la *DA* y *RMP* se modificaron independientemente del tipo de labranza, y solo es inalterable con un sistema de labranza cero.

La textura es una de las propiedades físicas más estables, los regosoles son suelos minerales poco evolucionados de grano fino no consolidado (FAO, 2016) con altos contenidos de limo y arena. En el presente estudio, la textura se clasificó como franca para todos los usos de suelo, con valores medios de 40.9 % de arena, 40.3 % de limo y 18.8 % de arcilla para la profundidad 0-5 cm, mientras que en la segunda profundidad los valores correspondieron a 38.3 %, 42.1 % y 19.6 % para arena, limo y arcilla, respectivamente.

Si bien se obtuvieron diferencias en el contenido de arena de acuerdo al análisis de varianza entre las dos profundidades (Cuadro 2), la comparación de medias entre los usos de suelo para cada una de las profundidades evidenció diferencias para el porcentaje de limo en la profundidad de 5-30 cm; al respecto, la reforestación tuvo contenidos de 39 % y el bosque de pino 45.5 %. En los sitios de pastizal y agrícola, no hubo diferencias entre ellos, sus valores fueron de 41.8 y 42.2 %, respectivamente (Figura 3). Novillo *et al.* (2018) obtuvieron diferencias en las propiedades físicas y químicas en el cambio de bosque nativo a monocultivos, principalmente en la textura, la cual afecta las propiedades que contribuyen a la disminución de agregados, por lo que influyen en el movimiento vertical del agua.

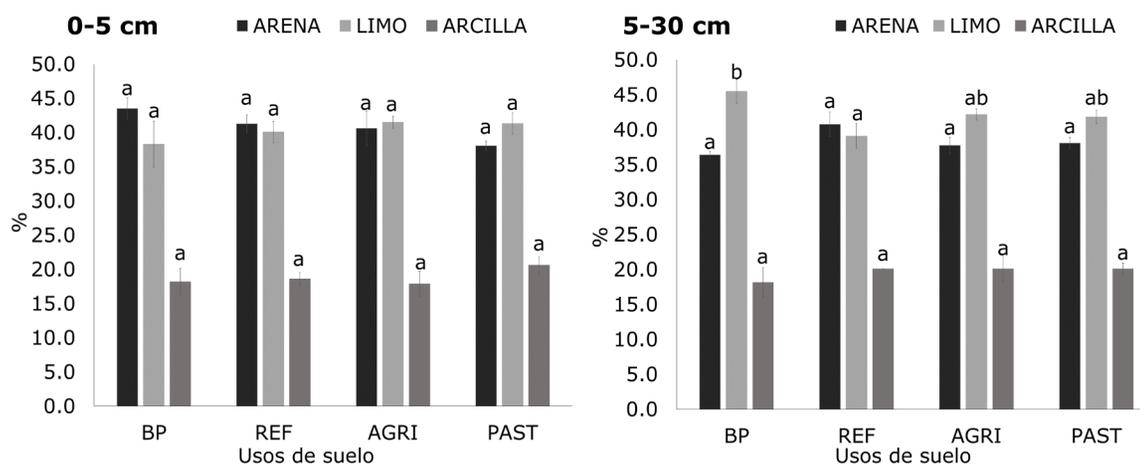
**Cuadro 2.** ANOVA de las propiedades físicas y químicas evaluadas en los cuatro usos de suelo (Factor A), dos profundidades (Factor B) y su interacción (Factor A×Factor B) en el suelo Regosol.

Propiedades edáficas	Unidades	Factor A (3.31)	Factor B (1.31)	Factor A×B (3.31)
pH	-	1.711 <sup>NS</sup>	7.416 <sup>*</sup>	0.348 <sup>NS</sup>
CE	dS m <sup>-1</sup>	0.827 <sup>NS</sup>	0.001 <sup>NS</sup>	0.261 <sup>NS</sup>
MO	%	1.909 <sup>NS</sup>	0.187 <sup>NS</sup>	0.519 <sup>NS</sup>
Arena	%	0.229 <sup>NS</sup>	0.325 <sup>*</sup>	0.353 <sup>NS</sup>

Limo	%	0.173 <sup>NS</sup>	0.158 <sup>NS</sup>	0.440 <sup>NS</sup>
Arcilla	%	0.267 <sup>NS</sup>	0.063 <sup>NS</sup>	0.131 <sup>NS</sup>
DA	g cm <sup>-3</sup>	3.484 <sup>NS</sup>		
RMP	kg cm <sup>-2</sup>	6.997 <sup>*</sup>		

CE = Conductividad eléctrica; MO = Materia orgánica; DA = Densidad aparente; RMP = Resistencia mecánica a la penetración. \* Diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ).

<sup>NS</sup> No diferencias significativas ( $p > 0.05$ ).



Letras diferentes en un mismo componente indica diferencias significativas con base en la prueba de *Tukey* ( $p \leq 0.05$ ) entre los usos de suelo. BP = Bosque de pino; REF = Reforestación; AGRI = Agrícola; PAST = Pastizal.

**Figura 3.** Gráficos de valores medios de textura (arena, limo y arcilla) para las dos profundidades (0-5 y 5-30 cm).

Los altos contenidos de limo no favorecen una agregación estable (Rollán y Bachmeier, 2015), sin embargo, en presencia de bajos contenidos de arcillas, la fracción de limo tiene un papel clave en la estabilización de la MO, sobre todo cuando las arcillas se saturan de carbono (Matus *et al.*, 2016).

Cabe destacar que entre los cuatro usos de suelo: reforestación con bordos, pastizal abandonado, áreas agrícolas y el bosque de pino, no presentaron diferencias significativas en las propiedades físicas y químicas evaluadas, con excepción de la *RMP*. En el Cuadro 2 se resumen los resultados del análisis de varianza de dos vías: el uso de suelo (Factor A) únicamente tuvo diferencias significativas para la resistencia mecánica a la penetración de la capa superficial, en la que el cambio de uso de suelo afectó principalmente el sistema poroso, el cual está correlacionado con la infiltración del agua, el crecimiento de las raíces y la productividad de los cultivos (Cerana *et al.*, 2005).

En el factor de profundidad (Factor B), el que evalúa el efecto en las propiedades del suelo en las dos profundidades, se obtuvieron diferencias significativas en el pH y el contenido de arena. Domínguez-Calleros *et al.* (2017) explican que la capa superficial del suelo presenta una mayor liberación de nutrimentos debido a la acumulación de los residuos orgánicos, con una disminución de las propiedades edáficas a mayor profundidad.

Las propiedades edáficas evaluadas en la interacción entre factores de uso por profundidad (Factor A×Factor B), no se registraron diferencias significativas (Cuadro 2). Si bien algunos autores consignan que cambios en las propiedades edáficas varían según el uso al que esté sometido (Dieckow *et al.*, 2009; Ordoñez *et al.*, 2022), otros como Mongil-Manso *et al.* (2022) indican lo contrario, refieren que el contenido de materia orgánica y la densidad aparente son iguales entre los diferentes usos (matorral, encinar, pastizales). Geissen *et al.* (2009) evaluaron el efecto por cambios de uso de suelo en las propiedades físicas y químicas con diferentes tiempos de conversión; sus resultados evidenciaron que los pastizales evaluados, con hasta 15 años de cambio, tuvieron menor pH, incremento en la *DA* y la *RMP*, pero mantuvieron la fertilidad debido a sus altos contenidos de arcilla, influencia del agua y por las altas precipitaciones que promueven la inhibición de los procesos de mineralización de la materia orgánica.

El deterioro y la ausencia de cobertura forestal ocasiona pérdida de la fertilidad del suelo, es por ello que existen acciones que se realizan para proteger los ecosistemas y que contribuyen a su conservación, protección, restauración y aprovechamiento sustentable (Conafor, 2010); el área de reforestación evaluada se realizó bajo este concepto, con el propósito de proteger áreas forestales. El mejoramiento de sus propiedades, a diferencia del área agrícola, indica la importancia ambiental que tiene recuperar y mejorar las propiedades edáficas, sin embargo, el efecto conjunto tarda en manifestarse. No obstante que los resultados no evidenciaron diferencias significativas, la mejora de las propiedades físicas como la densidad aparente, además del aumento del contenido de la materia orgánica, indicaron que está en proceso de recuperación.

Por otra parte, aunque no se obtuvo información referente al tipo de manejo que se aplica al bosque de pino, es probable que por ser un área común del ejido se use para el pastoreo o aprovechamiento forestal, esto se refleja en los altos valores de *RMP* en comparación a los otros usos, o simplemente que las propiedades físicas y químicas del suelo para ese bosque corresponden a las propiedades intrínsecas y dinámicas del Regosol.

## Conclusiones

La mayoría de las propiedades físicas y químicas analizadas del suelo no presentan diferencias significativas entre los usos de suelo evaluados. La propiedad más susceptible al cambio de uso de suelo es la *RMP*, para la cual el uso agrícola presenta el menor valor debido al efecto de la labranza, ya que las herramientas utilizadas dispersan el suelo y disminuyen la compactación. El contenido de arena muestra diferencias cuando se comparan únicamente las profundidades; en el contenido de limo, las diferencias significativas entre los usos se observan en la profundidad de 5-30 cm, y el contenido de *MO* aun cuando no presenta diferencias significativas, registra mayor acumulación en el siguiente orden pastizal>bosque de pino>reforestación>agrícola en ambas profundidades.

Finalmente, el pastizal en descanso, después de años de uso agrícola, así como la reforestación con bordos a curva de nivel, favorecen la recuperación de las propiedades del Regosol y con el tiempo mejoran la calidad del suelo, y en el bosque natural se mantienen por las propiedades intrínsecas del Regosol.

### **Agradecimientos**

Los autores agradecen al Ingeniero Rodrigo Solís Castro por su apoyo e intervención con el ejido Congregación de la Laguna, municipio Galeana, Nuevo León, y a los ingenieros Aylin Danae Díaz Zarate y Anastasio Sandoval Martínez, quienes formaron parte de esta investigación durante su formación académica, por su colaboración en el trabajo de campo y laboratorio.

### **Conflicto de intereses**

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

### **Contribución por autor**

María Inés Yáñez Díaz: dirección de la investigación, análisis de datos y redacción del manuscrito; Israel Cantú Silva: diseño experimental y revisión del manuscrito; Fortunato Garza Ocañas: análisis estadístico y revisión de manuscrito.

### **Referencias**

Álvarez, C. R., M. Á. Taboada, C. Bustingorri y F. H. Gutiérrez B. 2006. Descompactación de suelos en siembra directa: efectos sobre las propiedades físicas

y el cultivo de maíz. *Ciencia del Suelo* 24(1):1-10. <https://doaj.org/article/e64f18b2dd35497c9f5f0e08130afd75>. (21 de enero de 2023).

Bautista C., A., J. Etchevers B., R. F. del Castillo y C. Gutiérrez. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas* 13(2):90-97. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/572>. (21 de enero de 2023).

Cantú S., I. y M. I. Yáñez D. 2018. Efecto del cambio de uso de suelo en el contenido del carbono orgánico y nitrógeno del suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(45):122-150. Doi: 10.29298/rmcf.v9i45.138.

Celaya M., H., F. García O., J. C. Rodríguez y A. E. Castellanos V. 2015. Cambios en el almacenamiento de nitrógeno y agua en el suelo de un matorral desértico transformado a sabana de buffel (*Pennisetum ciliare* (L.) Link). *Terra Latinoamericana* 33:79-93. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57335800007>. (23 de enero de 2023).

Cerana, J., M. Wilson, O. Pozzolo, J. J. De Battista, S. Rivarola y E. Díaz. 2005. Relaciones matemáticas entre la resistencia mecánica a la penetración y el contenido hídrico en un Vertisol. In: Samper C., J. y A. Paz G. (Edits.). VII Jornadas de Investigación en la Zona no Saturada del Suelo ZNS'05. Xunta de Galicia, Universidade Da Coruña y Diputación Da Coruña. La Coruña, GA, España. pp. 159-163.

Céspedes F., F. E., J. A. Fernández, J. A. Gobbi y A. C. Bernardis. 2012. Reservorio de carbono en suelo y raíces de un pastizal y una pradera bajo pastoreo. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35(1):79-86. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61023295009>. (26 de enero de 2023).

Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2010. Programas y acciones en reforestación, conservación y restauración de suelos, incendios forestales y sanidad forestal de ecosistemas forestales. Conafor. Zapopan, Jal., México. 108 p.

<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/ver.aspx?articulo=1359&grupo=7>.

(10 de enero de 2023).

de Andrade B., J., I. Anghinoni, M. T. de Moraes and J. R. Fink. 2017. Resilience of soils with different texture, mineralogy and organic matter under long-term conservation systems. *Soil and Tillage Research* 174:104-112. Doi: 10.1016/j.still.2017.06.008.

Dieckow, J., C. Bayer, P. C. Conceição, J. A. Zanatta, ... and L. C. Hernani. 2009. Land use, tillage, texture and organic matter stock and composition in tropical and subtropical Brazilian soils. *European Journal of Soil Science* 60(2):240-249. Doi: 10.1111/j.1365-2389.2008.01101.x.

Domínguez-Calleros, P. A., R. Rodríguez-Laguna, J. Capulín-Grande, R. Razo-Zárata y M. A. Díaz-Vásquez. 2017. Influencia de factores edáficos en el crecimiento de una plantación de *Pinus greggii* Engelm. en Santiago de Anaya, Hidalgo, México. *Madera y Bosques* 23(2):145-154. Doi: 10.21829/myb.2017.2321522.

Encina R., A. y P. Valinotti. 2000. Comportamiento de la conductividad eléctrica a diferentes profundidades en suelos bajo cobertura de espartillares o paleocauces colmatados-Chaco Paraguayo. *Investigación Agraria* 3(1):9-12. <https://www.agr.una.py/revista/index.php/ria/article/view/183>. (21 de enero de 2023).

Geissen, V., R. Sánchez-Hernández, C. Kampichler, R. Ramos-Reyes, ... and S. Hernández-Daumas. 2009. Effects of land-use change on some properties of tropical soils—An example from Southeast Mexico. *Geoderma* 151(3-4):87-97. Doi: 10.1016/j.geoderma.2009.03.011.

Gong, S., Z. Feng, A. Qu, J. Sun, ... and Y. Kong. 2022. Effects of land-use types on the temporal dynamics of soil active carbon and nitrogen in the rocky mountainous of North China. *Soil Science and Plant Nutrition* 68(1):72-80. Doi: 10.1080/00380768.2021.1985383.

González C., O., C. E. Iglesias C., M. Herrera S., E. López B. y Á. Sánchez I. 2008. Efecto de la humedad y la presión sobre el suelo en la porosidad total de un Rhodic

- Ferralsol. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 17(2):50-54. [www.redalyc.org/articulo.oa?id=93217211](http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93217211). (13 de febrero de 2023).
- Hernández-Vigoa, G., G. de la C. Cabrera-Dávila, I. Izquierdo-Brito, A. A. Socarrás-Rivero, L. Hernández-Martínez y J. A. Sánchez-Rendón. 2018. Indicadores edáficos después de la conversión de un pastizal a sistemas agroecológicos. *Pastos y Forrajes* 41(1):3-12. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03942018000100001&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942018000100001&lng=es&tlng=es). (21 de febrero de 2023).
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2007. Geografía y Medio Ambiente: Edafología. Serie II. INEGI. México. <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/>. (10 de noviembre de 2022).
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2008. Geografía y Medio Ambiente: Climatología. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/temas/climatologia/#mapas>. (10 de noviembre de 2022).
- International Business Machines (IBM). 2016. Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) V22.0. IBM Inc. Chicago, IL, United States of America.
- Kátai, J., A. Z. Olah, M. Tállai, I. Vágó, ... and K. Inubushi. 2022. Comparison of soil characteristics related to C and N processes in Eastern Hungarian and Central Japanese soils under different land use and nutrient supply. *Soil Science and Plant Nutrition* 68(1):88-98. Doi: 10.1080/00380768.2022.2031283.
- Lal, R. 1997. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO<sub>2</sub>-enrichment. *Soil and Tillage Research* 43(1-2):81-107. Doi: 10.1016/S0167-1987(97)00036-6.
- López D., M. y H. Estrada M. 2015. Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. *Bioagrocencias* 8(1):3-11. <https://xdoc.mx/preview/ropiedades-fisicas-quimicas-y-biologicas-5e77ca8cb1966>. (27 de febrero de 2023).
- Martínez H., E., J. P. Fuentes E. y E. Acevedo H. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 8(1):68-96. <https://www.scielo.cl/pdf/rcsuelo/v8n1/art06.pdf>. (13 de enero de 2023).

- Matus, F., E. Garrido, C. Hidalgo, F. Paz, ... and A. Báez. 2016. Carbon saturation in the silt and clay particles in soils with contrasting mineralogy. *Terra Latinoamericana* 34:311-319. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57346617005>. (23 de febrero de 2023).
- Mongil-Manso, J., J. Navarro-Hevia and R. San Martín. 2022. Impact of land use change and afforestation on soil properties in a Mediterranean Mountain Area of Central Spain. *Land* 11(7):1043. Doi: 10.3390/land11071043.
- Nardi, D. and L. Marini. 2021. Role of abandoned grasslands in the conservation of spider communities across heterogeneous mountain landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 319:1-9. Doi: 10.1016/j.agee.2021.107526.
- Narro F., E. 1994. Física de suelos con enfoque agrícola. Trillas y Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Benito Juárez, México D. F., México. 195 p.
- Navarro B., A., B. Figueroa S., V. M. Ordaz C. y F. V. González C. 2000. Efecto de la labranza sobre la estructura del suelo, la germinación y el desarrollo del maíz y frijol. *Terra Latinoamericana* 18(1):61-69. [www.redalyc.org/articulo.oa?id=57318107](http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57318107). (22 de febrero de 2023).
- Novillo E., I. D., M. D. Carrillo Z., J. E. Cargua C., V. Nabel M., K. E. Albán S. y F. L. Morales I. 2018. Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Temas Agrarios* 23(2):177-187. Doi: 10.21897/rta.v23i2.1301.
- Ordoñez, M. C., L. Galicia and J. F. Casanova O. 2022. Evaluation of land use change on an andosol through physicochemical and biological indicators. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales* 10(1):52-62. Doi: 10.17138/TGFT(10)52-62.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2016. Base referencial mundial del recurso suelo 2014. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Actualización 2015. FAO. Roma, RM, Italia. 205 p. <https://www.fao.org/3/i3794es/I3794es.pdf>. (21 de enero de 2022).

Porta C., J., M. López-Acevedo R. y C. Roquero de L. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, MD, España. 960 p.

Rollán, A. A. del C. y O. A. Bachmeier. 2015. Efecto de la siembra directa continua sobre el comportamiento físico-funcional de los suelos francos limosos de la región semiárida central de la provincia de Córdoba (Argentina). *Terra Latinoamericana* 33(4):275-284. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57343335002>. (20 de enero de 2023).

Sahoo, U. K., S. L. Singh, A. Gogoi, A. Kenye and S. S. Sahoo. 2019. Active and passive soil organic carbon pools as affected by different land use types in Mizoram, Northeast India. *PLoS ONE* 14(7):e0219969. Doi: 10.1371/journal.pone.0219969.

Salehi, M. H., O. H. Beni, H. B. Harchegani, I. E. Borujeni and H. R. Motaghian. 2011. Refining soil organic matter determination by loss-on-ignition. *Pedosphere* 21(4):473-482. Doi: 10.1016/S1002-0160(11)60149-5.

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2000. *Capítulo 3. Los suelos de México*. [https://paot.org.mx/centro/informacion/semarnat/informe02/estadisticas\\_2000/informe\\_2000/03\\_Suelos/3.1\\_Suelos/index.htm](https://paot.org.mx/centro/informacion/semarnat/informe02/estadisticas_2000/informe_2000/03_Suelos/3.1_Suelos/index.htm). (17 de febrero de 2023).

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. 31 de diciembre de 2002. México, D. F., México. 73 p. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle\\_popup.php?codigo=717582](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=717582). (10 de noviembre de 2021).

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2016. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2015. Compendio de estadísticas ambientales, Indicadores Clave, de desempeño ambiental y de crecimiento verde. Edición 2015. Semarnat. Miguel Hidalgo, Cd. Mx., México. 470 p. [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15\\_completo.pdf](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf). (10 de enero 2023).

Smith, P., J. I. House, M. Bustamante, J. Sobocká, ... and T. A. M. Pugh. 2016. Global change pressures on soils from land use and management. *Global Change Biology* 22(3):1008-1028. Doi: 10.1111/gcb.13068.

Sokal, R. R. and F. J. Rohlf. 2012. *Biometry the principles and practice of statistics in biological research*. W. H. Freeman and company. New York, NY, United States of America. 915 p.

Walkley, A. and I. A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science* 37(1):29-38. Doi: 10.1097/00010694-193401000-00003.

Woerner P., M. 1989. *Métodos químicos para el análisis de suelos calizos de zonas áridas y semiáridas*. Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, NL, México. 105 p.

Yinka O., K., O. Aliku and S. Oshunsanya. 2022. Land degradation rating under different land use types. *International Journal of Life Science Research Archive* 3(2):75-85. Doi: 10.53771/ijlsra.2022.3.2.0093.



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.