



DOI: [10.29298/rmcf.v14i80.1388](https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i80.1388)

Artículo de investigación

## **Efecto del manejo forestal en las características físico-hidrológicas del suelo en un bosque de clima templado**

### **Effect of forest management on the physical-hydrological characteristics of the soil in a temperate forest**

Josué Fabián Pérez-Hernández<sup>1</sup>, Ramón Razo-Zárate<sup>1\*</sup>, Rodrigo Rodríguez-Laguna<sup>1</sup>, Juan Capulín-Grande<sup>1</sup>, Ingrid Árcega-Santillán<sup>2</sup>, Nancy Manzur-Chávez<sup>2</sup>

Fecha de recepción/Reception date: 1 de febrero de 2023.

Fecha de aceptación/Acceptance date: 10 de octubre de 2023.

<sup>1</sup>Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Agropecuarias. México.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería. México.

\*Autor para correspondencia; correo-e: [ramon\\_razo@uaeh.edu.mx](mailto:ramon_razo@uaeh.edu.mx)

\*Corresponding autor; e-mail: [ramon\\_razo@uaeh.edu.mx](mailto:ramon_razo@uaeh.edu.mx)

#### **Resumen**

El proceso de aprovechamiento del bosque templado genera impactos reversibles en el suelo al alterar sus propiedades, principalmente por la reducción de la vegetación, troceo y arrastre de la madera que ocasiona aumento en la densidad aparente y reduce la infiltración. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de diferentes prácticas de manejo forestal sobre propiedades físico-hidrológicas del suelo y su relación con la infiltración del agua en los suelos de un bosque de clima templado. Las áreas de estudio fueron: área de reciente intervención, intervenida hace 18 años y área de conservación (testigo) en un bosque templado de pino-encino bajo aprovechamiento en el estado de Hidalgo. Las variables evaluadas fueron, densidad aparente y porosidad (metodología propuesta por USDA), granulometría (método de *Bouyoucos*) y pruebas de infiltración con el método de doble anillo. Los resultados de la densidad aparente fueron mayores en el área de reciente intervención ( $0.62 \text{ g cm}^{-3}$ ) y menor en el área de conservación ( $0.32 \text{ g cm}^{-3}$ ). La porosidad en el área conservada superó en 11 % al área de reciente intervención (88 y 77 %, respectivamente). La tasa de infiltración en el área conservada tuvo  $2.641 \text{ cm min}^{-1}$  en comparación con  $0.655 \text{ cm min}^{-1}$  del área intervenida hace 18 años. Se concluye que la densidad aparente del suelo se incrementa mientras que la porosidad y capacidad de infiltración disminuyen con la ejecución de las actividades de aprovechamiento, situación que se recupera en forma gradual con el establecimiento de los nuevos bosques.

**Palabras clave:** Agua de lluvia, densidad aparente, infiltración, mantos acuíferos, silvicultura, suelo.

#### **Abstract**

The process of temperate forest harvesting generates reversible impacts on the soil by altering its properties, mainly due to the reduction of vegetation, as well as to cutting and dragging of wood, which causes an increase in apparent density and reduces infiltration. The objective of this study was to evaluate the effect of different forest management practices on the physical-hydrological properties of the soil and their relationship with water infiltration in temperate forest soils. The study areas were: recently intervened area, with the intervention

dating back 18 years, and conservation area (control) in a temperate pine-oak forest under exploitation in the state of *Hidalgo*. The variables evaluated were bulk density and porosity (methodology proposed by USDA), granulometry (Bouyoucos method), and infiltration tests with the double-ring method. The results for bulk density were higher in the recently intervened area ( $0.62 \text{ g cm}^{-3}$ ) and lower in the conservation area ( $0.32 \text{ g cm}^{-3}$ ). Porosity in the conserved area was 11 % higher than in the recently intervened area (88 and 77 %, respectively). The infiltration rate in the conserved area was  $2.641 \text{ cm min}^{-1}$  compared to  $0.655 \text{ cm min}^{-1}$  in the area intervened 18 years ago. The authors conclude that the bulk density of the soil increases, while the porosity and infiltration capacity decrease with the implementation of harvesting activities —a situation that gradually recovers with the establishment of new forests.

**Key words:** Rainwater, bulk density, infiltration, water table, forestry, soil.

## Introducción

En México, 36 % de los suelos se registran sin degradación aparente, lo que permite proporcionar estabilidad a los ecosistemas a través de la buena aireación, retención de humedad con suficientes espacios porosos que facilitan la penetración del sistema radicular y nutrientes para el establecimiento y desarrollo de la vegetación (Bolaños *et al.*, 2016). Por el contrario, el resto de la superficie (64 %) está afectada por erosión hídrica, eólica y degradación química (Semarnat y CP, 2002). Otras actividades de tipo antrópico como el sobrepastoreo, la agricultura tradicional, el cambio de uso de suelo y el crecimiento de la población influyen en la degradación del suelo, ya que disminuyen la tasa de infiltración del agua de lluvia, lo que se traduce en el aumento de la escorrentía superficial (Turnbull *et al.*, 2010; ONUAA, 2016; Béjar-Pulido *et al.*, 2021) y en la alteración de los flujos de agua vinculados con los bosques (Pérez-Campomanes e Iannacone, 2020), lo cual condiciona la disponibilidad del recurso hídrico para abastecer las necesidades de la población (Chamizo-Checa *et al.*, 2018), situación que se ha agudizado en las últimas décadas por el cambio climático.

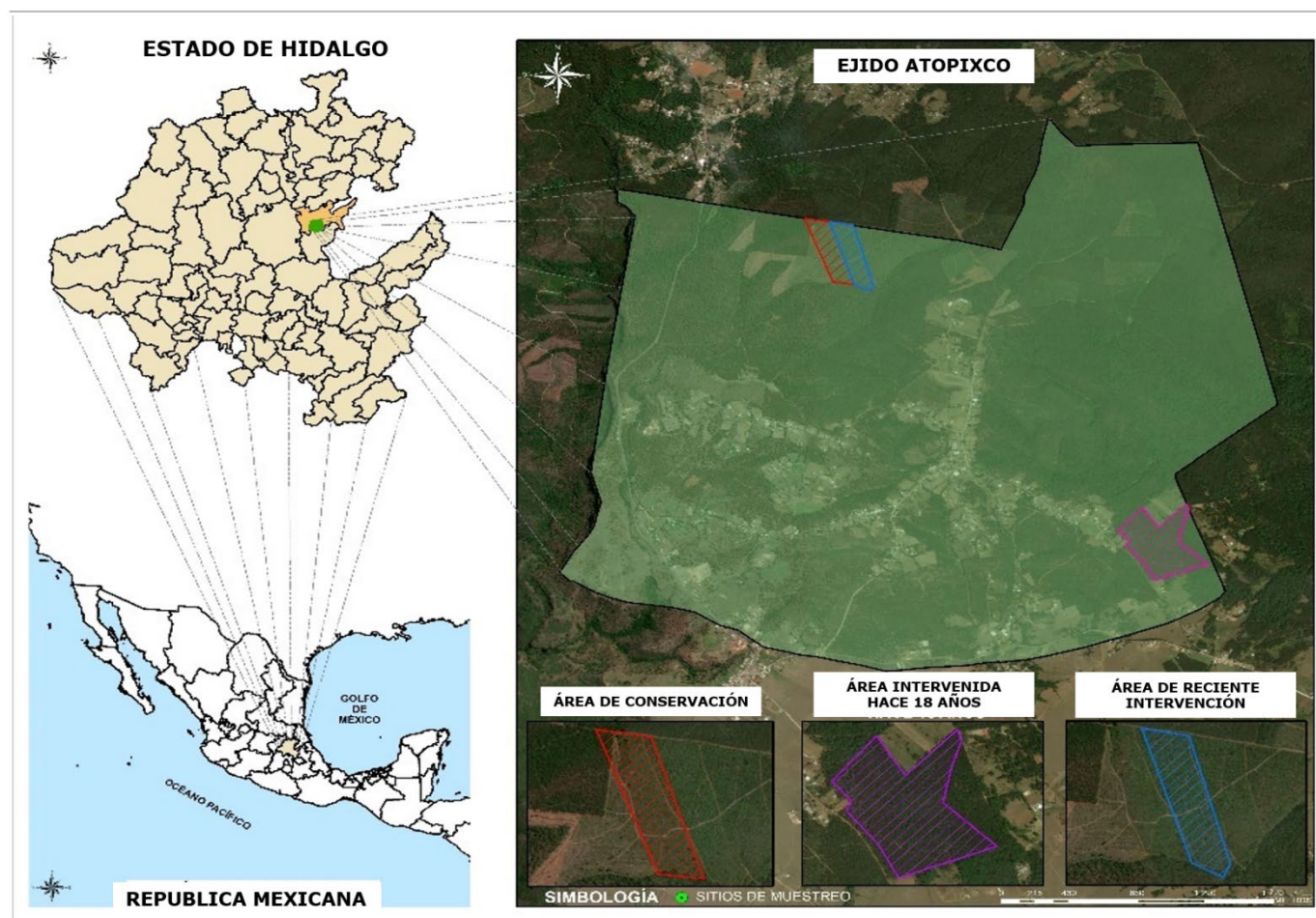
En los últimos tiempos se ha reconocido que los bosques suministran bienes y servicios ambientales que contribuyen al desarrollo humano (López-Hernández *et al.*, 2017), entre ellos destaca la captación de agua de lluvia, que en ocasiones es afectada por el uso no sustentable del recurso forestal (Dourojeanni, 2020) cuando se realizan malas prácticas de manejo silvícola (Endara y Herrera, 2016).

Durante el aprovechamiento de los bosques templados se generan impactos negativos temporales en el suelo debido a las actividades como el corte y troceo del arbolado, arrastre de trocería, maniobras de carga, construcción de caminos forestales y extracción de la madera (Dueñez-Alanís *et al.*, 2006; Valladares-Samperio y Galicia-Sarmiento, 2021). Esas acciones alteran las propiedades del suelo en los primeros meses ya que se reduce la cobertura vegetal, lo que deja expuesto el terreno a las lluvias (Muñoz *et al.*, 2013), que a su vez causa un aumento en la densidad aparente (Chaudhari *et al.*, 2013), reducción en la tasa de infiltración y pérdida del suelo por erosión hídrica (Matías *et al.*, 2020). Ante esto, se planteó la necesidad de evaluar el efecto de diferentes prácticas de manejo forestal sobre las propiedades físico-hidrológicas del suelo y su relación con la infiltración del agua en los suelos de un bosque de clima templado.

## **Materiales y Métodos**

### **Ubicación del área de estudio**

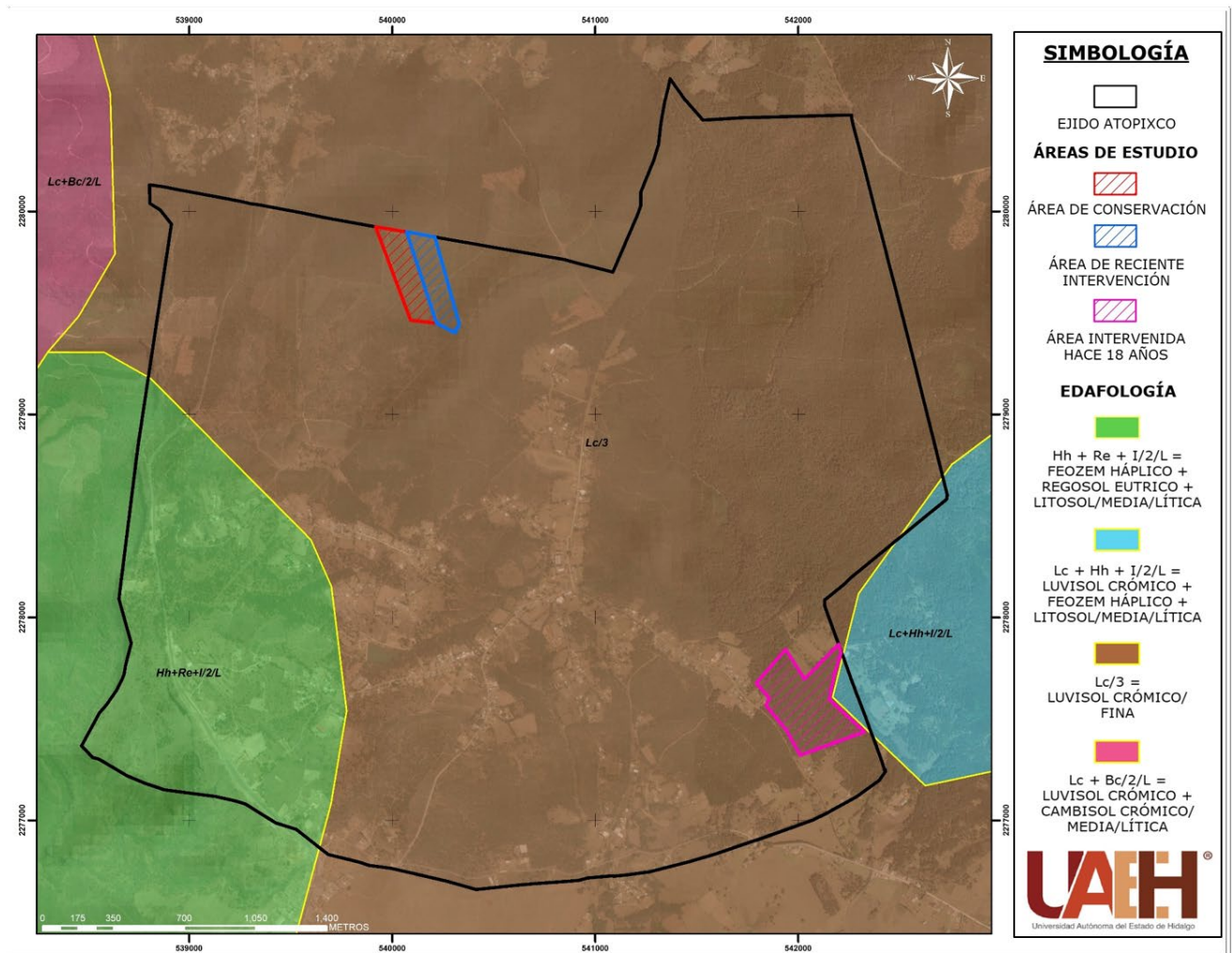
El área de estudio se localiza en la sierra alta del estado de Hidalgo, entre las coordenadas geográficas 20°36'11" latitud Norte y 98°36'28" longitud Oeste, con altitud de 2 048 msnm (Figura 1).



**Figura 1.** Mapa de ubicación de las áreas de estudio.

El clima del área es de tipo C(m)a que corresponde a un templado húmedo con lluvias abundantes en verano, la temperatura media anual es de 12.7 °C y la precipitación de 1 278 mm anuales (Cruz-Leyva *et al.*, 2010). La zona de estudio se sitúa en la región hidrológica RH-26 río Pánuco, cuenca D río Moctezuma y subcuenca V río Metztlán. El suelo predominante corresponde a un Luvisol crómico

y el secundario a un Feozem háplico (Figura 2) pertenecientes a suelos volcánicos (INEGI, 1992).



**Figura 2.** Mapa de edafología en relación a las áreas de estudio.

La vegetación predominante corresponde al bosque de pino-encino con presencia de especies como *Pinus patula* Schltdl. & Cham. (ocote), *P. teocote* Cham. & Schltdl. (ocote chino), *Quercus rugosa* Née (encino de hoja ancha), *Q. laurina* Bonpl.

(encino), *Q. laeta* Liebm. (quebrache), *Q. crassifolia* Bonpl. (encino blanco), *Alnus arguta* (Schltdl.) Spach (aile) (sinonimia de *Alnus acuminata* subsp. *arguta* (Schltdl.) Furlow), *Arbutus xalapensis* Kunth (madroño), *Prunus serotina* Ehrh. subsp. *capuli* (Cav.) McVaugh (capulín), *Clethra mexicana* DC. (pahuilla), *Crataegus mexicana* DC. (tejocote), *Vaccinium leucanthum* Schltdl. (cocol), *Ternstroemia sylvatica* Schltdl. & Cham. (trompillo), entre otras (Servicios Forestales de Hidalgo, 2011).

## Tratamientos y condiciones de las áreas

El estudio se realizó en áreas con condiciones similares de tipo de suelo, topografía, pendiente y exposición del terreno dentro de un predio forestal, pero con diferente vegetación, las cuales se describen a continuación:

**Área de conservación.** Corresponde a un rodal con vegetación original de pino-encino que no ha sido intervenida en más de 50 años, de tal manera que presenta alta diversidad y densidad de arbolado que depositan cantidades considerables de materia orgánica en el piso forestal (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Datos dasométricos de las áreas de estudio.

Áreas de estudio	Intensidad de corta (%)	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (m)	Densidad (Árboles ha <sup>-1</sup> )	Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )
Área de conservación	0	42.50	25.70	165	23.41
Área intervenida hace 18 años	25	12.50	10.00	1,665	20.43
Área de reciente intervención	90	37.50	28.50	16	1.77

**Área intervenida hace 18 años.** Las condiciones de vegetación fueron similares al anterior, pero con los tratamientos silvícolas aplicados hace 18 años se modificó la cobertura vegetal y gradualmente se recuperó hasta que en la actualidad está en etapa de latizal con predominancia de *Pinus patula* en altas densidades, además, a través del tiempo se han aplicado tratamientos secundarios de limpieas, podas, preaclareos y aclareos que han permitido la incorporación de los desperdicios al suelo (Cuadro 1).

**Área de reciente intervención.** Corresponde a la última área de aprovechamiento (año 2016), donde se eliminó el total de la vegetación a excepción de 16 árboles ha<sup>-1</sup> a partir de la aplicación del método de árboles padre. Lo anterior provocó impactos sobre algunas características del suelo como la compactación por el derribo del arbolado, arrastre de trocerías y movimiento de camiones madereros, así como la modificación de materia orgánica por el control de desperdicios del aprovechamiento que, tradicionalmente, se realiza en la zona mediante quemas puntuales con poco riesgo de generar un incendio forestal (Cuadro 1).

## Diseño de muestreo

En cada área seleccionada, se establecieron sitios de muestreo con cinco repeticiones mediante un diseño sistemático a distancias de 150 m y un arreglo en zig-zag (Azañero *et al.*, 2020). En cada punto de muestreo se realizaron pruebas de infiltración y se recolectaron muestras de suelo para determinar en el laboratorio de semillas y suelos del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad

Autónoma del Estado de Hidalgo, el contenido de materia orgánica, densidad aparente, porosidad y granulometría.

## Medición de variables

### Contenido de materia orgánica

Para la determinación del contenido de materia orgánica (*MO*) en las áreas de estudio, se aplicó la metodología que se resume en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Metodología para la determinación de materia orgánica.

<b>Variable</b>	<b>Método</b>	<b>Unidades</b>	<b>Autor</b>
Contenido de materia orgánica	<i>Walkley y Black</i>	%	Walkley y Black (1934)

El porcentaje de materia orgánica se determinó mediante las siguientes formulas:

$$\% MO = 10 \left( 1 - \frac{M}{B} \right) \times FMO \quad (1)$$

Donde:

% *MO* = Porcentaje de materia orgánica



$M$  = mL de  $\text{FeSO}_4$  0.5 N gastado en la muestra

$B$  = mL de  $\text{FeSO}_4$  0.5 N gastado en el blanco

El cálculo del factor correspondiente para el porcentaje de  $MO$  se determinó con la expresión:

$$FMO = (1.0 N) \times \frac{12}{4000} \times \frac{1.72}{0.77} \times \frac{100}{PS} \quad (2)$$

Donde:

1.0 = Normalidad del  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

$\frac{12}{4000}$  = Peso miliequivalente del carbono

1.72 = Factor de transformación de carbono en  $MO$

0.77 = Factor de recuperación de 77 % descubierto por *Walkey*

$PS$  = Peso de la muestra (g)

## Granulometría

Con la finalidad de clasificar las partículas de suelo, se preparó una muestra compuesta (Vargas *et al.*, 2021) por cada área de estudio, posteriormente se aplicó la metodología descrita en el Cuadro 3.

**Cuadro 3.** Muestra compuesta y método de *Bouyoucos*.

<b>Variable</b>	<b>Método</b>	<b>Unidades</b>	<b>Autor</b>
Muestra	Muestra compuesta	g	Vargas <i>et al.</i> (2021)
Granulometría	<i>Bouyoucos</i>	%	Silva <i>et al.</i> (2020)

Para obtener la granulometría en porcentajes de arcilla, limo y arena se emplearon las ecuaciones siguientes (Silva *et al.*, 2020):

$$\% \text{ Arena} = (L1 \pm T1) \times 2 - 100 \quad (3)$$

$$\% \text{ Arcilla} = (L2 \pm T2) \times 2 \quad (4)$$

$$\% \text{ Limo} = (\% \text{ Arena} + \% \text{ Acilla}) - 1000 \quad (5)$$

Donde:

$L1$  = Lectura del hidrómetro tomada a los 60 segundos

$T1$  = Temperatura uno  $\pm 1$

$L2$  = Lectura del hidrómetro tomada a las dos horas

$T2$  = Temperatura dos  $\pm 1$

Después de realizar los cálculos respectivos, se procedió a la caracterización del porcentaje mediante el triángulo textural para determinar la granulometría correspondiente al suelo de cada área de estudio (USDA, 1999).

## Densidad aparente y porosidad del suelo

Como se observa en el Cuadro 4, para la densidad aparente ( $D_a$ ) y la porosidad del suelo ( $P$ ) se utilizó la metodología conocida como bolsa abierta propuesta por USDA (1999).

**Cuadro 4.** Metodología de bolsa abierta propuesta por USDA.

Variable	Método	Unidades	Autor
Densidad aparente	<i>Open-bag</i>	$\text{g cm}^{-3}$	USDA (1999)
Porosidad		%	

Para determinar la densidad aparente ( $D_a$ ) y posteriormente la porosidad ( $P$ ) se utilizaron las fórmulas siguientes (USDA, 1999):

$$D_a = \frac{g}{\text{cm}^3} = \frac{\text{peso de suelo seco}}{\text{volumen del suelo}} \quad (6)$$

$$P = 1 - \frac{D_a}{2.65} \quad (7)$$

Donde:

$D_a$  = Densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ )

$P$  = Porosidad del suelo en porcentaje

2.65 = Constante de la densidad de todo mineral ( $\text{g cm}^{-3}$ )

## Pruebas de infiltración

Para las tasas de infiltración se usó el método de infiltrómetro de doble anillo (anillo interno: 25 cm de diámetro, anillo externo: 35 cm de diámetro) (Figura 3) propuesto por Chagoya *et al.* (2015), que se aplicó en la temporada de lluvia cuando el suelo estaba a capacidad de campo. Posteriormente, el anillo interior se enterró al suelo a 15 cm y el externo a 25 cm; se adicionó una lámina de agua a nivel constante y el descenso del agua se midió en función del tiempo durante dos horas hasta que la velocidad de infiltración fue constante durante un lapso de dos horas (Zapata-Sierra y Manzano-Agugliaro, 2008). Para la obtención de la tasa de infiltración se aplicó el modelo de *Kostiakov* (Guerrero *et al.*, 2016; Weber y Apestegui, 2016) (Ecuación 8).



**Figura 3.** Infiltrómetro de doble anillo.

$$I = atb \quad (8)$$

Donde:

$I$  = Infiltración acumulada

$t$  = Tiempo acumulado

$(a)$  y  $(b)$  = Parámetros del suelo

### **Análisis estadísticos**

Los datos de los parámetros físicos del suelo (densidad aparente, porosidad y capacidad de infiltración del suelo) de las tres diferentes áreas de estudio, se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba del rango múltiple de *Duncan* (Rodríguez *et al.*, 2020) con la finalidad de identificar diferencias significativas. El proceso de los datos se realizó con el paquete estadístico *Statistical Analysis System para Windows*® (SAS Institute, 1985).

### **Resultados y Discusión**

Se determinó el porcentaje del contenido de materia orgánica en el suelo (*MOS*), la cual varió de 6.9 a 16.2 %. El área intervenida hace 18 años y la de conservación fueron las zonas con mayor y menor contenido de *MOS*, con un intervalo de concentración de materia orgánica medio y muy alto, respectivamente (Cuadro 5), lo anterior de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000 (Semarnat, 2002).

**Cuadro 5.** Contenido de materia orgánica y granulometría en el suelo de tres áreas con diferente grado de perturbación en un bosque de clima templado.

<b>Área de estudio</b> <b>Variables</b>	<b>Área de conservación</b>	<b>Área intervenida hace 18 años</b>	<b>Área de reciente intervención</b>
Materia orgánica (%)	16.2	6.9	15.7
Intervalo de concentración de <i>MOS</i>	Muy alto	Medio	Alto
Granulometría Arcilla (%)	9.4	17.4	11.4
Limo	17.2	24.5	28.5
Arena	73.2	58	60
Clase textual	Franco-Arenoso	Franco-Arenoso	Franco-Arenoso

Algunas de las diferencias pueden deberse a que la velocidad de humificación de la materia orgánica es diferente en las áreas de reciente intervención y de conservación (hojarasca) en comparación con el área intervenida hace 18 años (mantillo de pino). Una situación similar se presentó en el estudio realizado por Romero-Barrios *et al.* (2015) en un bosque de oyamel, pino y encino.

La granulometría es relativa a la proporción de partículas presentes en el suelo. En el área de conservación se presentó 9.4 % de arcillas y un máximo de partículas de arena de 73.2 %, mientras que en el área intervenida hace 18 años se tuvo 17.4 % de arcillas y 58.0 % de arenas (Cuadro 5). Con base en el triángulo de texturas

(USDA, 1999), las tres áreas que se evaluaron en esta investigación mostraron la clase textural franco-arenosa (Cuadro 5). Estos resultados se asemejan a los publicados por Cruz-Ruiz *et al.* (2012), quienes evaluaron el efecto en las características edáficas de un bosque templado por el cambio de uso de suelo en la ladera Norte del Parque Nacional Nevado de Toluca, y cuyos resultados indicaron que el uso de suelo de bosque tuvo una proporción de partículas de 6.8 % de arcilla, 38.6 % de limo y 54.7 % de arena. De manera similar, Bayuelo *et al.* (2019) para un bosque de pino-encino de la Meseta Purépecha, Michoacán registraron 11.8 % de partículas de arcilla, limo 16.0 % y arena 72.2 %, valores muy semejantes a los resultados encontrados en este estudio.

Por otro lado, la densidad aparente como característica física del suelo presentó diferencias significativas ( $F=3.17$ ,  $P\leq 0.0782$ ) entre las áreas evaluadas. En el área de reciente intervención se registró  $0.62 \text{ g cm}^{-3}$  en comparación con el área de conservación que presentó  $0.32 \text{ g cm}^{-3}$  (Cuadro 6). Estos resultados mostraron que en las áreas de reciente intervención, el suelo se compactó hasta 48.4 % más que en las otras áreas.

**Cuadro 6.** Densidad aparente, porosidad y capacidad de infiltración del suelo en tres áreas con diferente grado de perturbación en un bosque de clima templado.

Áreas de estudio		Área de conservación	Área intervenida hace 18 años	Área de reciente intervención
<b>Variables</b>				
Densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ )	Media	0.32 a <sup>†</sup>	0.54 ab	0.62 b
	Mínima	0.23	0.31	0.33
	Máxima	0.39	0.68	1.06
	Desviación estándar +/-	0.07	0.16	0.29
Porosidad del suelo (%)	Media	88a <sup>†</sup>	80ab	77b
	Mínima	85	74	60
	Máxima	91	88	87

	Desviación estándar +/-	0.02	0.06	0.11
Capacidad de infiltración (cm min <sup>-1</sup> )	Media	2.67	0.65	0.89
	Mínima	1.13	0.18	0.04
	Máxima	6.27	0.98	1.54
	Desviación estándar +/-	1.84	0.27	0.49

<sup>†</sup>Letras iguales en la misma columna indica que no existe diferencia significativa de acuerdo con la prueba de *Duncan* ( $P \leq 0.05$ ).

Los resultados son inferiores a los documentados por Romero-Barrios *et al.* (2015) en un estudio realizado para materia orgánica y densidad aparente en suelos del Suroeste de la Malinche, Tlaxcala, México, en el cual se consignan 1.5 g cm<sup>-3</sup> de densidad aparente, pero coincide con lo establecido en la NOM-021-SEMARNAT-2000 (Semarnat, 2002) para suelos orgánicos y volcánicos, cuya densidad aparente debe ser menor a 1 g cm<sup>-3</sup>. Se infiere que en las áreas de estudio existe un adecuado flujo de agua e intercambio gaseoso en el suelo que favorece la recarga del acuífero de la región.

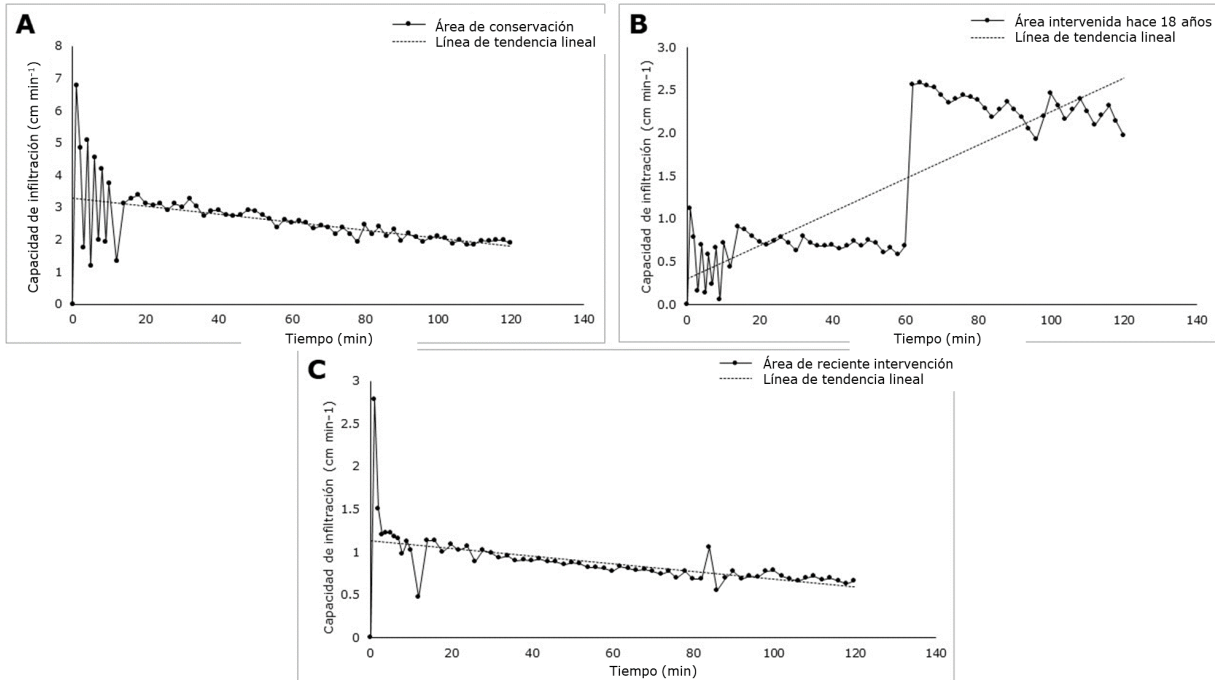
Otra variable evaluada fue la porosidad, la cual está directamente relacionada con la densidad aparente. Los resultados indicaron diferencias significativas ( $F=3.17$ ,  $P \leq 0.0783$ ) entre las áreas de estudio. El área de conservación presentó en promedio 88 % de porosidad en el suelo, mientras que en el área de reciente intervención fue de 77 % (Cuadro 6). Los datos de porosidad del suelo en las tres áreas evaluadas evidenciaron que el impacto generado fue mayor en el área de reciente intervención, con un intervalo de 60 a 87 %.

Los valores obtenidos de porosidad en este estudio son similares a los registrados por González-Barrios *et al.* (2011) quienes señalan que los espacios porosos en suelo de bosque son superiores a 62 % del volumen total. Por otro lado, Jourgholami *et al.* (2019) en el distrito de *Tangar*, en la región de *Tyrumrud* de los bosques de *Hyrceanian* (Irán), estimaron indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo para evaluar la restauración de un suelo compactado después de la



reforestación, y obtuvieron en cuatro tratamientos una máxima porosidad de 57.31 %.

El análisis de la prueba de infiltración vertical del recurso hídrico en el suelo forestal indicó diferencias significativas ( $F=3.95$ ,  $P\leq 0.0481$ ) entre las áreas. La capacidad de infiltración del suelo en el área de conservación tuvo en promedio una tasa de  $2.67 \text{ cm min}^{-1}$ . El área de reciente intervención registró el valor mínimo de movimiento vertical del agua con  $0.04 \text{ cm min}^{-1}$  (Cuadro 6). Cabe añadir que la capacidad de infiltración del suelo en el área de conservación tuvo valores entre  $1.22$  y  $6.80 \text{ cm min}^{-1}$  durante los primeros 12 minutos, en ese mismo tiempo las variaciones en las otras dos áreas fueron de  $0.06$  hasta  $2.78 \text{ cm min}^{-1}$ . A partir del minuto 14, la capacidad de infiltración fue mayor en el área de conservación con tendencia a estabilizarse ( $1.84$  a  $3.03 \text{ cm min}^{-1}$ ) a los 120 minutos. Sin embargo, para el área de reciente intervención, los valores de la capacidad de infiltración fueron menores en el mismo periodo ( $0.55$  a  $1.13 \text{ cm min}^{-1}$ ). Por último, hay que resaltar que el área intervenida hace 18 años presentó menor capacidad de infiltración del minuto 14 al 58 (Figura 4B), pero experimentó un incremento notorio a partir del minuto 60, con valores similares ( $1.97$  a  $2.57 \text{ cm min}^{-1}$ ) al área de conservación (Figura 4A).



**Figura 4.** Comportamiento de la capacidad de infiltración ( $\text{cm}/\text{min}^{-1}$ ) del suelo en tres áreas con diferente grado de perturbación en un bosque de clima templado.

Los resultados obtenidos en este trabajo son semejantes a los documentados por Lozano-Trejo *et al.* (2020) en un estudio realizado en la cuenca del Sur de México sobre infiltración y escurrimiento de agua en el suelo, donde obtuvieron una infiltración básica del suelo de  $2.29 \text{ cm min}^{-1}$  para un bosque similar al área de conservación a diferencia de Matías *et al.* (2020), quienes en una investigación referente a los factores que influyen en la erosión hídrica del suelo en un bosque templado, observaron que en la vegetación de pino se puede llegar a tener una infiltración de  $0.19 \text{ cm min}^{-1}$  ( $11.76 \text{ cm h}^{-1}$ ), datos que difieren a lo registrado en el presente estudio. Por otro lado, Monárrez-González *et al.* (2018) señalan que los bosques bajo aprovechamiento forestal tienden a recuperar su flujo de infiltración con el tiempo, después de las actividades de abastecimiento que causan un impacto temporal sobre las variables hidrológicas, como se refleja en los resultados que aquí se documentan.

## **Conclusiones**

Las características físico-hidrológicas en el suelo forestal se modifican de manera temporal por las actividades propias del aprovechamiento forestal maderable de los bosques templados de pino-encino, lo que aumenta la densidad aparente, reduce la porosidad y disminuye la tasa de infiltración del recurso hídrico durante un evento de precipitación.

Durante el establecimiento y desarrollo de las nuevas masas forestales resultantes del aprovechamiento, el suelo forestal tiende a recuperar sus condiciones físicas y químicas a través del tiempo, lo que incrementa la porosidad y la capacidad de infiltración del agua de lluvia. Este impacto positivo se atribuye al crecimiento y desarrollo del sistema radicular de la nueva vegetación, a la incorporación constante de materia orgánica y a poblaciones de microorganismos presentes en suelo.

## **Agradecimientos**

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (Conahcyt) por la beca económica otorgada a Josué Fabián Pérez Hernández, lo cual permitió realizar esta investigación.

## **Conflicto de intereses**

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

### **Contribución de los autores**

Josué Fabián Pérez-Hernández: toma de datos de campo y elaboración del manuscrito; Ramón Razo-Zárate: preparación del borrador original; Rodrigo Rodríguez-Laguna: análisis estadístico; Juan Capulín-Grande: revisión de la metodología; Ingrid Arcega-Santillán y Nancy Manzur-Chávez: revisión del manuscrito.

### **Referencias**

- Azañero A., L., M. Ñique Á. y N. Florida R. 2020. Calidad del suelo en diferentes sistemas de uso en selva alta de Huánuco, Perú. *Revista Tayacaja* 3(1):112-125. Doi: 10.46908/rict.v3i1.75.
- Bayuelo J., J. S., I. Ochoa, E. de la Cruz T. y T. Muraoka. 2019. Efecto del uso del suelo en las formas y disponibilidad de fósforo de un Andisol de la Meseta P'urhépecha, Michoacán. *Terra Latinoamericana* 37(1):35-44. Doi: 10.28940/tl.v37i1.367.
- Béjar-Pulido, S. J., I. Cantú-Silva, H. González-Rodríguez, J. G. Marmolejo-Moncivais, M. I. Yáñez-Díaz and E. O. Luna-Robles. 2021. Effect of land use change and agricultural management on physical and hydrological properties of an Andosol in Uruapan, Michoacán. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 27(2):323-335. Doi: 10.5154/r.rchscfa.2020.04.032.
- Bolaños G., M. A., F. Paz P., C. O. Cruz G., J. A. Argumedo E., V. M. Romero B. y J. C. de la Cruz C. 2016. Mapa de erosión de los suelos de México y posibles implicaciones en el almacenamiento de carbono orgánico del suelo. *Terra*

Latinoamericana 34(3):271-288. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n3/2395-8030-tl-34-03-00271.pdf>. (20 de octubre de 2022).

Chagoya F., J. L., C. Mallén R., M. A. McDonald, F. Jiménez O., ... y F. Becerra L. 2015. Información hidrológica, primer paso para diseñar una política local de pago por servicios ambientales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(29):24-43. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v6n29/v6n29a3.pdf>. (28 de octubre de 2022).

Chamizo-Checa, S., E. Otazo-Sánchez, A. J. Gordillo-Martínez, C. A. González-Ramírez, J. Suárez-Sánchez y H. Muñoz-Nava. 2018. El cambio climático y la disponibilidad agua en sub-cuencas del Valle del Mezquital, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias* 5(5):40-51. <http://www.reibci.org/publicados/2018/oct/3000102.pdf>. (29 de noviembre de 2022).

Chaudhari, P. R., D. V. Ahire, V. D. Ahire, M. Chkravarty and S. Maity. 2013. Soil bulk density as related to soil texture, organic matter content and available total nutrients of Coimbatore soil. *International Journal of Scientific and Research Publications* 3(2):1-8.

<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.299.7022&rep=rep1&type=pdf>. (8 de enero de 2023).

Cruz-Leyva, I. A., J. R. Valdez-Lazalde, G. Ángeles-Pérez y H. M. de los Santos-Posadas. 2010. Modelación espacial de área basal y volumen de madera en bosques manejados de *Pinus patula* y *P. teocote* en el ejido Atopixco, Hidalgo. *Madera y Bosques* 16(3):75-97. <https://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v16n3/v16n3a6.pdf>. (12 de enero de 2023).

Cruz-Ruiz, E., A. Cruz-Ruiz, L. I. Aguilera-Gómez, H. T. Norman-Mondragón, ... y B. G. Reyes-Reyes. 2012. Efecto en las características edáficas de un bosque templado por el cambio de uso de suelo. *Terra Latinoamericana* 30(2):189-197. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v30n2/2395-8030-tl-30-02-00189.pdf>. (5 de enero de 2023).

Dourojeanni, M. J. 2020. ¿Es sostenible el aprovechamiento maderero de bosques naturales en el Perú? *Revista Forestal del Perú* 35(2):80-93. Doi: 10.21704/rfp.v35i2.1577.

Dueñez-Alanís, J., J. Gutiérrez, L. Pérez and J. Návar. 2006. Manejo silvícola, capacidad de infiltración, escurrimiento superficial y erosión. *Terra Latinoamericana* 24(2):233-240. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57311108010.pdf>. (17 de octubre de 2022).

Endara A., Á. R. y F. Herrera T. 2016. Deterioro y conservación de los bosques del Nevado de Toluca y el rol de los actores locales. *CIENCIA ergo-sum* 23(3):247-254. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5713913>. (10 de octubre de 2022).

González-Barrios, J. L., G. González-Cervantes, I. Sánchez-Cohen, A. López-Santos y L. M. Valenzuela-Núñez. 2011. Caracterización de la porosidad edáfica como indicador de la calidad física del suelo. *Terra Latinoamericana* 29(4):369-377. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792011000400369](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792011000400369). (18 de febrero de 2023).

Guerrero A., A. M., N. Tornés O., O. Brown M. y Y. Gómez M. 2016. Evaluación de tres modelos en la estimación de la infiltración acumulada. *Revista Ingeniería Agrícola* 6(3):41-47. <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/826/859>. (15 de diciembre de 2022).

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1992. Síntesis geográfica del estado de Hidalgo. INEGI. Aguascalientes, Ags., México. 136 p.

Jourgholami, M., T. Ghassemi and E. R. Labelle. 2019. Soil physio-chemical and biological indicators to evaluate the restoration of compacted soil following reforestation. *Ecological Indicators* (101):102-110. Doi: 10.1016/j.ecolind.2019.01.009.

López-Hernández, J. A., Ó. A. Aguirre-Calderón, E. Alanís-Rodríguez, J. C. Monarrez-Gonzalez, M. A. González-Tagle y J. Jiménez-Pérez. 2017. Composición y diversidad de especies forestales en bosques templados de Puebla, México. *Madera y Bosques* 23(1):39-51. Doi: 10.21829/myb.2017.2311518.

Lozano-Trejo, S., J. Olazo-Aquino, M. I. Pérez-León, E. Castañeda-Hidalgo, G. O. Díaz-Zorrilla y G. M. Santiago-Martínez. 2020. Infiltración y escurrimiento de agua en suelos de una cuenca en el sur de México. *Terra Latinoamericana* 38(1):57-66. Doi: 10.28940/terra.v38i1.443.

Matías R., M., J. D. Gómez D., A. I. Monterroso R., M. Uribe G., ... y C. Asencio. 2020. Factores que influyen en la erosión hídrica del suelo en un bosque templado. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 11(59):51-71. Doi: 10.29298/rmcf.v11i59.673.

Monárrez-González, J. C., G. Pérez-Verdín, C. López-González, M. A. Márquez-Linares y M. del S. González-Elizondo. 2018. Efecto del manejo forestal sobre algunos servicios ecosistémicos en los bosques templados de México. *Madera y Bosques* 24(2):e2421569. Doi: 10.21829/myb.2018.2421569.

Muñoz I., D. J., M. Ferreira R., I. B. Escalante A. y J. López G. 2013. Relación entre la cobertura del terreno y la degradación física y biológica de un suelo aluvial en una región semiárida. *Terra Latinoamericana* 31(3):201-210. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v31n3/2395-8030-tl-31-03-00201.pdf>. (22 de noviembre de 2022).

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (ONUAA). 2016. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015 ¿Cómo están cambiando los bosques del mundo? ONUAA. Roma, RM, Italia. 44 p. <http://www.fao.org/3/i4793s/i4793s.pdf>. (21 de diciembre de 2022).

Pérez-Campomanes, G. y J. Iannacone. 2020. Impacto del cambio climático en la disponibilidad de las aguas superficiales en Sudamérica. *Paideia XXI* 10(1):173-202. Doi: 10.31381/paideia.v10i1.2981.

Rodríguez D., I., H. I. Pérez I., R. M. García B. y A. J. Quezada M. 2020. Efecto del manejo agrícola en propiedades físicas y químicas del suelo en diferentes agroecosistemas. *Revista Universidad y Sociedad* 12(5):389-398. <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v12n5/2218-3620-rus-12-05-389.pdf>. (23 de febrero de 2023).

Romero-Barrios, C., E. García-Gallegos y E. Hernández-Acosta. 2015. Materia orgánica y densidad aparente en suelos del suroeste de La Malinche, Tlaxcala, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias* 2(5):63-70. <http://www.reibci.org/publicados/2015/septiembre/1200108.pdf>. (27 de enero de 2023).

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) y Colegio de Postgraduados (CP). 2002. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana. Escala 1:250 000. Memoria Nacional 2001-2002. Semarnat y CP. Texcoco, Edo. Méx., México. 69 p. [https://www.researchgate.net/publication/307967321\\_SEMARNAT-CP\\_2003\\_Memoria\\_Nacional\\_2001,2002\\_Evaluacion\\_de\\_la\\_Degradacion\\_del\\_Suelo\\_causada\\_por\\_el\\_Hombre\\_en\\_la\\_Republica\\_Mexicana\\_escala\\_1250000\\_Memoria\\_Nacional](https://www.researchgate.net/publication/307967321_SEMARNAT-CP_2003_Memoria_Nacional_2001,2002_Evaluacion_de_la_Degradacion_del_Suelo_causada_por_el_Hombre_en_la_Republica_Mexicana_escala_1250000_Memoria_Nacional). (27 de noviembre de 2022).

Secretaría 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. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>. (14 de enero de 2023).

Servicios Forestales de Hidalgo (Serforh). 2011. Estudio Regional Forestal de la Unidad de Manejo Forestal 1302 "Zacualtipán-Molango". Serforh S. C. y Asociación de Productores Forestales de la Región Zacualtipán-Molango, A. C. Mineral de la Reforma, Hgo., México. 423 p.



<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/9/2943Estudio%20Regional%20Forestal%201302..pdf>. (18 de diciembre de 2022).

Silva P., A., B. A. Rodríguez R. y N. Vargas A. 2020. Análisis textural en la regulación de funciones ecosistémicas en sistemas agroforestales de un oxisol de Piedemonte Llanero en época seca, Colombia. *Idesia* 38(3):43-51. Doi: 10.4067/S0718-34292020000300043.

Statistical Analysis System Institute (SAS). 1985. SAS/STAT Guide for Personal Computers, Version 6 Edition. SAS Institute. Ann Arbor, MI, United States of America. 378 p.

Turnbull, L., J. Wainwright and R. E. Brazier. 2010. Changes in hydrology and erosion over a transition from grassland to shrubland. *Hydrological Processes* 24(4):393-414. Doi: 10.1002/hyp.7491.

United States Department of Agriculture (USDA). 1999. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. USDA. Washington, DC, Estados Unidos de América. 82 p.

<https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Gu%C3%ADa%20para%20la%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20y%20Salud%20del%20Suelo.pdf>. (6 de enero de 2023).

Valladares-Samperio, K. and L. Galicia-Sarmiento. 2021. Impacts of forest management on soil properties: a fundamental research topic for Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 27(1):33-52. Doi: 10.5154/r.rchscfa.2019.11.088.

Vargas D., R. E., J. R. Galindo P. y R. Giraldo H. 2021. Análisis espacial de propiedades físicas del suelo de la Hoya del Río Suárez, Boyacá-Santander (Colombia), utilizando componentes principales. *Investigación Agraria* 23(1):8-16. Doi: 10.18004/investig.agrar.2021.junio.2301657.

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.

Weber, J. F. y L. Apestegui. 2016. Relaciones entre parámetros de los modelos de infiltración de Kostiakov y Lewis-Kostiakov, Córdoba, Argentina. *Tecnología y Ciencias del Agua* 7(2):115-132. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v7n2/2007-2422-tca-7-02-00115.pdf>. (12 de enero de 2023).

Zapata-Sierra, A. y F. Manzano-Agugliaro. 2008. Influencia de seis especies arbóreas en la infiltración de agua en el suelo. *Agrociencia* 42(7):835-845. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v42n7/v42n7a10.pdf>. (19 de diciembre de 2022).



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.