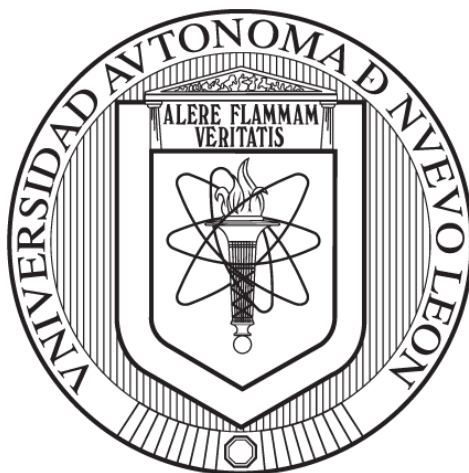


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE UN
CHERNOZEM BAJO DIFERENTES USOS DEL SUELO
EN EL NORESTE DE MÉXICO**

Por:

ING. RODOLFO ALEJANDRO MARTÍNEZ SOTO

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

Agosto, 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE UN
CHERNOZEM BAJO DIFERENTES USOS DEL SUELO
EN EL NORESTE DE MÉXICO**

Por:

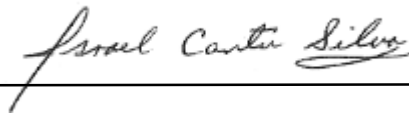
ING. RODOLFO ALEJANDRO MARTÍNEZ SOTO

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

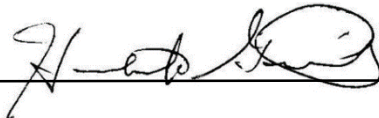
Agosto, 2020

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE UN CHERNOZEM
BAJO DIFERENTES USOS DEL SUELO EN EL NORESTE DE
MÉXICO**

Aprobación de Tesis



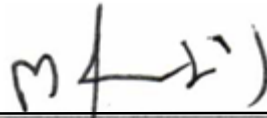
Dr. Israel Cantú Silva
Director



Dr. Humberto González Rodríguez
Co-director



Dr. José Guadalupe Marmolejo Monsiváis
Asesor



Dra. María Inés Yáñez Díaz
Asesor

Agosto, 2020

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo otorgado, para realizar mis estudios y la elaboración de mi tesis.

A mi comité de Tesis el Dr. Israel Cantú Silva, Dr. Humberto González Rodríguez, Dr. José G. Marmolejo Monsiváis y la Dra. María Inés Yáñez Díaz, muchas gracias por los consejos y el tiempo dedicado no solo en esta tesis, sino también en las clases que me impartieron cada uno de ustedes.

Al Laboratorio de Suelos y Nutrición de Bosques, por facilitarme el material y equipo necesario para realizar el procesamiento de las muestras en sus instalaciones, y personal.

Al Dr. Israel Cantú Silva que me brindo su confianza, como alumno y amigo, gracias por tenerme la confianza para trabajar con usted y su gran equipo de trabajo, gracias por compartirme algunas de sus experiencias y en ocasiones actuar como un guía, muchas gracias Doc.

A la Dra. María Inés Yáñez Díaz por su ayuda y mucha muchísima paciencia, aprendí con ella paso a paso y día a día algunas cosas del laboratorio y poco a poco me fui ganando su confianza y su amistad, realizamos trabajos hombro a hombro siempre apoyándonos, muchísimas gracias jefa.

A mi novia, amiga y compañera que durante estos 7 años ha estado conmigo de una u otra manera siempre estuvimos acompañándonos y trabajando juntos, y nos complementamos el uno al otro, muchas gracias Karla Estrella Díaz García.

A mi amigo Andrés Velázquez por su amistad y la ayuda brindada en la realización de viajes y trabajo de campo en la recolección de muestras de suelo y de densidad aparente, buenas platicas de carretera y campo.

A mi amigo Rafael Cavazos, por su ayuda en la realización de viajes y trabajo de campo, gran experiencia en la realización de infiltración y toma de muestras de suelo.

A mi amigo Gabriel, que sin su ayuda no se hubiera podido llevar a cabo, gracias por presentarme a los dueños de los predios.

A mis amigos y compañeros de posgrado, Mónica Carmona, Fátima, Armando, Elisama, Deisy, Esmeralda, Samuel y Víctor.

Al señor Álvaro López Tamez, dueño de la huerta de cítricos agradezco haber otorgado permiso para realizar el experimento.

Al señor Héctor Cantú Beltrán, dueño de la parcela de agricultura agradezco haber otorgado permiso para realizar el experimento.

Al señor Fidencio Remigio García Saucedo agradezco haber otorgado permiso para realizar el experimento.

DEDICATORIA

A mi abuelita:

Ma. De Jesús Soto Rodríguez (+)

A mi madre

Margarita Martínez Soto

Por todo el esfuerzo y dedicación que ha hecho a lo largo de tu vida, por superarte y salir adelante, madre estoy infinitamente agradecido contigo, y me siento muy orgulloso de ser tu hijo

Con cariño tu hijo.

Rodolfo Alejandro Martínez Soto.

ÍNDICE

1. Introducción.....	1
1. Justificación.....	3
2. Antecedentes	4
3. Hipótesis.....	7
4. Objetivo	7
4.1. Objetivo general.....	7
4.2. Objetivos específicos	7
5. Materiales y Métodos	8
5.1. Localización del área de estudio.....	8
5.2. Descripción de los usos del suelo.....	9
5.3. Muestreo y análisis del suelo.....	12
5.4. Propiedades físicas	13
5.5. Propiedades químicas	15
5.6. Propiedades hidroedáficas	16
6. Análisis estadísticos	18
7. Resultados	19
7.1. Propiedades fisicoquímicas	19
7.2. Propiedades hidroedáficas	29
8. Discusión.....	41
9. Conclusiones.....	44
10. Literatura	45
11. ANEXOS.	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis de varianza para las variables fisicoquímicas de materia orgánica (MO), reacción del suelo (pH), conductividad eléctrica (CE), textura (Arena, Limo, Arcilla), densidad aparente (DA), porosidad (Po) y resistencia mecánica a la penetración (RMP).....	20
Tabla 2. Prueba de H de Kruskal-Wallis para las variables de infiltración (Ii), infiltración acumulada (Ia) y capacidad de infiltración (Ci).	29
Tabla 3. Prueba de Mann-Whitney U para las variables de infiltración estudiadas. infiltración inicial (Ii), infiltración acumulada (Ia) e infiltración básica (Ib).	29
Tabla 4. Análisis de varianza para las variables capacidad de campo (C.C.), punto de marchitez permanente (P.M.P.) y agua útil (AU).....	30
Tabla 5. Coeficientes de correlación de Spearman profundidad 0-10 cm para las variables fisicoquímicas e hidroedáficas. Reacción del suelo (pH), Conductividad eléctrica (CE), Materia orgánica (MO), Carbono orgánico (CO), Arena, Arcilla, Limo, Densidad aparente (DAP), Porosidad (Po) y Resistencia mecánica a la penetración (RMP), Capacidad de campo (CC), Punto de marchitez permanente (PMP), Agua útil (Au), Infiltración inicial (Ii), Infiltración acumulada (Ia), Infiltración básica (Ib) y Humedad del suelo (Hs).....	39
Tabla 6. Coeficientes de correlación de Spearman profundidad 10-30 cm para las variables fisicoquímicas e hidroedáficas. Reacción del suelo (pH), Conductividad eléctrica (CE), Materia orgánica (MO), Carbono orgánico (CO), Arena, Arcilla, Limo, Capacidad de campo (CC), Punto de marchitez permanente (PMP) y Agua útil (Au).	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio.	8
Figura 2. Matorral espinoso tamaulipeco.....	10
Figura 3. Área agrícola (AGRI).....	10
Figura 4. Área de cítricos (CÍTRI).....	11
Figura 5. Área de pastizal inducido (PAST).....	11
Figura 6. Muestras compuestas.	12
Figura 7. Valores medios para Materia Orgánica en las dos profundidades para los cuatro sistemas de uso del suelo. Medias con distinta letra en una misma profundidad, son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).	21
Figura 8. Valores medios para carbono orgánico en las dos profundidades para los cuatro sistemas de uso del suelo. Medias con distinta letra en una misma profundidad, son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).	22
Figura 9. Valores medios para pH en las dos profundidades para los cuatro sistemas de uso del suelo. Medias con distinta letra en una misma profundidad, son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).	23
Figura 10. Valores medios para Conductividad Eléctrica para los cuatro sistemas de uso del suelo. Medias con distinta letra en una misma profundidad, son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).	24
Figura 11. Valores medios para textura en dos profundidades para los cuatro usos del suelo. Medias con distinta letra en una misma profundidad, son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).	25
Figura 12. Valores medios para Densidad Aparente en los cuatro usos del suelo. Medias con distinta letra en una misma profundidad son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).	26
Figura 14. Valores medios para la Resistencia Mecánica a la Penetración (RMP) en la profundidad 0-10 cm para los cuatro usos del suelo. Medias con distinta letra, son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).	28
Figura 15. Valores medios para capacidad de campo para dos profundidades para los cuatro usos del suelo. Medias con distinta letra en una misma profundidad, son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).	31
Figura 19. Valores medios de infiltración inicial para los cuatro usos de suelo.	35
Figura 22. Mapa de distribución del suelo Chernozem en el estado de Nuevo León.	54

Resumen

Los usos del suelo se han hecho presentes desde que el hombre domesticó las plantas cultivadas, desde entonces el suelo se encuentra en un ritmo acelerado de cambio constante. Es por ello que es determinante estudiar y analizar los distintos cambios fisicoquímicos que pueden hacerse presentes al someter los suelos a diferentes usos. Los cultivos presentan una demanda antropogénica que cada día va en aumento. El presente estudio se ubicó en un suelo Chernozem en el Municipio de General Terán, Nuevo León, México, sobre el cual se encuentran usos de suelo con una antigüedad de 20 a 45 años. Los sistemas de uso del suelo investigados fueron: Una plantación de cítricos (CÍTRI), un área de pastoreo (PAST), un área de agricultura (AGRI) con gramíneas, y la vegetación natural del sitio, Matorral Espinoso Tamaulipeco (MET) como tratamiento testigo. Se obtuvieron 4 muestras compuestas de suelo de cada sitio a dos profundidades (0-10 cm y 10-30 cm). Las propiedades químicas analizadas fueron materia orgánica (MO), pH, conductividad eléctrica (CE), mientras que para las propiedades físicas consistieron en densidad aparente (DA), textura (T), porosidad total (Po), resistencia mecánica a la penetración (RMP) y para las variables hídricas fueron capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP), agua útil (AU), infiltración inicial (Ii), infiltración acumulada (Ia) y capacidad de infiltración (Ci). En las propiedades químicas para MO, el MET presentó un valor de 4.96 % para la profundidad 0-10 cm, mientras que el área de AGRI mostró el valor más bajo con 3.14 %; esta disminución representó un 36.7 % de pérdida respecto al testigo. Para la variable de pH no se presentaron diferencias entre las áreas, mientras que conductividad eléctrica, si presenta diferencias entre áreas, pero no por profundidades, siendo CÍTRI el más alto con $103.1 \mu\text{S cm}^{-1}$ seguido por MET $102.5 \mu\text{S cm}^{-1}$, PAST $82.7 \mu\text{S cm}^{-1}$ y AGRI $82.6 \mu\text{S cm}^{-1}$. En cuanto a las propiedades hidroedáficas, la RMP mostró valores de 3.08, 1.80, 1.30 y 1.08 kg cm^{-2} para PAST, CÍTRI, AGRI y MET, respectivamente.

Para la infiltración acumulada el área de CÍTRI fue el que obtuvo el valor más alto con 961 mm seguido por MET, AGRI y PAST, correspondiéndoles los valores de 171, 151 y 41 mm, respectivamente. El impacto del uso de maquinaria y laboreo en los distintos usos de suelo, ha generado cambios en las propiedades químicas, físicas e hídricas del suelo Chernozem.

Abstract

Soil uses have been present since man domesticated plants, since then the soil is in an accelerated rate of constant change, which is why it is decisive to study and analyze the different physicochemical changes that can be present when subjecting the soils to different uses. Crops have an anthropogenic demand that is increasing every day. This research was located in a Chernozem soil at the Municipality of General Terán, Nuevo León, México, where are found land uses that are 20 to 45 years old, the land uses system studied were: A citrus plantation (CÍTRI), a grazing area (PAST), and an agriculture area (AGRI) with grasses and the natural vegetation of the site Thornscrub as a control plot. Four composite soil samples were obtained from each site and two depths of 0-10 cm and 10-30 cm were managed, the chemical properties performed were organic matter (MO), pH, electrical conductivity (CE), while for the Physical properties consisted of bulk density (DA), texture (T), total porosity (Po), mechanical resistance to penetration (RMP) and for water variables were field capacity (CC), permanent wilting point (PMP), water useful (AU), initial infiltration (Ii), accumulated infiltration (Ia) and infiltration capacity (Ci). In the chemical properties for organic matter, the MET presented a value of 4.96% for the depth 0-10 cm while the AGRI area was the lowest with 3.14%, this decrease represents a 36.7% loss compared to the control, for pH variables did not show differences between areas, while electrical conductivity did show differences between areas but not by depths, with CÍTRI being the highest with $103.1 \mu\text{S cm}^{-1}$ followed by MET $102.5 \mu\text{S cm}^{-1}$, PAST $82.7 \mu\text{S cm}^{-1}$ and AGRI $82.6 \mu\text{S cm}^{-1}$, in terms of hydrographic properties for the RMP showed values of 3.08, 1.80, 1.30 and 1.08 kg cm^2 , for PAST, CÍTRI, AGRI and MET respectively. For the accumulated infiltration, the CÍTRI area was the one that obtained the highest value with 961 mm followed by MET, AGRI and PAST, corresponding to the values of 171, 151, and 41 mm. The impact of the use of machinery and tillage on the different land uses has generated changes in the chemical, physical and water properties of the Chernozem soil

1. Introducción

En México, existen 26 de los 32 grupos de suelo reconocidos por el Sistema Internacional Base Referencial Mundial del Recurso Suelo y el Chernozem ocupa solo el 1.3% del territorio nacional. Los suelos Chernozem son muy fértiles debido a su alto contenido de carbono orgánico (COS) (IUSS, 2015).

Velázquez *et al.*, (2002), predice que la cubierta vegetal para México debe tener 0.7 ha per cápita aproximadamente de cubierta arbolada, pero los datos actuales indican que el país alberga solo 0.5 ha de cubierta forestal y se pronóstica que para el 2025, cuente solo con el 0.3 ha muy por debajo de la media mundial. Posiblemente se deba a la deforestación acelerada y a la continua demanda de espacios en ciudad para la construcción y en los campos para los cultivos.

El Matorral Espinoso Tamaulipeco (MET) cubre una superficie aproximada a los 200,000 km² desde el noreste de México y el sureste de Texas. Dicha vegetación desde finales del siglo XVI ha sido sometida a actividades antropogénicas como la ganadería, agronomía y extracción de madera para uso forestal. Otros grandes impactos que sufre es el sobrepastoreo, extracción de leña, forraje para ganado y la eliminación a matarrasa; estos eventos se han dado durante décadas, haciendo cada vez más escasa la vegetación primaria (Alanís *et al.*, 2008).

Las acciones antropogénicas han causado un gran impacto en los ecosistemas, deteriorándolo y fragmentándolo. Martínez *et al.* (2008), determinó el contenido de carbono orgánico del suelo (COS), concluyendo que el COS se ve afectado fuertemente por el uso y manejo que se le aplica, a su vez menciona que existen prácticas de manejo que favorecen su acumulación.

El urbanismo va creciendo y cada vez más se demanda más suelo para construcción, restándole importancia a los suelos para la supervivencia y prosperidad. En todos los ecosistemas el suelo son una parte fundamental del círculo que conforma al ambiente, generándonos servicios ambientales indispensables para la vida humana (Cotler *et al.*, 2007).

El suelo no goza del mismo aprecio que los demás recursos naturales, entre los que destacan el agua, bosques y la minería; esto porque no se considera un bien directamente consumible, y por el error de que se tiene de que los suelos son renovables a escala humana, probablemente es por esta razón que la sociedad en general se siente menos preocupada por la degradación de suelos que por el agotamiento de otros recursos naturales (Zinck, 2005).

El suelo Chernozem, se caracteriza por presentar una capa superior muy rica en materia orgánica y es de color negro, su nombre proviene de la palabra rusa cherno y zemljá, que significa, literalmente tierra negra. A nivel mundial, ocupan una extensión aproximada de 230 millones ha y su distribución es muy limitada principalmente en las estepas de latitud media de Eurasia y Norteamérica (FAO, 2014).

Para México, el suelo Chernozem ocupa una extensión del 1.3 % del territorio nacional mexicano, lo que equivale a 2,553,687.5 ha aproximadamente (INEGI, 2007). Según el INEGI (2014), en el estado de Nuevo León se encuentran alrededor de 254,256 ha, lo que equivaldría al 9.96 % de todo el suelo Chernozem que se encuentra en toda la república mexicana.

El pH es una de las propiedades más importantes del suelo, ya que funge como un indicador para la disponibilidad de nutrientes (Osorio, 2012). El pH óptimo para la absorción de los macronutrientes se encuentra en un rango de ligeramente ácido (pH 6) a medianamente alcalino (pH 8.5); se incluyen el nitrógeno (N), fósforo (P), molibdeno (Mo), potasio (K), azufre (S), calcio (Ca) y magnesio (Mg). Mientras que, para los micronutrientes, su óptimo se encuentra en un pH ácido de 5 a un neutro de 7; incluye el boro (B), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn) (Castellanos, 2000).

1. Justificación

Debido a la topografía y a los diversos climas que caracterizan a nuestro país, se han formado una gran diversidad de suelos, entre ellos algunos con muy poca superficie pero que destaca por presentar características de alta fertilidad y que son muy óptimos para el desarrollo de la vegetación y el cultivo para el uso agrícola o plantaciones comerciales de uso forestal.

Una de las características más importantes del suelo Chernozem es que presenta un alto contenido de nutrientes. Esto ha propiciado que más áreas del suelo con su vegetación natural estén sufriendo cambios en su uso y cada año aumenta su deforestación con fines económicos, en los que destacan, la agricultura, ganadería, monocultivos de uso forestal, entre otros.

El suelo es el génesis de la alimentación y es un recurso finito no renovable, la calidad de nuestros recursos depende directamente de su fertilidad y calidad del suelo. Al someterlo a grandes cambios, estaríamos terminando con el balance natural que existe, agotando así los recursos de otros seres vivos como son los organismos que dependen directa e indirectamente del suelo, si un eslabón se rompe la cadena de sucesos colapsaría.

La investigación es fundamental para fortalecer una adecuada administración de los recursos, para mantener la sostenibilidad de las futuras generaciones, y para lograrlo se requiere invertir en la investigación de nuestros suelos, para obtener un adecuado manejo de este recurso.

2. Antecedentes

En México, en la mayoría de los estudios del carbón orgánico del suelo (COS) se monitorea en periodos cortos de menos de 20 años de duración, ya que está comprobado que en periodos menores de 10 años los cambios en el carbono son relativamente pequeños comparados con el tamaño de este almacén (González *et al.*, 2014).

Los tratamientos de un sistema agroforestal mejora considerablemente los incrementos en la materia orgánica del suelo (MOS) y reporta mayores contenidos de MOS en los primeros 15 cm de profundidad (Benavides *et al.*, 2016).

Ardhad (2002), citado por González (2006), se refieren al concepto “indicador de calidad del suelo”, como las propiedades del suelo, que puedan ser medidas y que influyen en la realización de las funciones de producción agrícola y/o del medio ambiente.

Los diferentes sistemas de usos en un mismo tipo de suelo presentan diferencias en la actividad microbológica. Generalmente los suelos con pastizales tienen una actividad microbológica mayor, por lo que permite mantener una elevada capacidad para descomponer residuos vegetales, animales y fijar nitrógeno de la atmósfera (Di Ciocco *et al.*, 2014).

Carvajal (1987), menciona cinco factores formadores de suelos que son: clima, organismos, material parental, relieve y tiempo. Este conjunto de elementos da origen a un determinado tipo de suelo. Las propiedades de los suelos las divide en químicas y físicas que son: densidad aparente, densidad, real, textura, color y conductividad hidráulica para las físicas, mientras que, para las químicas, menciona a la capacidad de intercambio catiónico, el pH, contenido de microelementos, macroelementos y materia orgánica.

Suelo Chernozem

El suelo Chernozem se forma principalmente por depósitos de suelos llamados loess y sustratos calcáreos, que pueden ser fluviales y lacustres, ricos en carbonatos de calcio. El clima y la precipitación están fuertemente ligados en la formación del suelo Chernozem (Pavlovic *et al.*, 2017).

Las características fisicoquímicas e hídricas del “típico” suelo Chernozem se caracteriza por presentar una porosidad alta del 55 al 60 % y una densidad aparente baja. En la parte química, destaca por los altos porcentajes de materia orgánica (10 a 16 %), el pH varía de 6.6 a 8.5, tiene una relación C/N de 10 y el nitrógeno total fluctúa de 0.2 a 0.5 %. En la parte hídrica, reportan para capacidad de campo 33 %, 13 % para punto de marchitez permanente y un porcentaje del 20 % para el agua útil (FAO, 2001).

En el año de 1883, el científico de origen Ruso Vasili Vasílievich Dokucháyev, clasificó el suelo típico de estepas de Rusia con el nombre de Chernozem (referencia). Algunos países han adoptado nombres diferentes, tales como Kalktschernoseme en Alemania, en Francia se conoce como Chernossols, en Canadá son suelos negros aluviales (Chernozemic), en Brasil se llaman Chernossolos y en los Estados Unidos de América, se encuentran dentro de los suelos Molisoles, pero antes lo llamaban, suelos negros calcáreos (IUSS, 2015).

La sociedad de la ciencia del suelo de Canadá (CSSS, por sus siglas en inglés), menciona que su distribución se encuentra en las regiones de pastizales y las grandes praderas. La región se caracteriza por mantener una temperatura y precipitaciones muy bajas. A su vez mencionan que se ha estimado una reducción del carbono orgánico del suelo en un rango de 15 a 30 % cuando se realizó el cambio de uso del suelo de pradera nativa a un área de agricultura. Clasifican cuatro grandes grupos de Chernozem que son; Chernozem marrón, Chernozem marrón oscuro, Chernozem negro y Chernozem gris oscuro, basándose en el color del horizonte A (CSSS, 2020).

Para México reportan tres subgrupos que son; 1) Chernozem cálcico (Ck), se caracteriza por presentar una capa de carbonatos secundarios (cal) o sulfato de calcio (yeso), 2) el Chernozem háplico (Ch), no presenta ninguna propiedad que lo caracterice, 3) el Chernozem lúvico (Cl), presenta una acumulación de arcillas en el subsuelo (INEGI, 2001).

Kuznetsova (2013) así como Shein *et al.* (2012), mencionan que el suelo Chernozem típico de Rusia, para que se considere óptimo debe de presentar ciertos valores, por mencionar algunas son; densidad aparente 1.10-1.25 g/cm³, la porosidad debe mantener un rango de 55-60 %, la capacidad de campo debe mantenerse en un rango de 32-36 % y la tasa de infiltración tiene un rango de 60-90 mm/h.

Infiltración en el suelo

La penetración de agua en el suelo se le conoce como infiltración del suelo. De manera vertical, el agua se infiltra principalmente por la lluvia, riego, estanques, hielo, nieve, ríos y depósitos de agua; pueden ser artificiales o naturales. La infiltración puede ser constante o inestable y esta cambia o disminuye con el paso del tiempo (Novák y Hlaváčiková, 2019).

El agua en el suelo se le denomina humedad y es la relación de cantidad de suelo y la cantidad de agua. Uno de los métodos más populares que se utiliza es el método gravimétrico, que consiste en pesar una porción de suelo húmedo que es sometido a una temperatura de 105°C, hasta llevar a peso constante (Novák y Hlaváčiková, 2019).

Capacidad de campo y punto de marchitez permanente

La capacidad de campo (CC) es cuando un suelo es saturado y el agua deja de fluir por gravedad a través de los poros y aun se siente húmedo al contacto con los dedos o palma de la mano, mientras que el punto de marchitez permanente (PMP), es la cantidad de agua en el suelo que se ha perdido totalmente. En este punto, las plantas ya no pueden disponer de ella, el agua útil se encuentra entre el agua gravitacional y el agua no disponible (Silva *et al.*, 2015).

3. Hipótesis

Las propiedades fisicoquímicas e hidroedáficas de un suelo Chernozem presentan diferencias físicas, químicas e hídricas en distintos usos de suelo, Mat

4. Objetivo

4.1. Objetivo general

Determinar el efecto de la actividad antropogénica en áreas de cultivo, pastizal y plantación de cítricos, contrastando con Matorral Espinoso Tamaulipeco sobre un suelo Chernozem.

4.2. Objetivos específicos

1. Determinar las propiedades químicas, en suelo Chernozem en cuatro distintos usos del suelo.
2. Determinar las propiedades físicas, en suelo Chernozem en cuatro distintos usos del suelo
3. Determinar las propiedades hidroedáficas, en cuatro distintos usos del suelo.

5. Materiales y Métodos

5.1. Localización del área de estudio

El área de estudio se ubica en el Municipio de General Terán, Nuevo León, México, en las coordenadas UTM zona 14, 424,900 E; 2,799,568 N; presenta una altitud de 329 msnm (Figura 1). Pertenece a la llanura costera del Golfo norte y a la subprovincia de llanuras y lomeríos. Está conformada por lomeríos suaves y llanuras. Los tipos de vegetación presentes son los siguientes: matorral submontano, matorral espinoso tamaulipeco, bosque de encino, mezquital, pastizal inducido y pastizal cultivado (INEGI, 1986).

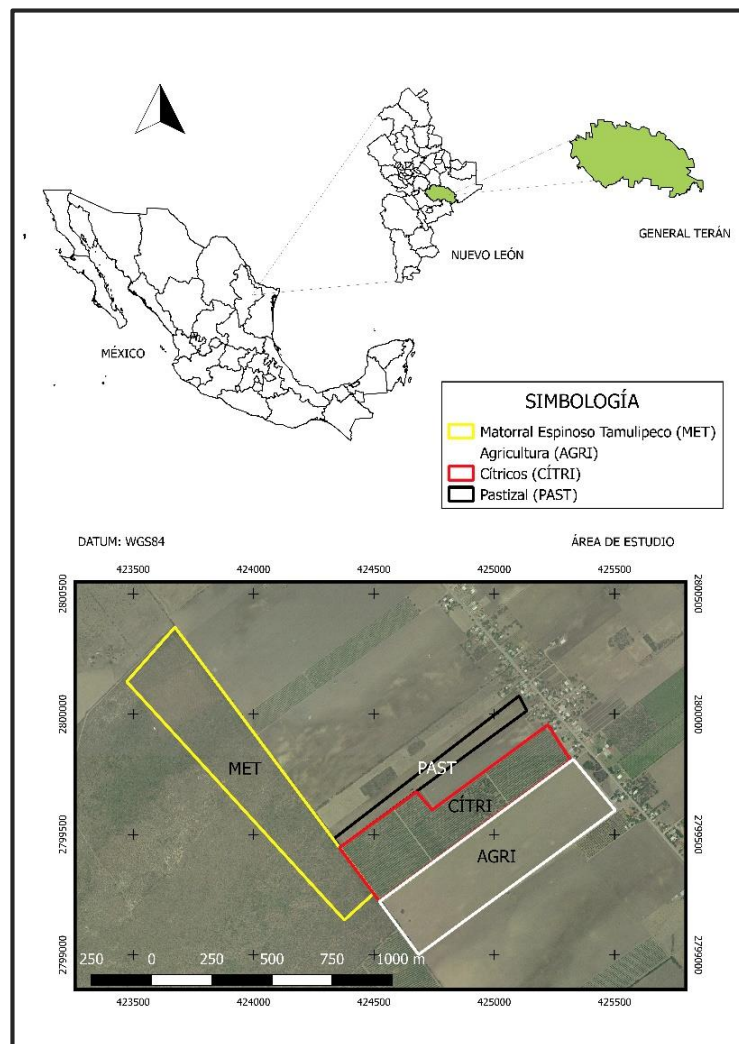


Figura 1. Localización del área de estudio.

El área de estudio de acuerdo a la estación climatológica Vaquerías, presenta una temperatura media de 24 °C y una precipitación promedio anual de 637.1 mm (SMN, CNA, 2010). Los suelos que predominan en el área son Castañozem lúvico y háplico asociados con Vertisoles, Feozems y Chernozem. Se seleccionaron 4 sistemas de uso de suelo para un Chernozem donde se analizaron las variables físico-químicas.

5.2. Descripción de los usos del suelo.

- a) El primer uso de suelo le corresponde a la vegetación nativa, Matorral Espinoso Tamaulipeco, que cuenta con árboles de altura media a altos y algunos arbustos, es rico en diversidad de familias principalmente leguminosas (Figura 2).
- b) El segundo uso de suelo es un área agrícola en donde se cultiva trigo y sorgo de temporal y se prepara el terreno con uso de maquinaria, así como en su cosecha. Dicho lugar cuenta con una antigüedad de más de 20 años de uso (Figura 3).
- c) El tercer uso del suelo es una huerta donde se cultivan naranjas (variedad marss y valencia) y mandarinas (Variedad dancy). Esta huerta cuenta con más de 40 años de antigüedad. Se utiliza maquinaria y una rastra para remover herbáceas; se utiliza riego por goteo y fertilización (Figura 4).
- d) El cuarto uso del suelo corresponde a un pastizal en donde se cultiva pasto inducido (*Andropogon annulatum*) que se usa como forraje para el ganado. Dentro de esta área no se encuentra ganado, pero si se usa maquinaria agrícola para su cosecha. Cuenta con una antigüedad de más de 20 años (Figura 5).



Figura 2. Matorral espinoso tamaulipeco.



Figura 3. Área agrícola (AGRI).



Figura 4. Área de cítricos (CÍTRI).



Figura 5. Área de pastizal inducido (PAST).

5.3. Muestreo y análisis del suelo

El muestreo se realizó en el mes de noviembre de 2018. Se tomaron muestras de suelo para cada uno de los sistemas de uso de suelo y se obtuvieron 8 muestras compuestas de suelo de 1 a 1.5 kg; cuatro a una profundidad de 0-10 cm y cuatro a 10-30 cm para un total de 32 muestras (Figura 6), las cuales se llevaron al laboratorio de suelos y nutrición de bosques de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León para su posterior análisis.



Figura 6. Muestras compuestas.

5.4. *Propiedades físicas*

Textura del suelo

La textura del suelo es una propiedad que establece las cantidades relativas en que se encuentran las partículas de diámetro menor a 2 mm, es decir, el suelo fino. Estas partículas, llamadas separados, se agrupan en tres clases, por tamaños: Arena (A), Limo (L) y Arcilla (Ar) (Jaramillo, 2002). Para la determinación de la textura se utilizó el método de Densímetro de Bouyoucos, AS-09 NOM-021 RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002).

La muestra de suelo seco se depositó en un vaso de precipitado y se agrega porciones de peróxido de hidrógeno para eliminar la materia orgánica. Posteriormente es llevado a sequedad; se pesan 50 g del suelo y se humedece con agua destilada a una lámina de 2 mm, añadiéndose 5 ml de oxalato de sodio, 5 ml de metasilicato de sodio y 5 ml de hexametáfosfato de sodio dejando reposar durante 15 minutos. Una vez transcurrido el tiempo, se agitan y se traspasa a una probeta especial a un nivel de 1.0 L, donde se tomarán las lecturas con el hidrómetro de Bouyoucos. Las lecturas se toman después de agitar, siendo la primera lectura a los 40 segundos y la segunda medición a las dos horas después. Se determina su clasificación mediante el triángulo de texturas establecido por el USDA. (SEMARNAT, 2002).

Las lecturas del hidrómetro fueron corregidas agregando 0.36 por cada grado Celsius arriba de 19.5°C, restando la misma cantidad por cada grado debajo de dicha temperatura; los porcentajes de arena, arcilla y limo se determinaron mediante las siguientes formulas.

$$\% \text{ Arena} = 100 - (\text{lectura } 1 \times 2^*)$$

$$\% \text{ Arcilla} = \text{lectura } 2 \times 2^*$$

$$\% \text{ Limo} = 100 - (\% \text{ Arena} + \% \text{ Arcilla})$$

Dónde: lectura 1= lectura del hidrómetro a los 40 segundos \pm temperatura corregida; lectura 2 = lectura del hidrómetro a las 2 horas \pm temperatura corregida; 2* = utilizando 50 gramos de suelo, ya que el hidrómetro esta calibrado en porcentajes considerando 100 g de suelo.

Densidad aparente

En el proceso de expansión/contracción del suelo, ocasionado por los cambios de humedad, el volumen total de una masa considerada de suelo varía, produciendo cambios en la densidad aparente (Hossne, 2007). La densidad aparente es usualmente determinada en estudios de compactación; la densidad aparente resulta más estable, al ser menos afectada por el contenido de humedad del suelo (Venanzi *et al.*, 2002).

La determinación de esta propiedad se realizó por medio del método gravimétrico en muestras no alteradas, denominado método del cilindro (Woerner, 1989). Se utiliza un cilindro de metal de 5 cm x 5 cm, se clava en el suelo y se retira con la ayuda de una pala, posteriormente se coloca en una bolsa de papel, las muestras se secan en una estufa de secado a una temperatura de 105°C por 48 horas, se realiza el pesaje y se utiliza la siguiente formula:

$$DA = \frac{\text{Peso del suelo seco} - \text{Peso de la Bolsa}}{\text{Volumen del cilindro}(\text{cm}^3)}$$

Porosidad total

La porosidad se estimó de acuerdo a partir de los valores de densidad aparente, asumiendo una densidad de partícula de 2.65 g/cm³ (McPhee *et al.*, 2015).

$$\%Po = \left(1 - \frac{\text{densidad aparente (DA)}}{\text{densidad de partículas (DP)}}\right) 100$$

Resistencia mecánica a la penetración

La medición de la resistencia a la penetración es el método más frecuentemente utilizado para cuantificar el grado de compactación de un suelo. Este es un cálculo indirecto de la fuerza requerida por las raíces para penetrar los poros y/o deformar la estructura del suelo, para así brindar soporte, absorber nutrientes y agua para el adecuado desarrollo de los cultivos (Mogollón, 2012). Esta propiedad se determinó de manera directa con el uso de un penetrómetro tipo Yamanaka.

5.5. *Propiedades químicas*

pH

En los suelos, el pH es una propiedad química de suma importancia ya que indica si la solución es ácida o alcalina; el pH usa una escala de medición cuyo rango es de 0 a 14 (Jaramillo, 2002). Se determinó mediante el método AS-23 NOM-021 RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002) y se midió a través del phmetro/conductivimetro (marca Corning, modelo 542, USA).

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es la capacidad de una solución de transmitir la electricidad, la cual, está en relación directa con su contenido de sales (Jaramillo, 2002). El método es una determinación rápida en suspensión suelo-agua (Woerner, 1989). Se midió a través del pHmetro/Conductivimetro marca Corning, modelo 542, USA

Materia orgánica

La materia orgánica es una mezcla compleja de compuestos orgánicos de plantas, animales y microorganismos, y sus restos y desechos se descomponen en diferentes etapas principalmente por hongos y bacterias (Rutherford *et al.*, 2007). El método para su determinación fue combustión húmeda según Walkley-Black (Woerner, 1989).

El procedimiento consiste en pesar 0.5 gramos de suelo y crear una combustión humedad con 25 ml de dicromato de potasio (que concentración) y 25 ml de ácido sulfúrico concentración de 98 %. Después del tiempo de reacción, se disuelve con 150 ml de agua destilada, añadiendo otros reactivos de 10 ml de ácido fosfórico (concentración) y un 0.2 g de fluoruro de sodio y así como un indicador de 0.5 ml de ferroína que permite observar el vire al momento de titular con dicromato de sulfato ferroso 0.2 M. El contenido (%) de carbono orgánico y materia orgánica se cuantificó con las siguientes ecuaciones, (Woerner, 1989).

$$\% C. Orgánico = 0.779 * (B - M)(0.4)$$

$$\% Materia orgánica = 1.343 \times (B - M)(0.4)$$

Dónde:

B = Volumen de sulfato ferroso gastado para valorar el blanco de reactivos (ml).

M = Volumen de sulfato ferroso gastado para valorar la muestra (ml).

0.4 = Normalidad de la solución de dicromato de potasio y de la solución del sulfato ferroso.

5.6. Propiedades hidroedáficas

Tasa de Infiltración

Se determinó mediante el método de doble anillo, el cual consiste en introducir en el suelo dos cilindros de diámetros diferentes a una profundidad de 10 a 15 cm hasta lograr que estén perfectamente enterrados y nivelados. El espacio interno de los dos anillos debe de llenarse con agua y mantener el nivel a la par. El método consiste en tomar lecturas del descenso del nivel de agua en el anillo interior, cuando se consigue que la infiltración sea constante, la prueba se termina. La infiltración se calcula mediante la siguiente ecuación. (Yáñez, 2017)

$$I = \text{mm h}^{-1}$$

$$i = \frac{\Delta I}{\Delta t} * 600$$

Dónde: I es la tasa de infiltración (mm h^{-1}), ΔI es la lectura de infiltración acumulada, Δt es el tiempo durante el periodo de infiltración (mm), y 600 es un coeficiente de conversión a horas.

Infiltración inicial

Consiste en la cantidad de agua que se infiltra en el suelo una vez transcurrido el primer minuto de medición.

$I_i = \text{mm h}^{-1}$.

Infiltración acumulada

Se refiere al total de agua que se ha infiltrado a través del suelo en un tiempo de 120 minutos.

$la = \text{mm}$

Capacidad de infiltración

Es la velocidad de infiltración promedio con la que penetra el agua en el suelo cuando tiende a hacerse constante, se tomó el promedio de las últimas tres mediciones en un tiempo de 120 minutos.

$Ci = \text{mm h}^{-1}$

Capacidad de campo, punto de marchitez permanente y agua útil

La capacidad de campo (CC) se define como el contenido de agua de un suelo inicialmente saturado luego de que el agua gravitacional se ha drenado después de 48 horas o más. Punto de marchitez permanente (PMP) es el límite inferior de agua disponible en el suelo, dichos parámetros se pueden estimar en laboratorio (Sawchik, 2004). El agua útil es la diferencia entre CC y PMP. Se determinó mediante el método y membrana de presión a 0.3 atmósferas y para el punto de marchitez permanente una presión de 15 atmósferas; el equipo que se utilizó fueron los extractores de placa (Soil Moisture Equipment Corp., Santa Barbara, CA). Mediante la siguiente fórmula del método AS-05 para determinación del contenido de humedad del suelo por gravimetría NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002).

$$\theta g = \frac{(PB + Psh) - (PB + Pss)}{(PB + Pss) - (PB)} * 100$$

Dónde: θg = Contenido de humedad gravimétrica expresado en porcentaje (%), PB = Peso del bote con tapa (g), Psh = Peso del suelo húmedo (g), $PB + Psh$ = Peso del bote más peso del suelo húmedo (g) y $PB + Pss$ = Peso del bote más peso del suelo seco (g).

6. Análisis estadísticos

Con los datos obtenidos, se realizaron pruebas de normalidad de Shapiro Wilks y homocedasticidad de Levene. Se aplicó una transformación a raíz cuadrada para inducir una distribución normal, para las variables físicas y químicas. Para las variables de infiltración inicial, infiltración acumulada e infiltración básica se aplicó un análisis de U de Mann-Whitney, y se realizaron análisis de varianza de dos vías (ANOVAS) y se aplicaron pruebas Tukey ($p \leq 0.05$) para las variables estudiadas, igualmente se llevaron a cabo correlaciones para las distintas variables. Se utilizó el programa SPSS® (Statistical Package for Social Sciences), versión estándar 22 para Windows. SPSS Inc., Chicago, IL.

7. Resultados

7.1. *Propiedades fisicoquímicas*

Se muestran los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para las variables de materia orgánica (MO), reacción del suelo (pH), conductividad eléctrica (CE), textura (arena, limo, arcilla), densidad aparente (DA), porosidad (Po) y resistencia mecánica a la penetración (RMP). Donde evidentemente el impacto antropogénico, afecta las propiedades fisicoquímicas e hidroedáficas de forma significativa.

La materia orgánica y el carbono orgánico del suelo presentan diferencias significativas para los tres factores, uso de suelo (FA), Profundidad (FB) e interacción de uso por profundidad (FA*FB), mientras que el pH muestra diferencias significativas entre profundidades y en la interacción de uso y profundidad, la conductividad eléctrica muestra que solo se encontró diferencias significativas en el factor de uso de suelo. Las variables de textura, como la arena y limo para el factor FA presentaron diferencias ($p \leq 0.05$), y la arcilla presenta diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para el factor FB. La arcilla y limo presentaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$), mientras que para la interacción de ambos factores FA*FB, no se detectaron diferencias significativas ($p > 0.05$). Por otra parte, la densidad aparente y la porosidad no muestran diferencias significativas para ningún factor; la resistencia mecánica a la penetración (RMP) muestra diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$), solo para el factor de uso (FA) (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis de varianza para las variables fisicoquímicas de materia orgánica (MO), reacción del suelo (pH), conductividad eléctrica (CE), textura (Arena, Limo, Arcilla), densidad aparente (DA), porosidad (Po) y resistencia mecánica a la penetración (RMP).

Variables	Unidad	FA ^a (7, 24)	FB ^b (1, 24)	(FA* FB) (3, 24)
MO	%	7.05**	86.09**	18.21**
CO	%	7.10**	86.00**	18.56**
pH		2.12 ^{NS}	7.39*	5.01**
CE	μS cm ⁻¹	17.08**	0.00 ^{NS}	1.30 ^{NS}
Arena	%	3.50*	0.00 ^{NS}	1.42 ^{NS}
Arcilla	%	5.21**	8.00**	2.36 ^{NS}
Limo	%	3.15*	10.59**	1.06 ^{NS}
DA	g cm ⁻³	2.54 ^{NS}		
Po	%	2.47 ^{NS}		
RMP	kg cm ^{-2?}	42.11**		

^aFactor uso de suelo (FA); ^bFactor profundidad (FB); interacción uso por profundidad (FA*FB).
 **Diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$); *Diferencias significativas ($p \leq 0.05$); ^{NS} No significativo ($p > 0.05$).

Materia orgánica (MO)

Para la comparación de medias para la propiedad de MO en la primera profundidad de 0-10 cm el área de MET presentó un valor más alto con 4.96 % mientras que el AGRI presenta 3.14 %. En la segunda profundidad, el valor más bajo y más alto fue para las áreas de CÍTRI y AGRI con valores de 3.24 % y 2.74 %, respectivamente, mostrando una marcada disminución de MO en relación con la profundidad (Figura 7). Según el manual de Woerner (1989), la MO muestra valores con una clasificación de alta a muy alta.

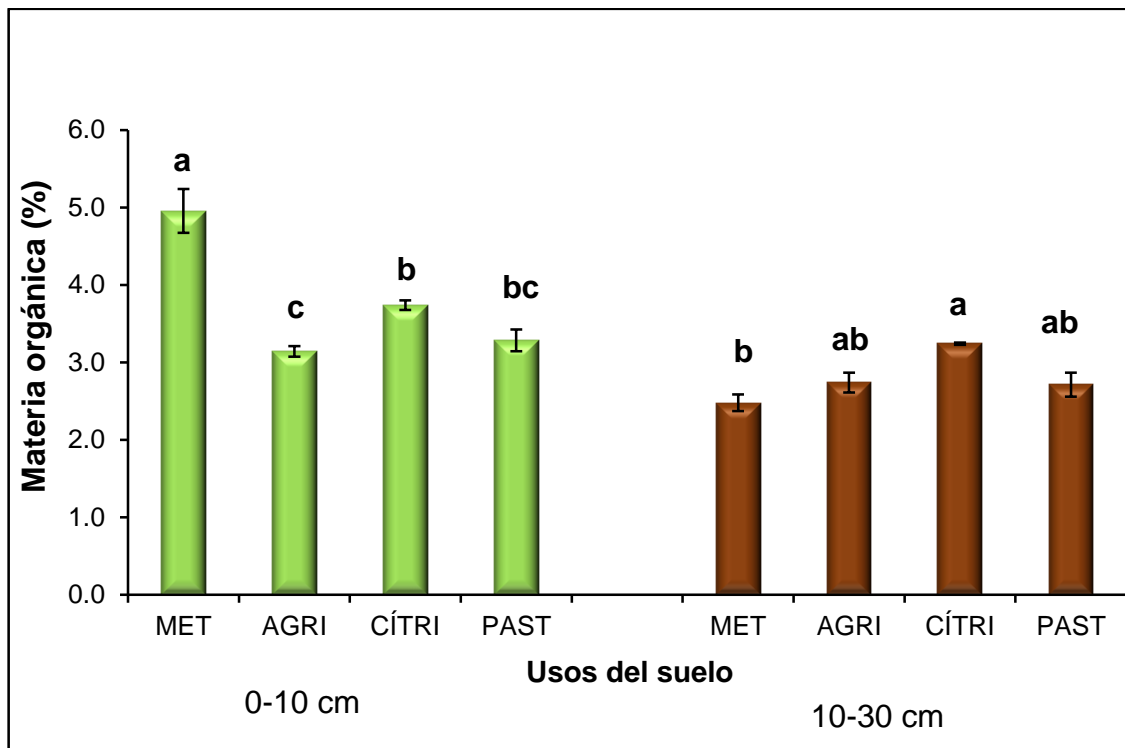


Figura 7. Valores medios para Materia Orgánica en las dos profundidades para los cuatro sistemas de uso del suelo. Medias con distinta letra en una misma profundidad, son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Carbono orgánico (CO)

El área testigo (MET) arrojó un promedio de 2.87 % de carbono, siendo este el más alto, seguido por CÍTRI (2.17 %), PAST (1.90 %) y AGRI (1.82 %) esto para la profundidad 0-10 cm, mientras que para la segunda profundidad (10-30 cm), el sistema de uso que mayor carbono tiene es el de CÍTRI con 1.88 % seguido por AGRI (1.59 %), PAST (1.57 %) y el uso que presenta un menor carbono orgánico es el área testigo; MET con 1.44 % (Figura 8).

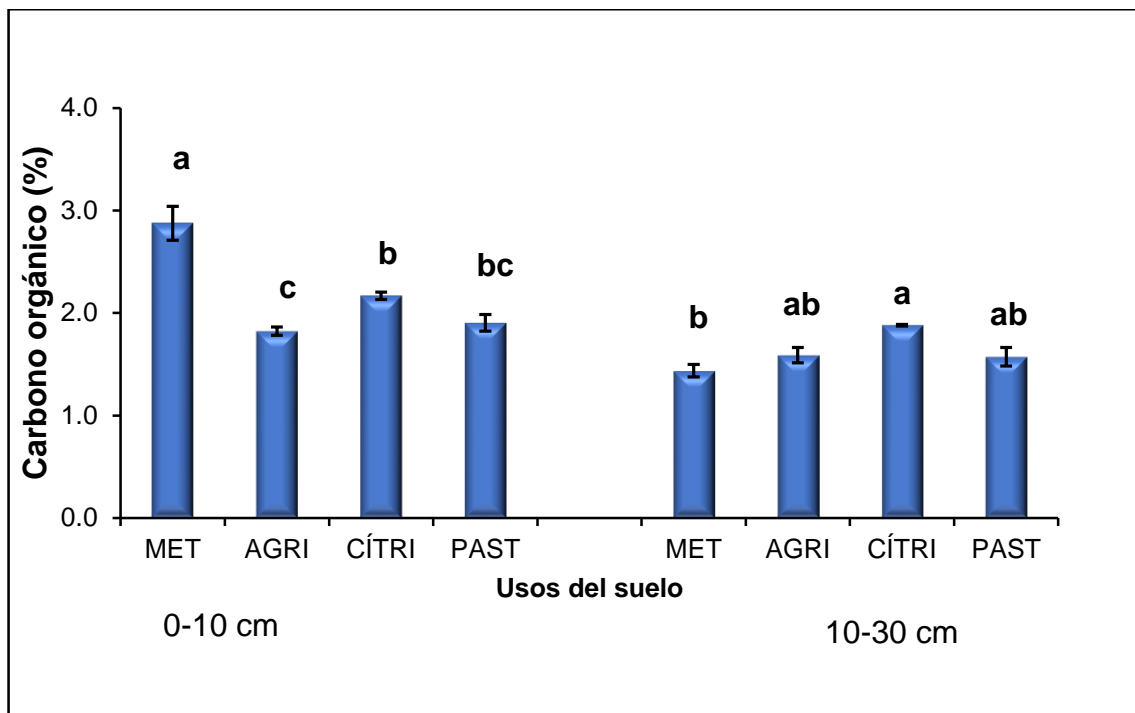


Figura 8. Valores medios para carbono orgánico en las dos profundidades para los cuatro sistemas de uso del suelo. Medias con distinta letra en una misma profundidad, son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Reacción del suelo (pH)

Según la valoración de (Woerner, 1989), el suelo presenta un pH medianamente alcalino, los valores oscilan de 7.5 a 7.7, en la profundidad de 0-10 cm el MET presentó el valor más bajo con un 7.5 y el área de CÍTRI obtuvo el valor más alto con un 7.7, según la prueba de tukey ($p \leq 0.05$), existen diferencias entre MET y CÍTRI, Para la profundidad 10-30 cm, se presentaron valores de 7.6 y 7.7 para los sitios de CÍTRI Y AGRI, respectivamente y no presentan diferencias entre sí (Figura 9).

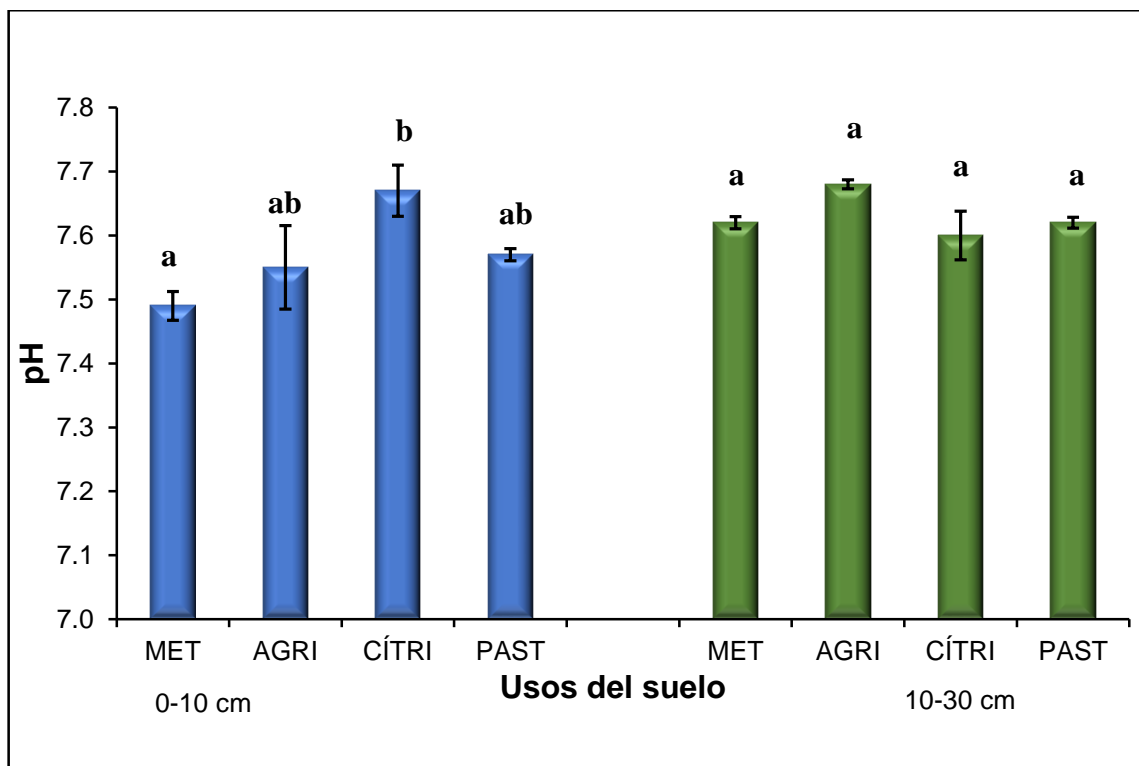


Figura 9. Valores medios para pH en las dos profundidades para los cuatro sistemas de uso del suelo. Medias con distinta letra en una misma profundidad, son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Conductividad eléctrica (CE)

Según el manual de Woerner (1989), presenta una clasificación de salinidad muy escasa. En la profundidad de 0-10 cm el uso que presentó una mayor CE es el MET con $107.7 \mu\text{S cm}^{-1}$, mientras que el área de AGRI presenta los niveles más bajos con $80.4 \mu\text{S cm}^{-1}$, para la segunda profundidad el área que mayor CE presentó fue el CÍTRI con valor medio de $106.4 (\mu\text{S cm}^{-1})$ y el uso de PAST es el área que presenta a conductividad eléctrica más baja con un valor de $81.4 (\mu\text{S cm}^{-1})$ (Figura 10).

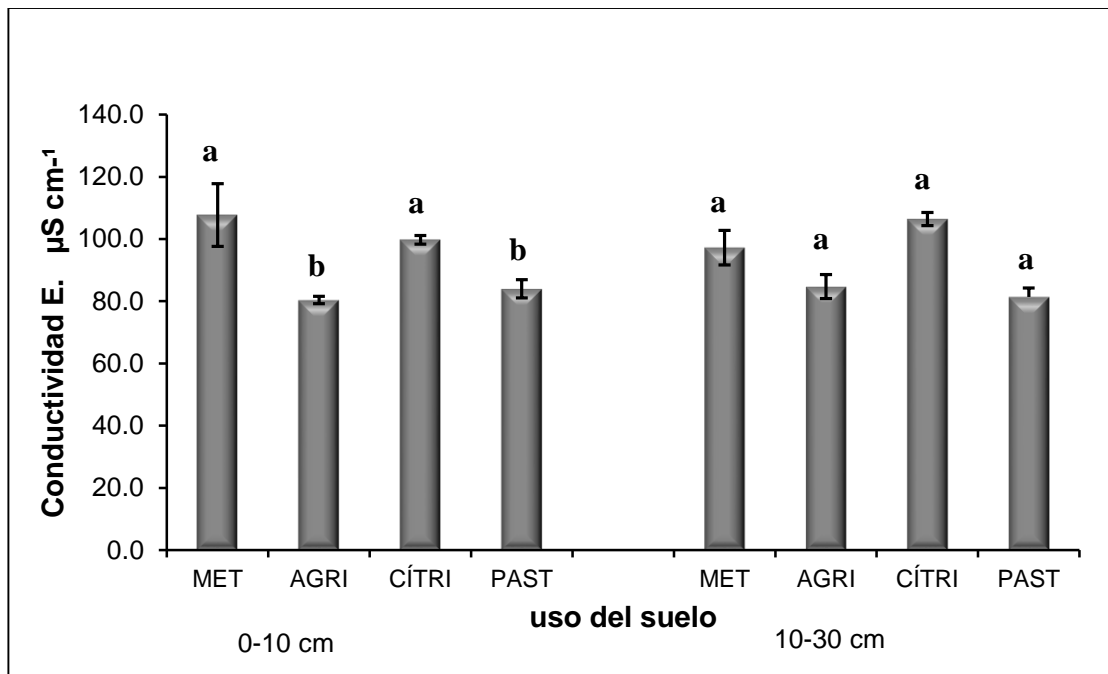


Figura 10. Valores medios para Conductividad Eléctrica para los cuatro sistemas de uso del suelo. Medias con distinta letra en una misma profundidad, son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Textura

En la profundidad de 0-10 cm se presenta una clase textural de arcillo limosa (RI), franco arcillo limosa (Cr), arcillo limosa (RI) y arcillo limosa (RI), para los usos de MET, AGRI, CÍTRI Y PAST, respectivamente. Para la profundidad 10-30 cm, el MET (Arcillosa, R), AGRI, CÍTRI Y PAST, presentan una textura arcillo limosa (RI). En la profundidad 0-10 cm, el uso de AGRI presentó el mayor contenido de arena (16.96 %) y el mayor contenido de limo (46.08 %); CÍTRI tiene el 44.41 % de arcilla. Los usos que presentan el menor contenido arena, limo y arcilla son CÍTRI (11 %), MET (36.68 %) y AGRI (36.96 %), respectivamente. Para la profundidad 10-30 cm, los usos que mayor contenido de arena, limo y arcilla presentan son AGRI, CÍTRI y MET, con contenidos de 13.6, 43.94 y 49.96 %, respectivamente. Los usos que menor contenido presentaron fueron PAST 11.54 (arena), MET 37.78 % (limo) y PAST 46.74 % (arcilla) (Figura 11).

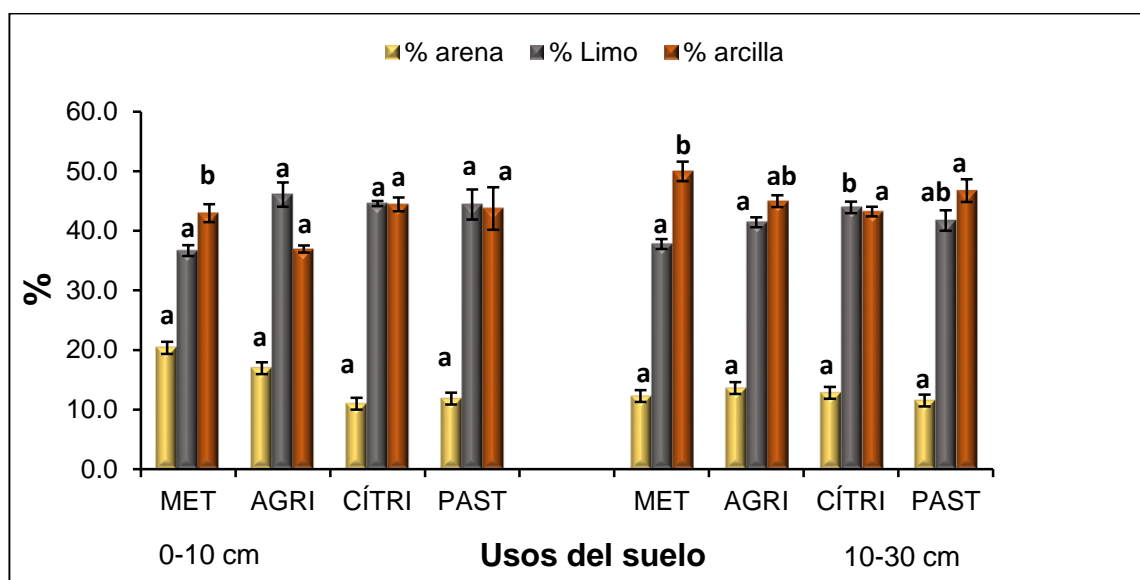


Figura 11. Valores medios para textura en dos profundidades para los cuatro usos del suelo. Medias con distinta letra en una misma profundidad, son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Densidad aparente (DAP)

El área con mayor valor de DAP es el área de AGRI con 1.07 g cm^{-3} , seguido por PAST, MET y CÍTRI cuyos valores son 1.04, 0.94 y 0.90 g cm^{-3} , respectivamente (Figura 12). Según el rango de valoración del manual Woerner (1989), presenta una clasificación de densidad aparenta muy baja.

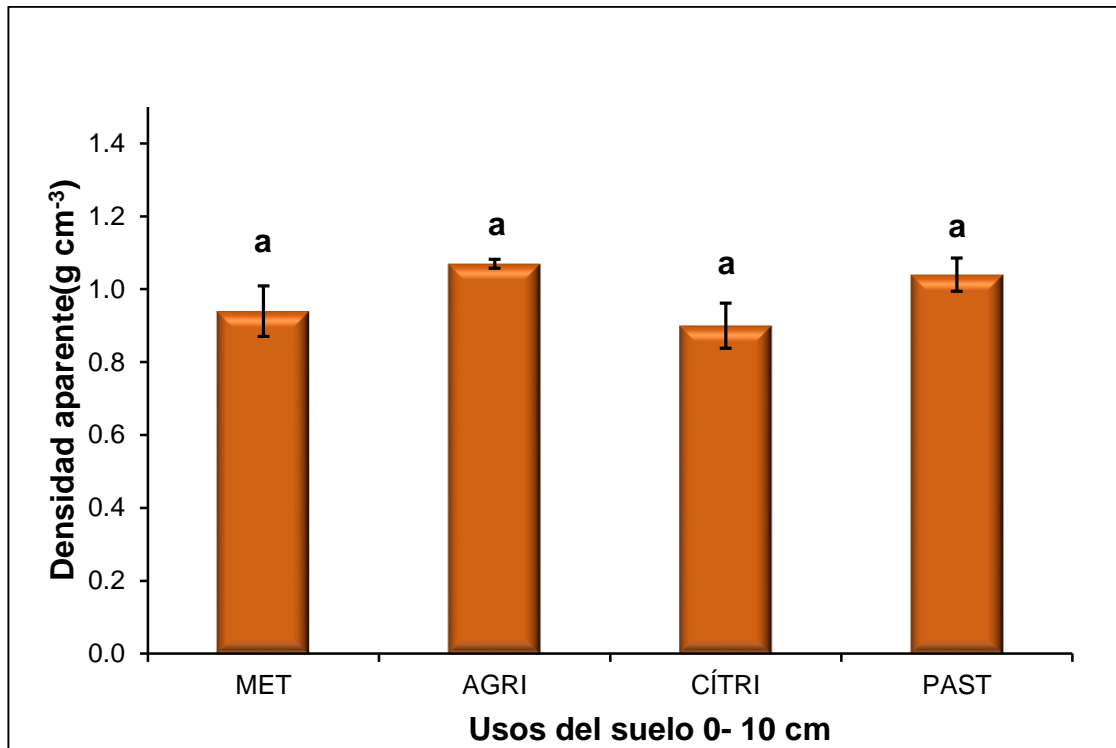


Figura 12. Valores medios para Densidad Aparente en los cuatro usos del suelo. Medias con distinta letra en una misma profundidad son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$)

Porosidad

Mediante la densidad aparente se estimó la porosidad y basándose en la valoración del manual de Procedimientos Analíticos (Flores y Alcalá, 2010), se obtuvo el porcentaje de porosidad que se encuentra en un rango de porosidad de muy alta para las áreas de CÍTRI (64.8 %) y MET (63.3 %) mientras que para PAST y AGRI, la porosidad es alta con 59.4 % y 58.2 %, respectivamente. La porosidad está relacionada con la densidad y las áreas con mayor densidad aparente es AGRI Y PAST (Figura 13).

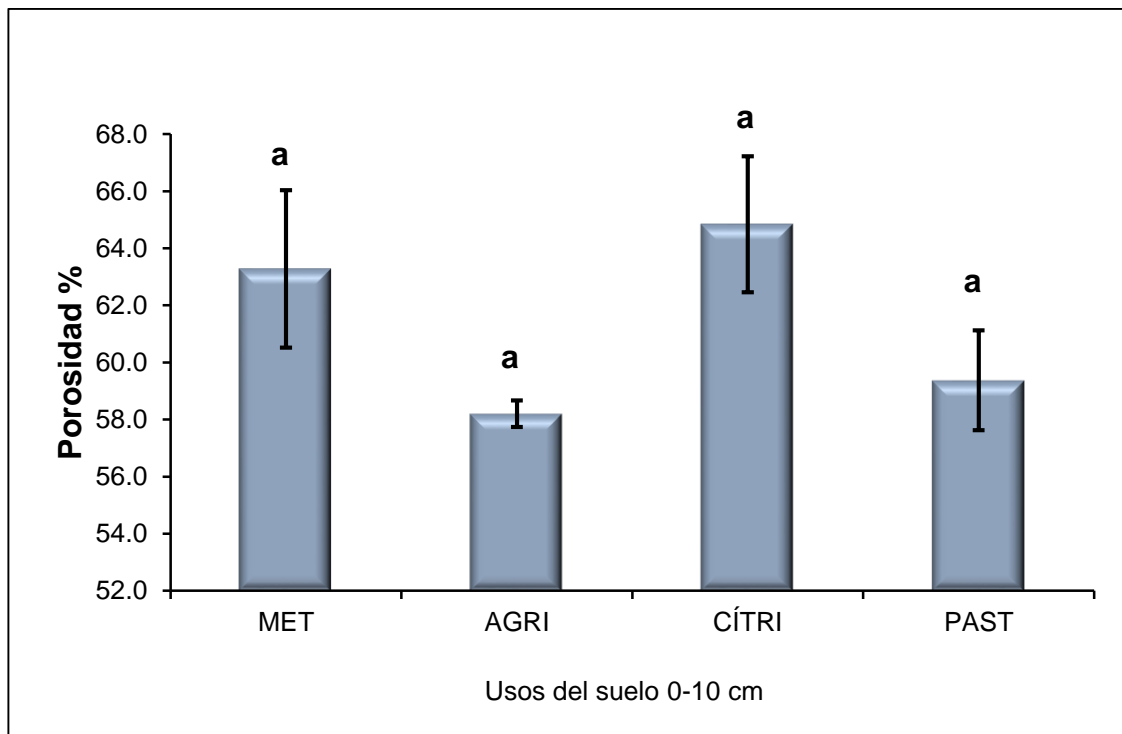


Figura 13. Valores medios para Porosidad en los cuatro usos del suelo. Medias con distinta letra en una misma profundidad, son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Resistencia mecánica a la penetración

En la prueba de compactación, el área que mayor resistencia presentó fue el uso de PAST que presenta un valor de 3.08 kg cm⁻², seguido por el uso de CÍTRI 1.80 kg cm⁻², mientras que los usos que menor resistencia a la penetración presentaron fueron AGRI y MET, presentando valores de 1.30 y 1.08 kg cm⁻², respectivamente (Figura 14).

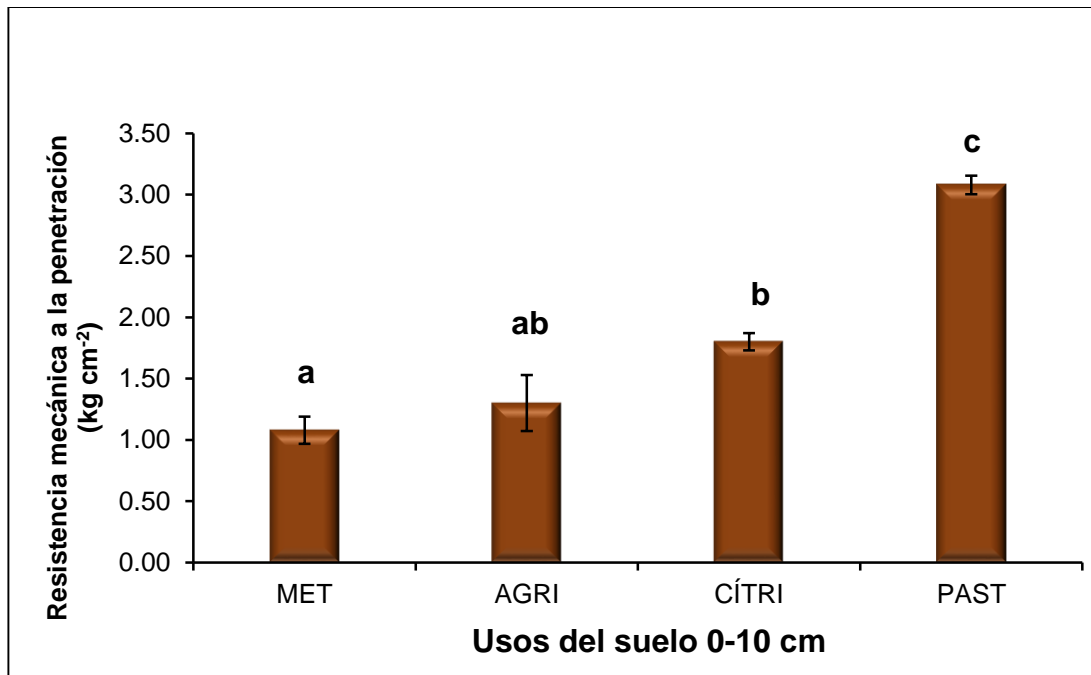


Figura 14. Valores medios para la Resistencia Mecánica a la Penetración (RMP) en la profundidad 0-10 cm para los cuatro usos del suelo. Medias con distinta letra, son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

7.2. Propiedades hidroedáficas

Se aplicó una prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, para las variables de infiltración inicial (li), Infiltración acumulada (Ia) y capacidad de infiltración (Ci) (Tabla 2). Se encontraron diferencias significativas en todas las variables de infiltración ($p \leq 0.5$) para los 4 diferentes usos del suelo estudiados.

Tabla 2. Prueba de H de Kruskal-Wallis para las variables de infiltración (li), infiltración acumulada (Ia) y capacidad de infiltración (Ci).

Profundidad	li (mm/h)	Ia (mm)	Ci (mm/h)
0-10 cm	8.90*	9.67*	10.01*

**Diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$), *Diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

En la Tabla 3, se muestra la prueba de comparación de medias de acuerdo a Mann-Whitney U para las variables de infiltración estudiadas; infiltración inicial (li), infiltración acumulada (Ia) y capacidad de infiltración (Ci). Para infiltración inicial, se encontró que hay diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los usos de MET-AGRI (0.05*), MET-PAST (0.04*), AGRI-CÍTRI (0.05*), en cuanto para la infiltración acumulada (Ia), presentó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en todos los usos, menos en la comparación de MET-AGRI (0.28), en cuanto a la capacidad de infiltración (Ci), se encontraron diferencias en todos los usos menos en MET-AGRI (0.12).

Tabla 3. Prueba de Mann-Whitney U para las variables de infiltración estudiadas. infiltración inicial (li), infiltración acumulada (Ia) e infiltración básica (Ib).

Mann-Whitney U	li (mm/h)	Ia (mm)	Ci (mm/h)
MET - AGRI	0.05*	0.28 ^{NS}	0.12 ^{NS}
MET - CÍTRI	0.51 ^{NS}	0.05*	0.05*
MET - PAST	0.04*	0.05*	0.05*
AGRI - CÍTRI	0.05*	0.05*	0.05*
AGRI - PAST	0.25	0.05*	0.05*
CÍTRI - PAST	0.05*	0.05*	0.05*

**Diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$); *Diferencias significativas ($p \leq 0.05$); ^{NS} No significativo.

Se aplicó un ANOVA para las variables de agua útil (AU), capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP).

Para el factor de uso del suelo (FA), se encontraron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y el agua útil (AU) mientras que para el factor de profundidad (FB), no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$). En la interacción, se encontraron diferencias significativas para CC y diferencias altamente significativas para las variables de PMP y AU (Tabla 4).

Tabla 4. Análisis de varianza para las variables capacidad de campo (C.C.), punto de marchitez permanente (P.M.P.) y agua útil (AU).

Variable	Unidad	FA ^a (7, 24)	FB ^b (1, 24)	(FA*FB) (3, 24)
C.C.	%	10.85**	0.28 ^{NS}	3.98*
P.M.P.	%	112.90**	0.18 ^{NS}	9.26**
AU	%	7.94**	0.36 ^{NS}	5.28**

Factor uso de suelo (FA)^a; profundidad (FB)^a e interacción uso por profundidad (FA*FB). **Diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$); *Diferencias significativas ($p \leq 0.05$), ^{NS}No significativo ($p > 0.05$).

Capacidad de campo

La capacidad de campo varió en los diferentes usos del suelo, siendo el MET el que presentó el valor más alto en ambas profundidades. Para la profundidad 0-10 cm, arrojó un 43.2 %, seguidos por AGRI (36.9 %), PAST (36.3 %) y CÍTRI (35.8 %), mientras que en la segunda profundidad (10-30), el orden fue MET, PAST, CÍTRI y AGRI, con valores de 41.5 %, 41.5 %, 37.5 % y 33.6 %, respectivamente (Figura 15).

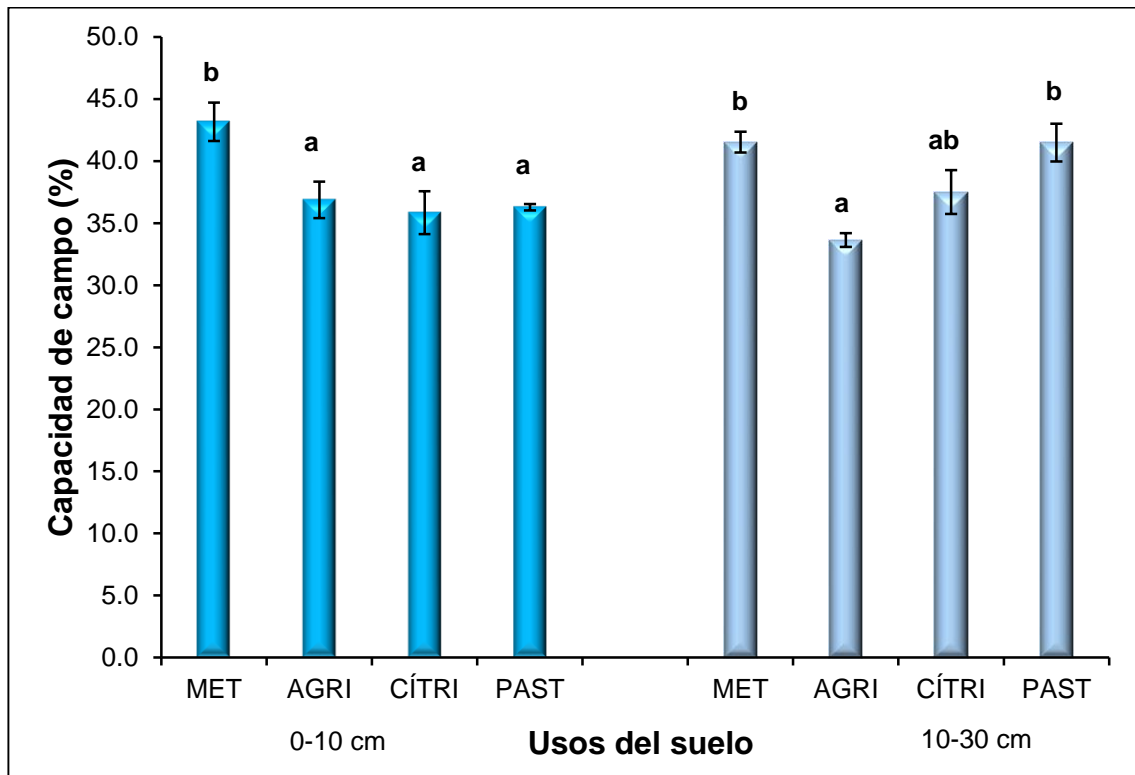


Figura 15. Valores medios para capacidad de campo para dos profundidades para los cuatro usos del suelo. Medias con distinta letra en una misma profundidad, son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Punto de marchitez permanente

El valor más alto de PMP lo presentó el área testigo (MET) con 36.2% y 32.2 %, para las profundidades 0-10 cm y 10-30 cm respectivamente, seguido de PAST 25.8 % (0-10 cm) 27.5 % (10-30 cm), CÍTRI 24.8 % (0-10 cm) y 24.5 % (10-30 cm) y por último se encuentra AGRI con 19.0 % (0-10 cm) y 22.5 % (10-30) (Figura 16).

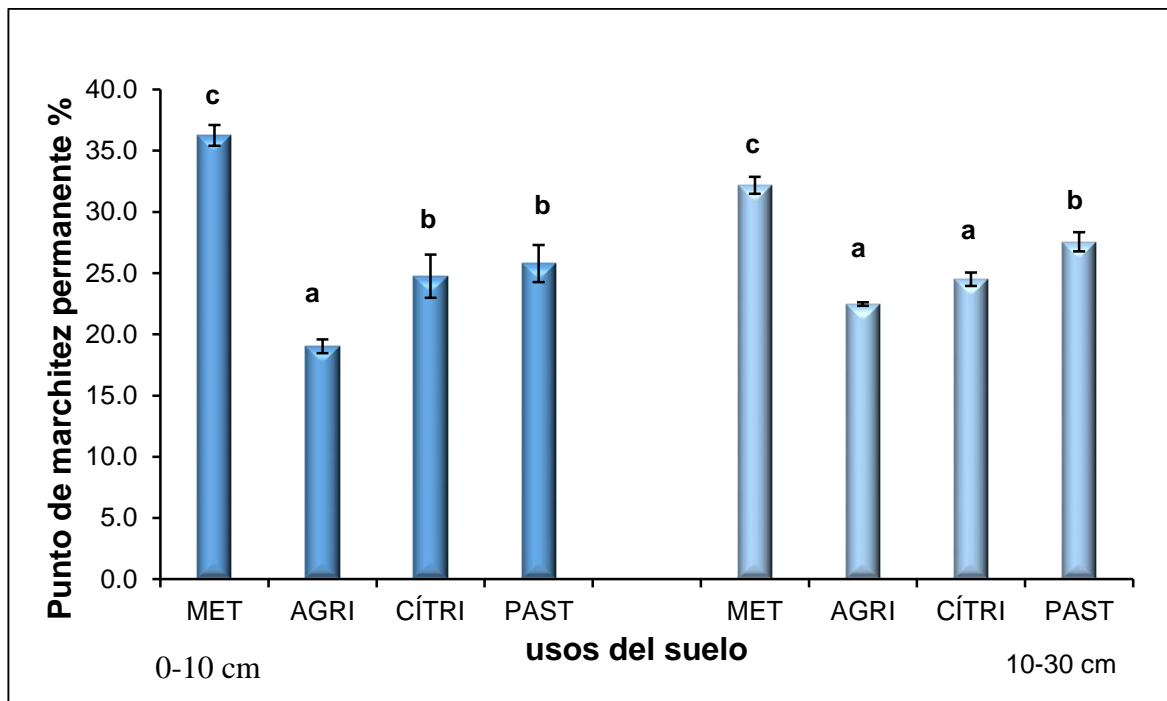


Figura 16. Valores medios para punto de marchitez permanente para dos profundidades para los cuatro usos del suelo. Medias con distinta letra en una misma profundidad, son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Agua útil

En la profundidad 0-10 cm, el área que presentó más agua útil fue el área agrícola con un 17.85 %. Para MET 6.91 %, CITRI 11.08 % y PAST 10.51 % mientras que para la profundidad 10-30, no se presentaron diferencias significativas. Los valores fluctuaron entre 9.34 % (MET) a 13.93 % (PAST)

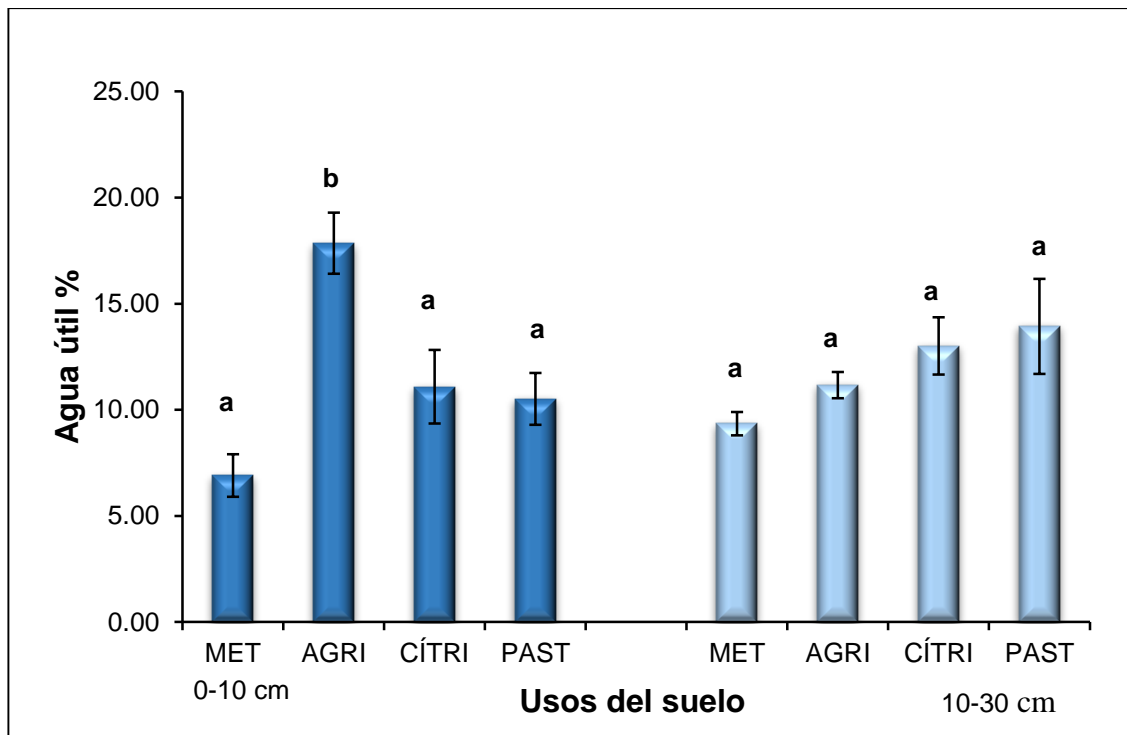


Figura 17. Valores medios para agua útil en dos profundidades para los cuatro usos del suelo. Medias con distinta letra en una misma profundidad, son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Tasa de Infiltración

Las áreas que presentaron una baja tasa de infiltración fueron AGRI (194 mm h⁻¹), y PAST (90 mm h⁻¹), mientras que MET 406 (mm h⁻¹), y CÍTRI (899 mm h⁻¹) presentaron los valores más altos de infiltración, la cual se comenzó a estabilizar en el minuto 90 para CÍTRI, mientras que las demás áreas al minuto 80 (Figura 18).

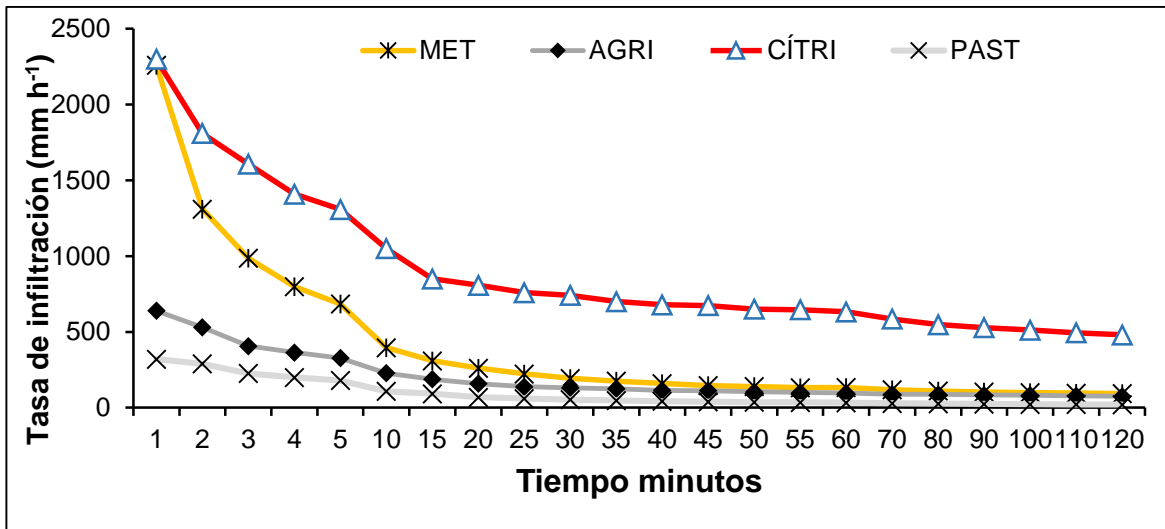


Figura 18. Curvas de infiltración promedio para los cuatro usos de suelo.

Infiltración inicial

El uso que mayor infiltración inicial presentó fue el área de CÍTRI, con un promedio de 2,300 mm h⁻¹, seguido del área testigo (MET) promediando un valor de 2,260 mm h⁻¹, mientras que el uso de AGRI con 260 mm h⁻¹, y el uso que presentó la menor infiltración inicial fue el área de PAST con un valor de 320 mm h⁻¹ (Figura 19).

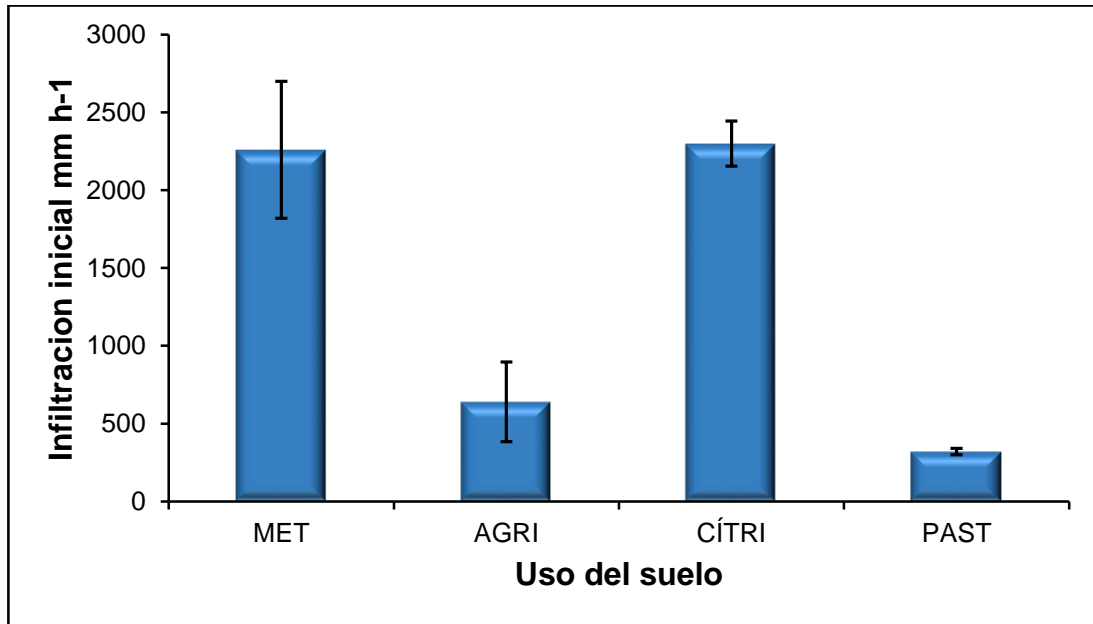


Figura 19. Valores medios de infiltración inicial para los cuatro usos de suelo.

Infiltración acumulada

La infiltración acumulada presentó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para todas las áreas, los valores de infiltración acumulada más bajos pertenecen al área de PAST y AGRI con 40 mm y 151.3 mm respectivamente, mientras que para MET es de 171 mm y CÍTRI de 961.3 mm (Figura 20).

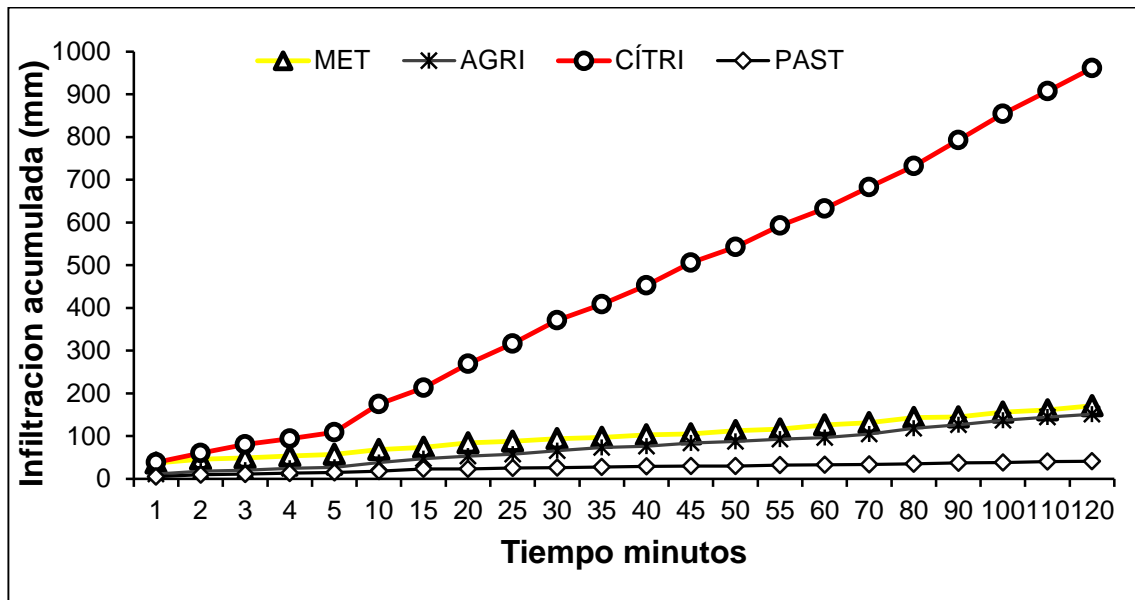


Figura 20. Curvas de infiltración promedio acumulada para los cuatro usos del suelo.

Capacidad de infiltración

La capacidad de infiltración varió respecto a los usos del suelo. El área de CÍTRI fue la que presentó el valor más alto con un Ci de 496.0 mm/h, seguido de MET, AGRI y PAST, con valores de 96.3 mm h⁻¹ > 79.0 mm h⁻¹ > 21.7 mm h⁻¹, respectivamente (Figura 21). Destacando que el valor más bajo (21.7mm h⁻¹ PAST) fue un 22.53 % menor respecto al área testigo MET (96.3 %) y el uso con la Ci más alta es 515.05 % mayor que el testigo (MET 96.3 %) (Figura 21).

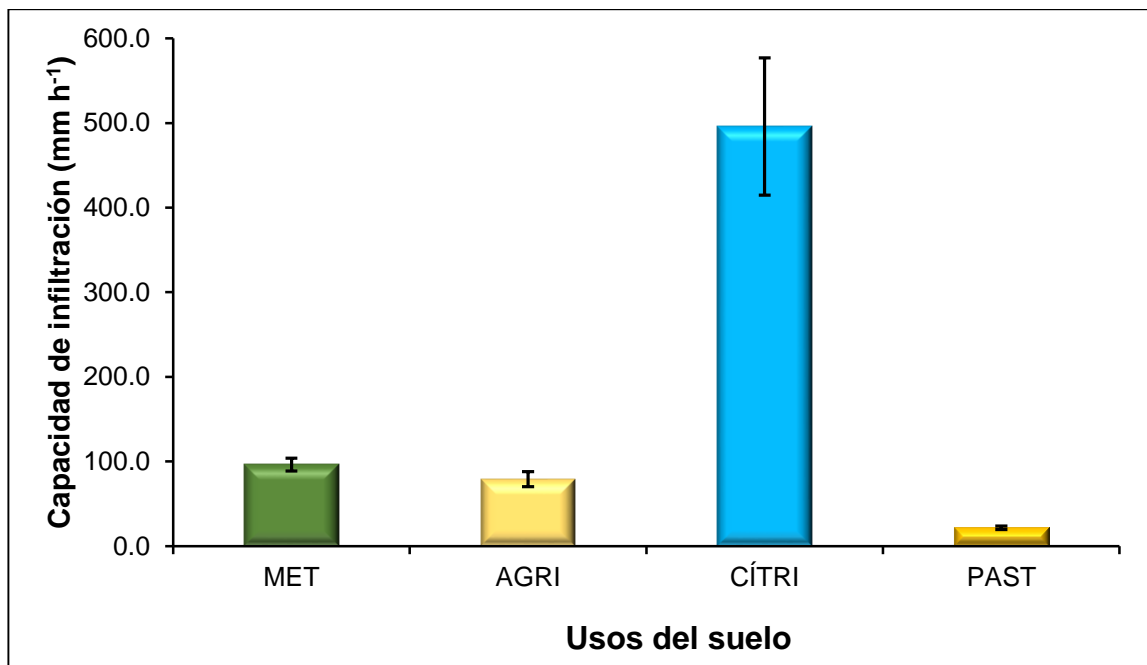


Figura 21. Valores medios de capacidad de infiltración para los cuatro usos del suelo.

Correlación de las variables fisicoquímicas e hidroedáficas

En las Tablas 5 y 6 se muestra la correlación aplicada para las variables estudiadas (fisicoquímicas e hidroedáficas), en dos profundidades 0-10 cm y 10-30 cm, respectivamente.

Para la profundidad 0-10 cm, se encontró que el pH se correlaciona con CC (Rho= $-.656^{**}$) y dicha correlación es negativa. Por su parte, la conductividad eléctrica (CE) presenta una correlación altamente significativa con la materia orgánica (MO) (Rho= $.789^{**}$), se correlaciona positivamente y es significativa con las variables de PMP (Rho= $.585^{*}$), li (Rho= $.667^{*}$) y Ci (Rho= $.634$), mientras la variable de materia orgánica (MO) su correlación es altamente significativa con CC (Rho= $.632^{**}$), PMP (Rho= $.811^{**}$) y con el agua útil (Au) pero su correlación es negativa (Rho= $-.675$) y es significativa con infiltración inicial (li) (Rho= $.633^{*}$). La densidad aparente (DAP) mantiene una correlación negativa y altamente significativa con la li (Rho= $-.860^{**}$), con la capacidad de infiltración (Ci) su correlación es significativa (Rho= $-.691^{*}$). La porosidad (Po) se relaciona con Au de forma negativa pero significativa (Rho= $-.503^{*}$), con la li es altamente significativa (Rho= $.871^{**}$) y para la Ci (Rho= $.676^{*}$). La variable arcilla (ARC) mantiene una correlación con PMP (Rho= $.947^{*}$), y la RMP se correlaciona positivamente con la infiltración acumulada (Ia) (Rho= $.688^{*}$). Para la variable infiltración inicial (li) se correlaciona (Rho= $.802^{**}$) positivamente y es altamente significativa con la variable de Capacidad de infiltración (Ci) y por último la variable de Capacidad de infiltración (Ci), se relaciona con la humedad del suelo (Hs) (Rho= $.641^{*}$).

Para la profundidad 10-30 cm solo las variables de materia orgánica presentó una correlación altamente significativa con la arcilla (Rho= $-.655^{**}$) y con el limo (Rho= $.693^{**}$), con la arcilla es negativa y con el limo es positiva. Por su parte, la arcilla presenta una relación altamente significativa pero negativa con el limo (Rho = $-.927^{**}$)

Tabla 5. Coeficientes de correlación de Spearman profundidad 0-10 cm para las variables fisicoquímicas e hidroedáficas. Reacción del suelo (pH), Conductividad eléctrica (CE), Materia orgánica (MO), Carbono orgánico (CO), Arena, Arcilla, Limo, Densidad aparente (DAP), Porosidad (Po) y Resistencia mecánica a la penetración (RMP), Capacidad de campo (CC), Punto de marchitez permanente (PMP), Agua útil (Au), Infiltración inicial (li), Infiltración acumulada (Ia), Infiltración básica (Ib) y Humedad del suelo (Hs).

Variable	pH	CE	MO	CO	DAP	Po	AR	ARC	LI	RMP	CC	PMP	Au	li	Ia	Ci	Hs
pH	-																
CE	-0.029	-															
MO	-0.352	.786**	-														
CO	-0.352	.786**	1.000**	-													
DAP	0.008	-0.493	-0.419	-0.419	-												
Po	-0.031	-0.493	0.43	0.43	-.996**	-											
Arena	0.058	-0.311	-0.211	-0.211	0.342	-0.388	-										
Arcilla	-0.006	0.229	0.272	0.272	-0.119	0.164	-.808**	-									
Limo	0.006	0.025	-0.135	-0.135	-0.151	0.145	0.03	-.500*	-								
RMP	0.177	-0.242	-0.373	-0.373	0.12	-0.137	-0.263	0.039	0.3	-							
CC	-.656**	0.435	.632**	.632**	-0.052	0.082	-0.275	0.215	0.206	-0.295							
PMP	-0.473	.585*	.811**	.811**	-0.245	0.274	-0.435	.497*	0.206	-0.047	.591*	-					
Au	0.276	-0.479	-.675**	-.675**	0.495	-.503*	0.394	-0.48	0.425	0.05	-0.171	-.821**	-				
li	-0.145	.667*	.633*	.633*	-.860**	.871**	-0.421	0.313	-0.114	-0.529	-0.536	0.307	-0.536	-			
Ia	0.28	-0.014	0.011	0.011	-0.071	0.06	-0.389	0.414	-0.29	.688*	-0.137	0.13	-0.137	-0.043	-		
Ci	0.137	.634*	0.456	0.456	-.691*	.676*	-0.289	0.146	0.156	-0.335	-0.133	-0.081	-0.133	.802**	0.148	-	
Hs	0.416	0.106	0.071	0.071	-0.248	0.247	-0.115	0.061	0.213	-0.201	-0.121	-0.3	0.118	0.434	-0.181	.641*	-

Valores en negritas indican correlaciones significativas ($p \leq 0.05^*$) correlaciones altamente significativas ($p \leq 0.01^{**}$)

Tabla 6. Coeficientes de correlación de Spearman profundidad 10-30 cm para las variables fisicoquímicas e hidroedáficas. Reacción del suelo (pH), Conductividad eléctrica (CE), Materia orgánica (MO), Carbono orgánico (CO), Arena, Arcilla, Limo, Capacidad de campo (CC), Punto de marchitez permanente (PMP) y Agua útil (Au).

Variable	pH	CE	MO	CO	Arena	Arcilla	Limo	CC	PMP	Au
pH	-									
CE	-0.283	-								
MO	-0.282	0.448	-							
CO	-0.282	0.448	1.000**	-						
Arena	-0.06	0.276	-0.049	0.049	-					
Arcilla	-0.006	-0.377	-.655**	.655**	-0.367	-				
Limo	-0.042	0.257	.693**	.693**	0.051	-.927**				
CC	-0.119	0.053	-0.232	-0.232	-0.21	0.328	-0.352	-		
PMP	-0.348	0.138	-0.35	-0.35	-0.284	0.456	-0.451	.724**	-	
Au	0.182	-0.026	0.323	0.323	0.016	-0.47	0.485	0.235	-0.435	-

Valores en negritas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05^*$) y diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01^{**}$).

8. Discusión

Las propiedades químicas analizadas presentaron variaciones de acuerdo al uso del suelo. Principalmente en la materia orgánica, los resultados del presente estudio concuerdan con los observados por Campbell *et al.* (1991) y Chandran (2009), quienes reportan pérdidas de 20 a 30 % en áreas sometidas a laboreo y de aplicación de fertilizantes, mientras que Kogut *et al.* (2019), reportan una alta disminución en la materia orgánica en el área de agricultura que ha sido aprovechada durante 52 años, comparada con el uso de estepa natural. Schmitt *et al.* (2010), realizaron un trabajo en Alemania donde compararon varios monocultivos silvícolas; Álamo (*Populus nigra ssp.*) y mimbre (*Salix viminalisssp.*) con un área testigo de plantas perenes de pastos. En dicho estudio se encontró un aumento en la densidad aparente y en el carbono orgánico del suelo en los dos cultivos respecto al área testigo.

Se ha documentado que el sistema agroforestal mejora considerablemente los incrementos en la materia orgánica del suelo (MOS). Benavides *et al.* (2016), reporta mayores contenidos de MOS en los primeros 15 cm de profundidad. Yáñez (2017), observó cambios en la fertilidad de un vertisol por las prácticas de uso del suelo, encontrando datos de materia orgánica con valoración de mediano en el uso agrícola a contenido muy alto en los usos de matorral y pastizal. Martínez *et al.* (2008), menciona que el COS tiende a disminuir o aumentar dependiendo de la practica o el uso del suelo que se realiza, así mismo, varía dependiendo de la profundidad. Esta tendencia se observó en el presente estudio, en donde el CO varía de alto (0-10 cm) a mediano (10-30 cm) en el área de MET.

En la meseta de Loess en China, se encontraron diferencias en los contenidos de carbono orgánico en diferentes usos de suelo, donde los pastizales presentaron el mayor contenido de carbono orgánico (CO), por encima de los bosques y áreas de cultivo. A su vez, también se observó una reducción del CO por profundidad (Liu *et al.*, 2020). Mientras que Ouyang *et al.* (2016), presentan

resultados similares en el contenido de CO. Al encontrar diferencias entre áreas y profundidades, el área de cultivo presentó los contenidos más bajos de CO, comparada con sus áreas naturales. Dichos resultados son similares con los obtenidos en la presente investigación, donde las áreas de cultivo presentaron menor cantidad de carbono en comparación del área testigo con mayores contenidos de CO. Por su parte, Bezuglova y Yudina (2006), realizaron un estudio donde destacan los cambios negativos de áreas sometidas a una intensa actividad de uso del suelo y el impacto que tienen sobre las propiedades físicas del suelo Chernozem.

Las propiedades físicas presentan diferencias como lo es la textura y la resistencia mecánica a la penetración, donde el área de pastizal presenta los valores más altos de resistencia mecánica a la penetración. Dichos valores concuerdan con los de Díaz (2017) y Yáñez (2017), donde encontraron valores de 1.5 (kg cm⁻²) en el MET y hasta 6 (kg cm⁻²) para áreas de pastizal.

Cantú *et al* (2018), realizó un estudio en un suelo Calcisol bajo diferentes sistemas de usos de suelo. En dicho trabajo se detectó contenidos altos de materia orgánica y carbono orgánico para el área testigo (MET), mientras que, para el área destinada a la agricultura, registró los contenidos más bajos para dichas variables, lo cual concuerda con lo reportado en esta investigación.

Di Ciocco *et al.* (2014), menciona que los suelos con pastizales tienen una actividad microbiológica mayor, por lo que permite mantener una elevada capacidad para descomponer residuos vegetales, animales y fijar nitrógeno de la atmósfera, así que los sistemas agroforestales con un manejo adecuado aportan grandes beneficios al medio edáfico.

López *et al.* (2018), encontraron valores inferiores en las propiedades químicas como la materia orgánica en pastizales. Dicha variabilidad se relaciona con la compactación de los suelos por actividades antropogénicas, así como la alta y baja infiltración que se presenta para el área de cítricos y pastizal, comparándolos con el área testigo (MET). Este comportamiento de áreas sujetas a un trabajo constante del suelo, son similares a los encontrados por Mačkić *et al.* (2014),

quienes realizaron un estudio para determinar los efectos del riego sobre las propiedades químicas del suelo Chernozem. En dicha investigación se encontró una conductividad eléctrica en un rango de escasa que varía de 680 a 880 $\mu\text{S cm}^{-1}$ y valores de neutro a moderadamente alcalino para pH; valores muy similares a los encontrados, en el área de CÍTRI, que está sometido a riego y en el área testigo (MET) que no está sujeto a un constante riego. Esto indica que los cambios que puede sufrir el suelo con las actividades antropogénicas, al observar un drástico cambio en la variable de infiltración debido a la labranza constante que sufre el suelo Chernozem.

Bhattacharyya *et al.* (2005), determinaron en su estudio que la densidad del suelo aumenta debido al barbecho contante y a la reducción de poros. Estos datos son similares con los del presente estudio ya que el área de agricultura y pastizal, presentan los valores más altos de densidad y son los más bajos en el porcentaje de porosidad.

De acuerdo con el trabajo de Kuznetsova (2013), donde compara un suelo Chernozem virgen y uno sometido al arado, encontró un aumento en la densidad aparente, una disminución en la porosidad y la tasa de infiltración se redujo, así como en la capacidad de campo. Estos resultados son similares a los encontrados en las áreas de agricultura y pastizal del presente estudio, al compararlas con el área testigo que es un matorral espinoso tamaulipeco.

9. Conclusiones

Los efectos antropogénicos sobre el suelo Chernozem, muestran que este ha sufrido cambios físicos debido al uso de maquinaria pesada en el laboreo de la tierra.

Es evidente que el suelo sufre cambios al hacer uso en actividades antropogénicas, esto se ve reflejado en las propiedades físicas, como son la resistencia mecánica a la penetración, y la textura. Dichos cambios son muy evidentes al compararlos entre los diferentes usos y el área testigo (MET). Mientras que la arcilla mostró cambios entre el MET y el área de AGRI,

El uso de plantaciones (CÍTRI) como monocultivo tiende a modificar el contenido de como se ve reflejado en la disminución de la materia orgánica. Se observan cambios en el pH y la conductividad eléctrica entre los usos de CÍTRI y el MET, en la primera profundidad.

Al analizar los usos del suelo las propiedades hidroedáficas, presentaron un efecto negativo en la infiltración, capacidad de campo, punto de marchitez permanente y agua útil; son las áreas de cítricos y pastizal. Se ven reflejados grandes cambios en la tasa de infiltración, infiltración inicial, infiltración acumulada y capacidad de infiltración, entre el uso de CÍTRI y PAST, esto indica el efecto que se tiene en las propiedades hidroedáficas, al ser sometido a un trabajo constante.

10. Literatura

- Acevedo, C. D., Álvarez, S. M., Hernández A. E., & Améndola, M. R. (2011). Concentración de nitrógeno en suelo por efecto de manejo orgánico y convencional. *Terra Latinoamericana*, 29 (3), 325-33
- Acevedo, D., & Hernández Acosta, E., & Maldonado Torres, R., & Álvarez Sánchez, M. (2015). Variabilidad espacial del carbono en un suelo después de 10 años de retiro e incorporación de residuos de cosecha. *Terra Latinoamericana*, 33 (3), 199-208.
- Alanís R. E., Jiménez P. J., Aguirre C. Ó., Treviño G. E., Jurado Y. E. & González T. M. (2008). Efecto del uso del suelo en la fitodiversidad del matorral espinoso tamaulipeco. *Ciencia UANL / vol. xi, no. 1, enero – marzo*. p 56- 62.
- Alvarado, B. C. & Barahona, P. M. (2016). Comparación de tres métodos de infiltración para calcular el balance hídrico del suelo, en la Cuenca del río Suquiapa, El Salvador. *Cuadernos de Investigación UNED (ISSN: 1659-4266) Vol. 9(1): 23-33, Junio, 2017*
- Angelone, S., Garibay, M. T & Cauhapé, C. M. (2006). Permeabilidad de suelos. *Geología y Geotecnia Universidad Nacional de Rosario. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura*. 39 p
- Aruani, M., & Gili, P., & Machuca, Y., & Spera, N. (2012). Evaluación de las características físico-químicas y biológicas en dos suelos superficiales cultivados con pera (*Pyrus communis L.*) cv. Williams bajo manejo convencional. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 44 (1), 77-84.
- Avilés, H.V., & Velázquez, M.A., & Angeles P.G., tchevers B.J., De los Santos, P. H., & Llanderal, T. (2009). Variación en almacenes de carbono en suelos de una toposecuencia. *Agrociencia*, 43 (5), 457-464.
- Benavides, B. E. L., Morales, P. L. N. & Navira E. J. F. (2016). Propiedades físicas y contenido de materia orgánica en diferentes usos del suelo en Samaniego, Colombia. *Agroforestería neotropical*, N° 5. 2015 27- 41 p.

- Betancourt, R. Z. Y., Rodríguez C.I., Pineda R., E. (2009) Las propiedades químicas del suelo para definir la zona de aplicación del laboreo localizado en los suelos arcillosos pesados. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*.
- Bezuglova, O. S. y Yudina, N.V. (2006). Interrelationship between the physical properties and the humus content of Chernozems in the south of European Russia. *Eurasian Soil Sc.* 39, 187–194
- Bezuglova, O. S. y Yudina, N.V. (2006). Interrelationship between the physical properties and the humus content of Chernozems in the south of European Russia. *Eurasian Soil Sc.* 39, 187–194
- Bhattacharyya, R., Prakash, V., Kundu, S & Gupta H. (2005). Effect of tillage and crop rotations on pore size distribution and soil hydraulic conductivity in sandy clay loam soil of the Indian Himalayas. *Soil and Tillage Research* 86 pp.129–140
- Blanco, S. R. (2015). El infiltrómetro de cilindro simple como método de cálculo de la conductividad hidráulica de los suelos. Experiencias de campo en ámbitos de montaña mediterránea. *BAETICA. Estudios de Historia Moderna y Contemporánea*, (21).
- Bolaños, G. M., Paz, P. F., Cruz, G. C., Argumedo, E. J., Romero, B., V., & de la Cruz, C. J. (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.
- Canadian Society of Soil Science (2020). *Soils of Canada*.soilsofcanada.ca.
- Cantú, S.I., Díaz, G K. E., Yáñez, D M. I., González, H.R., Martínez, S. R. A. Caracterización fisicoquímica de un Calcisol bajo diferentes sistemas de uso de suelo en el noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9 (49): 59-86
- Celaya, M. H., & Castellanos, V. A. (2011). Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra Latinoamericana*, 29 (3), 343-356.
- Cerón, R. L. & Aristizábal, G. F. (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. *Revista Colombiana de Biotecnología*, XIV (1), 285-295.

- Céspedes, F. F., Fernández, J., Gobbi, J., & Bernardis, A. (2012). Reservoirio de carbono en suelo y raíces de un pastizal y una pradera bajo pastoreo. *revista fitotecnia mexicana*, 35 (1), 79-86.
- Chernozems of kursk oblast within 40 years. *Eurasian Soil Science*, vol. 46, No. 4, pp. 393–400.
- Cotler, H., Martínez, M., & Etchevers, J. (2016). Carbono orgánico en suelos agrícolas de México: investigación y políticas públicas. *Terra latinoamericana*, 34 (1), 125-138.
- Cotler, H., Sotelo, E., Dominguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S., & Quiñones, L. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. Cristóbal-Acevedo, D., & Álvarez-Sánchez, M., & Hernández-Acosta, E., & Améndola-Massiotti, R. (2011). Concentración de nitrógeno en suelo por efecto de manejo orgánico y convencional. *Terra Latinoamericana*, 29 (3), 325-332.
- Di Ciocco, C., Sandler, R., Falco, L., & Coviella, C. (2014). Actividad microbiológica de un suelo sometido a distintos usos y su relación con variables físico-químicas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 46 (1), 73-85.
- Díaz G. K. E. (2017). Caracterización fisicoquímica de un Calcisol bajo diferentes sistemas de uso de suelo en el noreste de México. Tesis de licenciatura Ing. Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, UANL. 79 p.
- Dilva, C. P., Silva, R. H., Garrido, S. M. & Acevedo, H. E. (2015) Manual de estudio y ejercicios relacionados con el contenido de agua en el suelo y su uso por los cultivos. Departamento de producción agrícola. Facultad de ciencias agronómicas, universidad de Chile. Pp. 82
- Flores, M. J., Corral, D. B. & Sapien, M.G. (2007). Mineralización de nitrógeno de biosólidos estabilizados con cal en suelos agrícolas. *Terra Latinoamericana*, 25 (4), 409-417.
- Francisco, N. N., Turrent, F. A., Oropeza, M. J., Martínez, M. M., & Cortés, F. J. (2006). Pérdida de suelo y relación erosión-productividad en cuatro sistemas de manejo del suelo. *Terra Latinoamericana*, 24 (2), 253-260.

- Galicia, L., & Gamboa Cáceres, A., Cram, S., Chávez Vergara, B., Peña Ramírez, V., Saynes, V., & Siebe, C. (2016). Almacén y dinámica del carbono orgánico del suelo en bosques templados de México. *Terra latinoamericana*, 34 (1), 1-29.
- Gómez, J. L., Morales, V.A., Dueñas, V., Dantin, M. J., Chávez, G. N., & Torres, L. M. (2012). Contenido de carbono y nitrógeno de la biomasa microbiana en suelos de la Habana. *agronomía mesoamericana*, 23 (1), 179-187.
- González, M.L., Acosta, M. M., Carrillo, A.F., Baéz, P. A., & González, C. J. (2014). Cambios de carbono orgánico del suelo bajo escenarios de cambio de uso de suelo en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5 (7), 1275-1285.
- González-Molina, L., & Etchevers-Barra, J., & Hidalgo-Moreno, C. (2008). carbono en suelos de ladera: factores que deben considerarse para determinar su cambio en el tiempo. *Agrociencia*, 42 (7), 741-751.
- Hernández, M. (2010). suelos de humedales como sumideros de carbono y fuentes de metano. *Terra Latinoamericana*, 28 (2), 139-147.
- Hossne G. A. J. (2007). La densidad aparente y sus implicaciones agrícolas en el proceso expansión/contracción del suelo. *TERRA Latinoamericana volumen 26 número 3, 2008*. 195- 202 pp.
- INEGI (2001). Diccionario de datos edafológicos. Alfanumérico. Pp 44.
- INEGI. (1986) Síntesis geográfica del Estado de Nuevo León. Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática. Nuevo León, México.
- INEGI. (2012.) Aspectos generales del territorio mexicano. Recursos naturales. Edafología. Disponible en: <http://mapserver.inegi.org.mx>. Fecha de consulta: febrero de 2020
- IUSS Working Group WRB (2015). World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
- Kogut B. M., Artemyeva Z.S., Kirillova N. P., Yashin M. A. y Soshnikova E. L. (2019). Organic Matter of the Air-Dry and Water-Stable Macroaggregates (2–1 mm) of Haplic Chernozem in Contrasting Variants of Land Use. *Eurasian Soil Sc.* 52, 141–149

- Kogut B. M., Artemyeva Z.S., Kirillova N. P., Yashin M. A. y Soshnikova E. L. (2019). Organic Matter of the Air-Dry and Water-Stable Macroaggregates (2–1 mm) of Haplic Chernozem in Contrasting Variants of Land Use. *Eurasian Soil Sc.* 52, 141–149
- Ksenija, MAČKIĆ K., PEJIĆ B., NEŠIĆ L., J. VASIN J. y MIJIĆ B. (2014). Chemical properties of Chernozem influenced by irrigation. *Research Journal of Agricultural Science*, 46 (2). Pp. 139-146.
- Kuznetsova, I. V. (2013). Changes in the physical status of the typical and leached
- Lipinski, V., & Gaviola, S. (2006). Evaluación del rendimiento y calidad de cultivares de ajo colorado fertirrigados con nitrógeno. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, XXXVIII (2), 37-48.
- Liu, M., Liu, M., Li, P., Yang J., Wang J. y Chang Q. (2020). Variations in soil organic carbon decompositions of different land use patterns on the tableland of Loess Plateau. *Environmental Science and Pollution Research* 27, 4337–4352
- López, S., & Guevara, E., & Maturano, M., & Melaj, M., & Bonetto, J., & Meira, S., & Martin, O., & Bárbaro, N. (2002). Absorción de nitrógeno en trigo en relación con la disponibilidad hídrica. *Terra Latinoamericana*, 20 (1), 7-15.
- Luis-Mejía, S., & Gómez-Guerrero, A., & Etchevers-Barra, J., & Ángeles-Pérez, G., & López-López, M., & Horwath, W. (2007). ACUMULACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO EN REFORESTACIONES DE *Pinus michoacana*. *Agrociencia*, 41 (7), 711-721.
- Mantilla-Paredes, A., & Cardona, G., & Peña-Venegas, C., & Murcia, U., & Rodríguez, M., & Zambrano, M. (2009). Distribución de bacterias potencialmente fijadoras de nitrógeno y su relación con parámetros fisicoquímicos en suelos con tres coberturas vegetales en el sur de la Amazonia colombiana. *Revista de Biología Tropical*, 57 (4), 915-927.
- Martínez H, Eduardo, Fuentes E, Juan Pablo, & Acevedo H, Edmundo. (2008). CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES DEL SUELO. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(1), 68-96.

- Mendonça Sá, E., & Silva Costa da, A., & Medeiros Lemos de, M., & Fontes Ferreira, M. (2001). Carbono orgánico extraído por soluciones salinas y su relación con otras formas de suelos tropicales . *Agrociencia*, 35 (4), 397-406.
- Milagros Ginebra Aguilar; Mirelys Rodríguez Alfaro; Bernardo Calero Martín; Daniel Ponce de León; Lisbet Font Vila;
- Muñoz-Nava, H., & Suárez-Sánchez, J., & Vera-Reyes, A., & Carreón-Coca, M., & Montealegre-Muñoz, R., & Baumann, J. (2013). Relación entre el nitrógeno y las microcuencas del río Zahuapan, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, IV (4), 47-61.
- Novák V., Hlaváčiková H. (2019) Soil-Water Potential and Its Measurement. In: *Applied Soil Hydrology. Theory and Applications of Transport in Porous Media*, vol 32. Springer, Cham
- Ouyang W., Geng X., Huang W., Hao F. y Zhao J. (2016) Soil respiration characteristics in different land uses and response of soil organic carbon to biochar addition in high-latitude agricultural area. *Environmental Science and pollution Research Res* 23, 2279–2287.
- Ouyang, W., Geng X., Huang W., Hao F. y Zhao J. (2016) Soil respiration characteristics in different land uses and response of soil organic carbon to biochar addition in high-latitude agricultural area. *Environmental Science and pollution Research Res* 23, 2279–2287.
- Pastor Mogollón, J., & Rivas, W., & Martínez, A., & Campos, Y., & Márquez, E. (2015). Carbono orgánico del suelo en un gradiente altitudinal en la Península de Paraguaná, Venezuela. *Multiciencias*, 15 (3), 271-280.
- Paul Driessen, Universidad Agrícola de Wageningen, Instituto Internacional de Estudios Aeroespaciales y Ciencias de la Tierra (ITC), Jozef Deckers, Universidad Católica de Lovaina Otto Spaargaren, Centro Internacional de Referencia e Información sobre Suelos Freddy Nachtergaele, FAO 2001
- Pavlović P., Kostić N., Karadžić B., Mitrović M. (2017) Order of Automorphic Soils. In: *The Soils of Serbia. World Soils Book Series*. Springer, Dordrecht

- Pavlovic P., Kostić N., Karadžić, B. y Mitrović M. (2017). The Soils of Serbia, 7.2 Class II: Humus-Accumulative Soils with A-C, A-R or A-C-R. pp. 117, Springer Países Bajos Springer Países Bajos. Pp. 225
- Rodríguez-Vásquez, Andrés F., Aristizábal-Castillo, Andrés M., & Camacho-Tamayo, Jesús H. (2008). Variabilidad espacial de los modelos de infiltración de Philip y Kostiakov en un suelo Ándico. *Engenharia Agrícola*, 28(1), 64-75.
- Rutherford, P. M., W. B. McGill, J. M. Arocena, and C. T. Figueiredo. 2007. Total nitrogen. pp. 239-250. In: M. R. Carter and E. G. Gregorich, (eds.). *Soil sampling and method of analysis*. CRC Press. Boca Raton, FL, USA
- Sadeghian Khalajabadi, S. (2011). Respuesta de Cafetales al Sol y Bajo Semisombra a Nitrógeno y su Relación con la Materia Orgánica del Suelo. *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, 64 (1), 5781-5791.
- Schmitt, A., Tischer, S., Elste, B., Hofmann, B. & Christen, O. (2010). Auswirkung der Energieholzproduktion auf physikalische, chemische und biologische Bodeneigenschaften auf einer Schwarzerde im Mitteldeutschen Trockengebiet. *Journal für Kulturpflanzen*, 62 (6). S. Pp.189–199.
- Segura-Castruita, M., & Sánchez-Guzmán, P., & Ortiz-Solorio, C., & Gutiérrez-Castorena, M. (2005). Carbono orgánico de los suelos de México. *Terra Latinoamericana*, 23 (1), 21-28.
- Shein, E.V., Shcheglov, D. I. & Moskivin, V. V. (2012). Simulation of water permeability processes in Chernozems of the kamennaya steppe. *Eurasian Soil Science*, vol. 45, No. 6, pp. 578–587.
- Suárez M., G., & Campos C., A., & Cruz H., L. (2015). DINÁMICA DEL CARBONO Y NITRÓGENO DEL SUELO EN ECOSISTEMAS DE LA COSTA TROPICAL SECA, EN LA MANCHA (CICOLMA), VERACRUZ, MÉXICO. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 18 (3), 347-361.
- TAYLOR, Donald W. – (1961, 1ª Edición) – *Principios Fundamentales de Mecánica de Suelos* – Compañía Editorial Continental S.A., México
- Valdez Pérez, María Eugenia, Gandhi González Guerrero, Rafael Morales Ibarra y Rut Yadira Bolaños Suárez. 2016. “Reserva de carbono en biomasa forestal y suelos minerales en el Parque Nacional Malinche, México”. *Cuadernos de*

- Geografía: Revista Colombiana de Geografía 25 (1): 207-215. DOI: 10.15446/rcdg.v25n1.40382.
- Valles de la Mora, B., & Cadisch, G., & Castillo Gallegos, E. (2008). Mineralización de nitrógeno en suelos de pasturas con *Arachis pintoi*. *Técnica Pecuaria en México*, 46 (1), 91-105.
- Vásquez, J., & Macías, F., & Menjivar, J. (2013). Respiración del suelo según su uso y su relación con algunas formas de carbono en el departamento del Magdalena, Colombia. *Bioagro*, 25 (3), 175-180.
- Vela Correa, G., & López Blanco, J., & Rodríguez Gamiño, M. (2012). Niveles de carbono orgánico total en el Suelo de Conservación del Distrito Federal, centro de México. *Investigaciones Geográficas (Mx)*, (77), 18-30.
- Velázquez Rodríguez, A., & García Oliva, F. (2016). El Carbono en los Suelos de México II. *Terra Latinoamericana*, 34 (3)
- Velázquez, (2002) A., Mas, J. F., Díaz Gallegos, J. R., Mayorga Saucedo, R., Alcántara, P. C., Castro, R., Fernández, T., Bocco, G., Ezcurra, E., Palacio, J. L., Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica [en línea]* [Fecha de consulta: 21 de octubre de 2018] Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53906202>> ISSN 1405-2849
- Venanzi S., Vallati A. y Krüger H. 2002. Crecimiento temprano del trigo en función de la densidad aparente del suelo. En *Actas XVII Congr. Argentino de la Ciencia del Suelo*. Pto. Madryn, Chubut. 2002.
- Villa-Castorena, M., Catalán-Valencia, E., Inzunza-Ibarra, M., Sánchez-Cohen, I. (2006). La fertilización nitrogenada y la salinidad del suelo afectan la transpiración y absorción de nutrimentos en plantas de Chile. *Terra Latinoamericana*, 24 (3), 391-399.
- Woerner M. 1989 *Método químico para el análisis de suelos calizos de zonas áridas y semiáridas*. Facultad de Ciencias Forestales, Departamento Agroforestal, Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares Nuevo León. 103 pp.
- Yáñez D. M. I. 2017. *Caracterización ecopedológica en Vertisoles bajo cuatro sistemas de uso de suelo*. Facultad de Ciencias Forestales. UANL. Tesis Doctorado. 111 p.

Yáñez Díaz, M. I., I. Cantú Silva y H. González Rodríguez. 2018. Efecto del cambio de uso de suelo en las propiedades químicas de un Vertisol. *Terra Latinoamericana* 36: 369-379

Zinck, Alfred, Suelos, información y sociedad. *Gaceta Ecológica* [en línea] 2005, (julio-septiembre): [Fecha de consulta: 22 de octubre de 2018] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53907603>> ISSN 1405-2849.

11. ANEXOS.

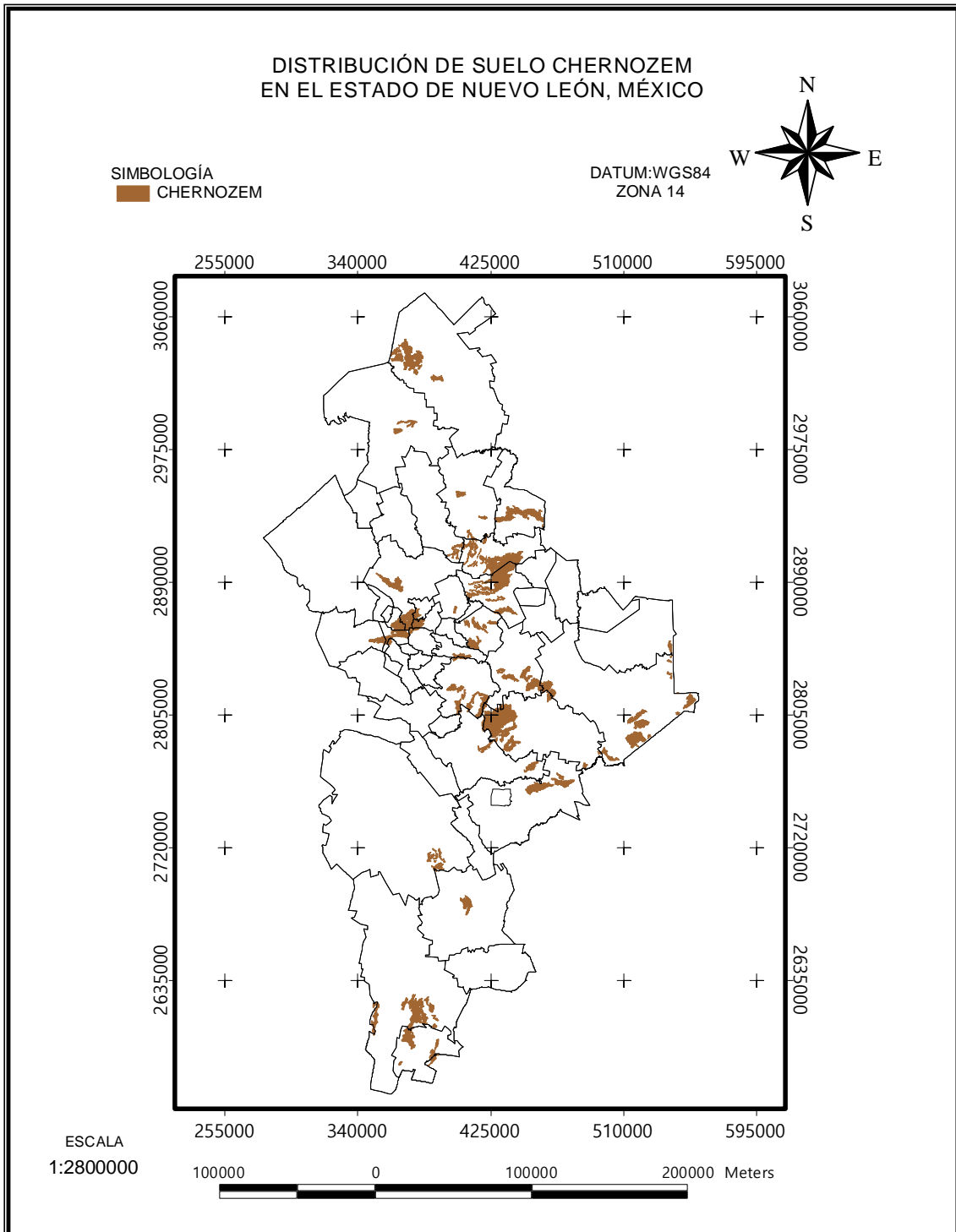


Figura 22. Mapa de distribución del suelo Chernozem en el estado de Nuevo León.