



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO  
FACULTA DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL



Efecto del pastoreo sobre el proceso de infiltración del suelo  
en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES

PRESENTA:

Mauricio Adrian Flores Navarro

Directoras:

Dra. Julieta Gertrudis Estrada Flores

Dra. Marlín Pérez Suárez

## Agradecimientos

**A mis padres;**

**David Flores Arreola y María Xochitl Navarro Fernández**

Por su apoyo incondicional durante cada una de las etapas de mi vida tanto personal como académica y que gracias a su esfuerzo día a día me han dado las facilidades económicas para terminar mis estudios que serán las herramientas para enfrentar la vida de ahora en adelante.

**A mi tía;**

**Patricia Flores Arreola**

Por su incondicional apoyo en los momentos difíciles que pase como estudiante, gracias a su esfuerzo me ayudo a concluir esta meta tan importante para mí. Gracias tía la quiero mucho.

**A mis asesoras de tesis:**

**Dra. Marlín Pérez Suarez y Dra. Julieta G. Estrada Flores**

Por su apoyo incondicional desde el inicio de este gran proyecto, sus invaluable aportes, experiencia, su permanente disposición, orientación y su inmensa paciencia durante el tiempo que duro el proyecto.

A la secretaria de Investigación y Estudios Avanzados de la UAEM por el apoyo económico brindado para la realización de la presente tesis mediante el proyecto “Servicios hidrológicos de ecosistemas de montaña: el papel de la cobertura vegetal y uso en la infiltración de agua”, con número de registro 3770/2014/CID.

# Índice

Introducción .....	5
I. Planteamiento del problema.....	8
II. Pregunta de investigación .....	10
III. Hipótesis.....	10
IV. Objetivos .....	11
Objetivo general .....	11
Objetivos específicos .....	11
Capítulo 1. Marco de referencia.....	12
1.1 El suelo y su multifuncionalidad .....	12
1.2 Degradación del suelo .....	13
1.3 Ciclo hidrológico .....	15
1.3.1 Infiltración.....	16
1.3.2. Pruebas de infiltración .....	19
Capítulo 2. Marco legal.....	23
2.1 Nivel Federal .....	23
2.2 Nivel Estatal .....	23
2.3 Nivel Municipal .....	25
Programa de manejo para el APFFNT.....	25
Capítulo 3. Materiales y Métodos .....	27
3.1 Área de estudio .....	27
3.3 Edafología y Uso de suelo.....	28
3.4 Prácticas manejo ganaderas .....	29
3.5 Aspectos socio económicos generales.....	30
3.6 Definición del tipo de muestreo .....	30
3.7 Colecta de muestras de suelo .....	32
3.8 Determinación de propiedades físicas y químicas del suelo.....	33
3.8.1 Pruebas físicas.....	33
3.8.2 Pruebas químicas .....	35
3.9 Integración base de datos .....	36
3.10 Análisis estadístico .....	36

Resultados y Discusión .....	37
Conclusiones.....	43
Sugerencias a la investigación.....	44
Bibliografía.....	45

## Índice de figuras

Figura 1. Ciclo del Agua (USGS, 2010).....	16
Figura 2. Perfil de humedad en el proceso de infiltración (Pizarro <i>et al.</i> 2002).....	18
Figura 3. Infiltrómetro de doble anillo (Reynolds <i>et al.</i> , 2002).....	20
Figura 4. Permeámetro de carga constante (Hartmann, 2000).....	22
Figura 5. Ubicación geográfica de la zona de estudio.....	28
Figura 6. Uso de suelo ejido de Agua Blanca, Zinacantepec.....	29
Figura 7. Pastoreo dentro del ejido Agua Blanca.....	30
Figura 8. Ubicación puntos de muestreo.....	32
Figura 9. Características de las parcelas establecidas en cada uso de suelo.....	32
Figura 10. Dirección de la toma de muestras infiltración.....	35
Figura 11. Infiltración bajo dos usos de suelo a una profundidad de 25 cm.....	43

## Índice de tablas

Tabla 1. Características generales y diferencias entre usos de suelo (pecuario y forestal) y su profundidad del ejido de Agua Blanca.....	35
Tabla 2. Correlación de las características fisicoquímicas del suelo y la infiltración.....	39

## Introducción

La provisión de agua potable en regiones templadas depende de la integridad de los ecosistemas de montaña, en donde cada especie vegetal presente influye de manera tanto directa (consumo de agua) como indirecta (características fisicoquímicas del suelo) sobre la cantidad de agua que se infiltra en el suelo (De Groot *et al.*, 2002). Por tanto, el deterioro en la estructura de estos ecosistemas provoca cambios en los procesos que conforman el ciclo del agua como la infiltración (Young, 2003). La infiltración es un proceso del ciclo hidrológico de gran importancia en la provisión de agua para el consumo humano (mediante la recarga de los manto freáticos), así como para los propios procesos que sostienen el funcionamiento del ecosistema (Tobón, 2009).

El proceso de infiltración de agua en el suelo, medido a través de la capacidad de los suelos para conducir agua de lluvia (conductibilidad hidráulica) hacia las capas más profundas, es controlado por factores tanto abióticos como bióticos. Entre los principales factores abióticos se encuentran los siguientes: características de la lluvia (intensidad y tamaño de las gotas de la lluvia, frecuencia, etc.), propiedades físicas (porosidad, textura, grado de compactación, densidad) y químicas del suelo (principalmente el contenido de materia orgánica; Chow *et al.*, 1993). Entre los factores bióticos se encuentran las comunidades vegetales presentes en un ecosistema o sobre la superficie del suelo (Aparicio, 1999).

Los cambios en el uso del suelo, referido como el uso que los seres humanos hacen de la tierra, incluyendo la gestión y modificación del ambiente en sistemas de producción intensivos (cultivos y pasturas), alteran la estructura del bosque y con ello inducen la modificación de las propiedades hidrofísicas del suelo (Tobón *et al.*, 2009), así como las propiedades biológicas y químicas (Willatt y Pullar, 1983; Greenwood y Mckenzie, 2001) alterando su funcionamiento y por tanto servicios hidrológicos que estos proporcionan a la comunidad.

La alteración de las propiedades del suelo, producida por el pastoreo se da a través del pisoteo constante por el ganado que provoca compactación del suelo (Alegre *et al.*, 1996). A través del pisoteo, se va reduciendo el espacio poroso del suelo y por tanto su capacidad de infiltración llevando a su vez la reducción de la productividad vegetal. Lo anterior debido a que el agua es el medio de transporte de los nutrientes que llegan a la planta para su crecimiento (Amésquita y Pinzon, 1991; Hofstede, 1995).

De acuerdo con Amésquita y Pinzon (1991), las propiedades del suelo se modifican en función de la carga animal, de tal forma que a mayor carga animal existe un incremento en la densidad aparente, por lo que también se aumenta la resistencia a la penetración de las raíces de las plantas, sobre todo en los primeros 15 centímetros. Lo anterior, además genera la erosión del suelo debido al escurrimiento superficial (Browman *et al.*, 1999; Lado *et al.*, 2004; Avendaño, 2007; Tobón *et al.*, 2009).

Se han reportado un sinnúmero de efectos negativos de las actividades pecuarias sobre los recursos naturales en general, y sobre los hídricos en particular. De acuerdo con la FAO (2009), el ganado es la principal fuente de contaminación del suelo, emisión de nutrientes y residuos a ríos y lagos. Sin embargo, de acuerdo con Maldonado (2012) los sistemas de producción intensiva en nada se asemejan a la forma de manejo en la alta montaña, en donde dicha actividad es de tipo extensiva, es decir, el pastoreo de animales se realiza de manera trashumante (migración o movimiento hacia otras áreas). Dicha forma de producción es tradicional y es uno de los medios de subsistencia de la población en las zonas de alta montaña, constituyendo una importante fuente de ingreso en estos sitios.

Por otra parte, un aspecto a considerar sobre el impacto de las actividades pecuarias en la alta montaña, son los daños a los suelos por otras actividades que se llevan a cabo de forma paralela al pastoreo, como la explotación forestal o extracción selectiva de especies maderables (Alegre *et al.*, 1996). A través de esta última actividad se generan daños al suelo por el arrastre de la madera, con lo cual se remueve la cobertura del sotobosque y se altera la capa superficial del suelo, influyendo indudablemente en el balance entre el agua que se infiltra y la que sale del sistema a través del escurrimiento superficial. Lo anterior pone de relevancia evaluar el impacto real de las actividades pecuarias dentro de estos ecosistemas (Deguchi *et al.*, 2006).

De esta manera, el objetivo de este trabajo fue llevar a cabo un diagnóstico de las características del suelo y su relación con su capacidad de infiltración (medida aquí como conductividad hidráulica) bajo dos distintos usos (Forestal y Pecuario) en el Área de Protección de Flora y Fauna del Nevado de Toluca. Lo anterior con la finalidad de contribuir en la generación de información cuantitativa del impacto de las actividades pecuarias sobre las características del suelo que permita a mediano y largo plazo proponer estrategias de manejo adecuadas para la conservación de los recursos forestales (suelo y plantas) e hídricos de estas zonas, considerando las particularidades del uso de los recursos y las necesidades de las poblaciones locales.

## I. Planteamiento del problema

La expansión de la producción ganadera es un factor fundamental en el cambio de uso de suelo especialmente en América Latina, donde el 70% de las tierras que antes eran ocupadas por bosques en la actualidad han sido convertidas en pastizales y los cultivos forrajeros (FAO, 2009). La transformación en pastizales, constituye el principal proceso de destrucción de todos los tipos de vegetación. En la alta montaña sin embargo, el pastoreo se lleva a cabo de forma distinta por lo que no necesariamente hay un cambio total del uso de suelo o cobertura. En la alta montaña el ganado se mueve hacia distintas zonas de manera dispersa, disminuyendo la estabulación de los animales de tal forma que el impacto del pastoreo sobre la calidad del suelo y los procesos hidrológicos como la infiltración podría ser distinto (Blackburn *et al.*, 1982; Pierson *et al.*, 2002).

En el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca, se presenta la ganadería ovina de tipo extensiva y extractiva causante del deterioro de los ecosistemas, debido a la acción de defoliación causada por el pastoreo. Lo anterior, también genera cambios importantes en la composición florística y la estructura de los pastizales y pasturas (Maldonado, 2012). El pastoreo ejerce mayor presión sobre las especies más palatables, las cuales pueden llegar a desaparecer en función del tipo de pastoreo y de la oportunidad de los períodos de descanso otorgados (Taboada, 2007). Sin la presencia de la cobertura vegetal la energía de la precipitación aumenta, debido a que las hojas de los árboles actúan como barrera para evitar un contacto directo del agua con la superficie, además de que en conjunto las raíces de los árboles y otras plantas presentes en el sotobosque, favorecen la incorporación de material orgánico que mejora las características del suelo y por lo tanto el movimiento del agua dentro del suelo promoviendo la infiltración de agua en el suelo y en su momento la recarga del manto freático (Díaz *et al.*, 2006).



Si bien es cierto que las actividades pecuarias generan diversos impactos al ambiente, la investigación científica que proporcione elementos cuantitativos y certeros de estos impactos sobre la producción de agua, bajo las condiciones de la alta montaña en México es prácticamente nula.

## **II. Pregunta de investigación**

Para efectuar la aproximación a la realidad del objeto de estudio, se planteó la siguiente pregunta de investigación:

¿En qué medida la actividad pecuaria llevada a cabo en el Ejido de Agua Blanca, ha impactado en las propiedades fisicoquímicas del suelo, y a través de estas las tasas de infiltración de agua en el suelo?

## **III. Hipótesis**

La actividad pecuaria establecida en el ejido de Agua Blanca ha impactado significativamente las propiedades fisicoquímicas del suelo, reduciendo las tasas de infiltración en suelos bajo uso pecuario en comparación con el uso de suelo forestal.

## IV. Objetivos

### Objetivo general

Evaluar el efecto de la actividad pecuaria sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo y el impacto que a través de ello ha tenido en las tasas de infiltración bajo dos usos de suelo (forestal y pecuario).

### Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físicas del suelo (compactación, densidad aparente y humedad); bajo diferentes usos del suelo (pecuario y forestal).
- Cuantificar las propiedades químicas del suelo (pH y contenido de materia orgánica) bajo usos de suelo (pecuario y forestal) contrastantes.
- Determinar *ex situ* las tasas de infiltración de dos usos de suelo contrastantes (pecuario y forestal).
- Determinar la relación entre las propiedades físicas y químicas del suelo con la infiltración bajo dos usos del suelo (pecuario y forestal) para evaluar los efectos del pastoreo.

## Capítulo 1. Marco de referencia

### 1.1 El suelo y su multifuncionalidad

El suelo, material mineral no consolidado en la superficie de la tierra (Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo, 1984); es considerado, también, un cuerpo natural involucrado en interacciones dinámicas con la atmósfera, que influyen en el clima y en el ciclo hidrológico del planeta; ya que en él se llevan a cabo diversos procesos entre los que se encuentran la infiltración (Espinoza, 2011). De acuerdo con Karlen *et al.*(1997), para que el proceso de infiltración se pueda desarrollar en el medio ambiente, el suelo debe funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sostener la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua y sostener la salud humana y el hábitat.

Para caracterizar la calidad del suelo existen propiedades alternativas para su evaluación; Larson y Pierce (1991) y, Doran y Parkin (1994) plantearon un conjunto mínimo de propiedades físicas y químicas del suelo que fuesen útiles como indicadores de los cambios en el suelo a través del tiempo. Respecto a las propiedades físicas del suelo son aquellas que retienen y permiten la transferencia de agua hacia las plantas, reducen las limitaciones en el crecimiento de las raíces, y la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil y además de estar relacionados con el arreglo de las partículas y los poros. Algunas de esas propiedades son las siguientes: estructura, densidad aparente, estabilidad de agregados y capacidad de almacenamiento del agua (Singer y Ewing, 2000).

Las propiedades químicas del suelo; refieren a aquellas que afectan las relaciones suelo-planta, la calidad y disponibilidad de agua así como nutrientes para las plantas y microorganismos. Algunas propiedades químicas del suelo utilizadas como indicadores de calidad son: el contenido de carbono orgánico, conductividad eléctrica, capacidad de adsorción de fosfatos, capacidad de intercambio de cationes, materia orgánica (MO), nitrógeno total y nitrógeno disponible (SQI, 1996). Estas variables pueden variar de localidad a localidad dependiendo del tipo, uso, función y factores de formación del suelo. La identificación efectiva de indicadores apropiados para evaluar la calidad del suelo depende del objetivo, que debe considerar los múltiples componentes de la función del suelo, en particular, el productivo y el ambiental (Singer y Ewing, 2000).

## **1.2 Degradación del suelo**

La degradación de los suelos está relacionada con el régimen climático, las condiciones geomorfológicas y las características intrínsecas de los suelos, pero sobre todo con la deforestación, el establecimiento de sistemas agrarios inapropiados y el impacto que causan las políticas públicas en el medio ambiente. La degradación es entendida como los procesos inducidos por el hombre que disminuyen la capacidad actual y/o futura del suelo para sostener la vida humana (Abraham y Beekman, 2006). Así, la degradación del suelo conlleva cambios adversos en sus propiedades y procesos con el tiempo; esos cambios pueden ser debidos a la remoción y alteración del equilibrio dinámico del suelo con el ambiente a causa de perturbaciones naturales o antrópicas.

Lal (1998), coincide en señalar que la degradación del suelo debe ser vista en términos de los efectos adversos en cuatro funciones principales, entre las que destacan: (i) sostener la producción de biomasa y biodiversidad y (ii) regular la calidad del agua y del aire mediante el filtrado, amortiguación, desintoxicación, y la regulación de ciclos geoquímicos. De esta manera los procesos de degradación

del suelo son fenómenos dinámicos y frecuentemente causantes de los cambios que resultan en la disminución de la calidad del suelo. Oldeman y Van Lynden (1998) señalan que de acuerdo a la metodología adoptada para la Global Assessment of Status of Human – Induced Soil Degradation (GLASOD), existen dos categorías para poder diferenciar los procesos de degradación:

- a) Degradación por erosión y desplazamiento del suelo por el agua o por el viento, ocasionando la pérdida de material del suelo o la deforestación de la tierra, como efectos *in situ*. Se pueden observar efectos como la sedimentación, inundaciones y daños a infraestructura, entre otros.
- b) Degradación resultante de su deterioro interno que involucra procesos que determinan el deterioro *in situ* de las cualidades del suelo; pudiendo ser de naturaleza química (pérdida de nutrientes y MO, salinización, acidificación, contaminación, entre otros), físicos (sellado y encostramiento de la superficie del suelo, compactación, anegamientos, etc.), biológica (alteración en la actividad biológica).

La degradación del suelo debido a la ganadería, se da cuando el número de animales por hectárea excede el coeficiente de agostadero -esto es, la cantidad de animales que el suelo puede soportar de acuerdo a la cantidad de alimento que produce y al agua disponible- (Ramírez, 2011). En altas condiciones de humedad el pastoreo puede provocar un deterioro de tipo estructural en el suelo, ya que la presión que generan los animales bovinos es de hasta 27.84 PSI (Taboada, 2007). Lo anterior reduce la infiltración e incrementa la escorrentía superficial (mayor erosión del suelo), debido a un incremento en la densidad aparente del suelo (Roberto, 2002). Esto coincide con lo reportado por Sánchez *et al.* (1988), quienes indican que a mayor carga animal, la DA se incrementa, llegando a la compactación del suelo. Las condiciones del suelo cambian cuando está próximo a la sequedad debido a que su resistencia es mayor, incrementando la capacidad de soporte que es mayor o igual a 32 PSI (Ellies, 1988). Lo anterior permite, al suelo, soportar la presión ejercida por el ganado y evita su deformación.

### 1.3 Ciclo hidrológico

El proceso por el cual el agua se mueve en forma circular y constante dentro de la atmósfera, impulsada principalmente por la energía del Sol es conocido como “ciclo hidrológico” (Figura 1; Díaz *et al.*, 2006).



**Figura 1.** Ciclo del Agua (USGS, 2010)

El primer contacto del agua con la superficie es por medio de la precipitación. Esta puede caer en el océano, en la vegetación o en el suelo. Si el agua se deposita en el suelo y ésta se mantiene en la zona no saturada (donde los poros del suelo están llenos en buena parte por aire), una parte de esta agua, como en los océanos, se evapora y vuelve a la atmósfera en forma de vapor. Una fracción de esa agua es evapotranspirada (evaporación de agua que queda en la superficie de las plantas, más el agua liberada por las plantas a través de sus estomas), mientras otra se infiltra a través de la superficie del suelo hasta llegar a la zona de saturación (donde los poros del suelo están llenos de agua). Una vez en la atmósfera, el vapor de agua se enfría a medida que se eleva, condensándose en gotas de agua para formar las nubes; cuando una nube está lo suficientemente saturada precipita continuando así el ciclo hidrológico (Chapin III *et al.*, 2006).

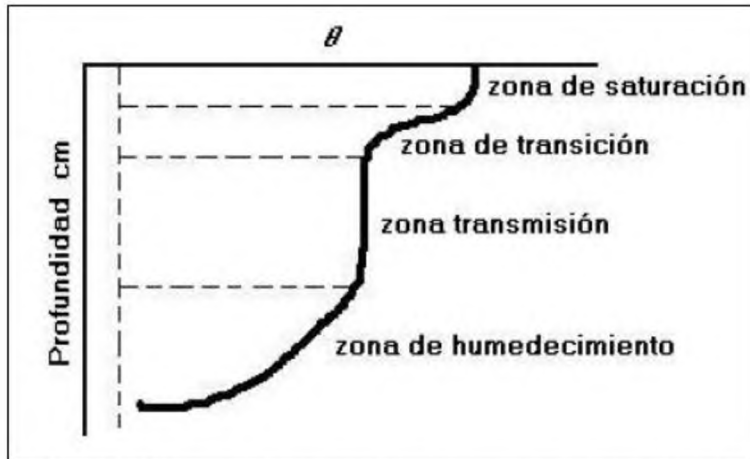
### 1.3.1 Infiltración

El proceso de infiltración de agua ha sido estudiado debido a su importancia en el manejo del agua para la agricultura, la conservación del recurso suelo y otras actividades silvoagropecuarias. La infiltración es uno de los principales procesos del ciclo hidrológico que promueve la recarga de mantos acuíferos. Estos últimos de gran importancia debido a que son la principal fuente de agua dulce para consumo humano. Dicho proceso se define como el movimiento del agua que atraviesa desde superficie del suelo y llega hasta sus capas inferiores (Del Valle, 2014). Su importancia radica en que el agua infiltrada constituye el principal sustento de la vegetación y origen de las aguas subterráneas (Vélez y Vélez, 2002).

La infiltración es controlada tanto por factores abióticos como: características de la lluvia (intensidad y frecuencia de la lluvia, así como del tamaño de las gotas de lluvia), propiedades físicas (porosidad, textura, humedad, etc.) y químicas (contenido de MO del suelo); así como factores bióticos (vegetación). También depende de otras propiedades del suelo como la conductividad hidráulica y temperatura (Chow *et al.*, 1993; Aparicio, 1999).

La velocidad de infiltración se incrementa en forma uniforme en las zonas donde se aplica agua a una determinada superficie (Figura 2), encontrando un punto en el que la velocidad de aporte comienza a exceder la capacidad del suelo para absorber agua. En este punto el exceso de agua se acumula en la zona de saturación provocando su escorrentía, cuya dimensión dependerá de la cantidad de lluvia y de las condiciones de la pendiente (Minasny y George, 2006).





**Figura 2.** Perfil de humedad en el proceso de infiltración (Pizarro *et al.*, 2002).

Una vez conociendo los factores que afectan la infiltración en el suelo, el siguiente paso será conocer los métodos o las fórmulas matemáticas que permitirán en términos cuantitativos, saber la cantidad de agua infiltrada en un suelo determinado. Para esto se maneja un concepto llamado “infiltración acumulada” que es la integración en el tiempo de la velocidad de infiltración, con una dependencia curvilínea del tiempo y una pendiente que decrece gradualmente (Gurovich, 1985).

El proceso de infiltración se ha conceptualizado mediante ecuaciones como la de Horton; que mide la velocidad de infiltración y la ecuación de Philip que permite estimar la infiltración acumulada. Sin embargo, Kostiakov (1932), fue el primero que propuso el uso de una ecuación empírica, para la velocidad de infiltración expresada normalmente en unidades de longitud por unidad de tiempo (Marano *et al.*, 2002).

La relación matemática que existe entre la velocidad de infiltración y el tiempo está representada por una función exponencial inversa. También, cada cambio en las características del suelo provocará instantáneamente un comportamiento singular del proceso de infiltración, que se verá reflejado en una gráfica de estas variables (Pizarro *et al.*, 2002).

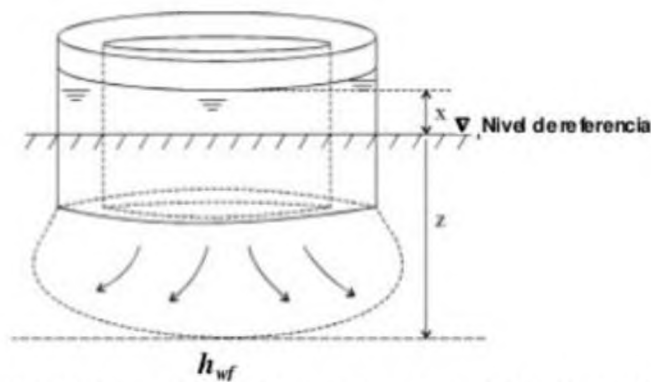
Durante un ensayo de infiltración, ésta disminuye en el tiempo hasta un valor constantemente controlado por la Conductividad hidráulica saturada (Chs) de campo (Gómez, 2008). La Chs es una propiedad física del suelo, que controla el proceso de infiltración y redistribución de agua dentro del suelo. Esto se da por medio de la transmisión de agua a través de sus macroporos, los cuales bajo condiciones de saturación permiten un mayor flujo del agua dentro del suelo, debido a que no existe la presencia de aire en dichos espacios. En suelos insaturados, ocurre lo contrario, los macroporos están llenos de aire, obstruyendo el paso de agua y por lo tanto teniendo tasas de infiltración más bajas (Alexander *et al.*, 2011; Polo, 2003).

La Chs dependerá del tamaño, número, distribución y continuidad de los poros (Reichardt y Timm, 2004). Por lo tanto se tiene relación cuantitativa entre la Chs y el volumen de agua presente en el suelo. Si se tienen partículas grandes como las arenas, la Chs será más rápida debido al gran tamaño de los poros, en comparación con los suelos con altos contenidos de arcilla donde las partículas son más finas reduciendo el tamaño de sus poros y por lo tanto la Chs será más lenta (Donald *et al.*, s/f).

La Chs puede ser medida en el laboratorio o en campo. En el laboratorio la determinación de Chs se realiza en muestras cilíndricas no alteradas, mediante el uso de un permeámetro de carga constante o de carga variable. En campo hay dos condiciones para medir la Chs; en condiciones saturadas (por debajo del nivel freático) y no saturadas. En cualquiera de los dos casos, la Chs se calcula con la ecuación de Darcy, la cual establece que la cantidad de agua que pasa a través de una unidad transversal del suelo en una unidad de tiempo es proporcional al gradiente de carga hidráulica (Donald, s/f).

### 1.3.2. Pruebas de infiltración

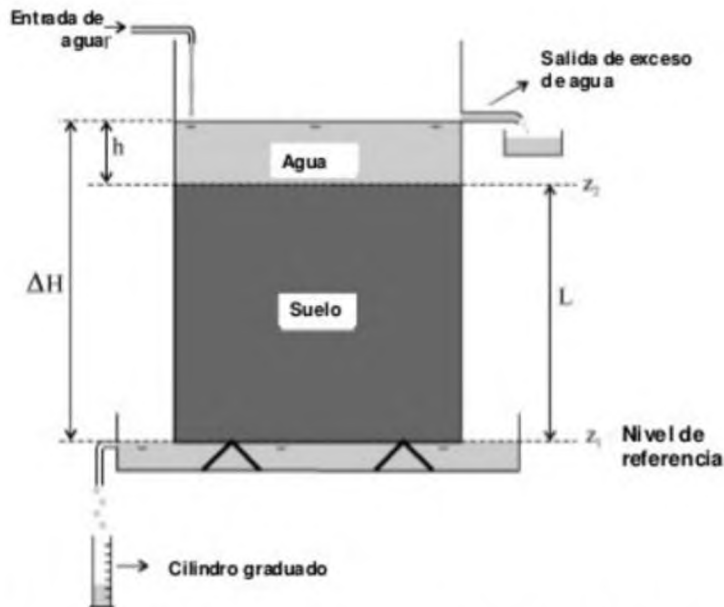
Debido al diferente comportamiento de las pruebas de infiltración en campo y laboratorio, no siempre es evidente cuál de las pruebas de estimación de los valores de infiltración es el mejor. Bajo este supuesto, se presentan tres de las pruebas más utilizadas para determinar tasas de infiltración, estas corresponden a pruebas aspersion, inundación e hidráulicos (Fetter, 2001). Las pruebas de aspersion son aquellas donde el agua es aplicada sobre el suelo simulando un evento de lluvia. Las pruebas de inundación son aquellas donde el agua es agregada inundando el suelo y registrando la velocidad de ingreso del agua, ejemplo de ello es el infiltrometro de doble anillo. Consiste de dos cilindros de diferente diámetro, que permiten determinar la tasa de infiltración y la conductibilidad hidráulica saturada del suelo (Figura 3, Reynolds *et al.*, 2002). El cilindro exterior evita que el flujo lateral afecte la columna de agua formada por el anillo central. El objetivo de esta prueba es llegar a obtener valores de conductibilidad hidráulica saturada, donde los poros del suelo están llenos de agua, permitiendo el libre movimiento de esta última en el interior del suelo.



**Figura 3.** Infiltrómetro doble anillo (Reynolds *et al.*, 2002).

Como ya se mencionó anteriormente unos de los métodos que permiten obtener la Chs del suelo en laboratorio, es por medio de un dispositivo denominado permeámetro de carga constante (Figura 4). Este dispositivo permite analizar el suelo de dos formas. La primera es trabajar con una muestra de suelo, la cual es depositada dentro de la cámara del permeámetro y la segunda considera el uso de muestras inalteradas que son recolectadas en campo (Ooterbaan y Nijland, 1994; Fetter, 2001).

El proceso de medición del flujo de agua a través del permeámetro consiste en que (Figura 4), dentro de una cámara llamada “cámara de carga”, se suministre agua a una carga constante sobre una muestra del suelo hasta llegar a un estado de saturación; lo mismo ocurre con el infiltrómetro de doble anillo, donde todos los poros del suelo se llenan de agua facilitando el movimiento del agua dentro del suelo. Posteriormente se mide el caudal de salida desde el permeámetro, así como la diferencia de carga entre la cámara de nivel constante y el nivel de agua en la salida (Barbecho y Ortiz, 2012).



**Figura 4.** Permeámetro de carga constante (Hartmann, 2000). Dónde:  $K$ =conductibilidad hidráulica saturada (cm/h),  $h$ = carga de agua que se mantiene constante por encima del nivel superior del cilindro del suelo (cm),  $L$ = altura del cilindro del suelo (cm),  $\Delta t$ = tiempo transcurrido desde que comenzó a recogerse el agua percolada hasta la medición final del volumen,  $V$ = volumen de agua recogido en el cilindro graduado,  $A$ = área de la sección circular horizontal del cilindro (cm<sup>2</sup>).

La prueba inicial seleccionada para ésta investigación fue utilizar el infiltrometro de doble anillo, debido a que es una herramienta de las más utilizadas para la medición de la infiltración. Sin embargo, no fue posible llevar a cabo dicho procedimiento, debido a un adelanto en la temporada de lluvias en la zona de estudio. Sin embargo, para cubrir la parte de los datos de infiltración de este trabajo se optó por la colecta de muestras de suelo inalteradas en las que fue medida la conductibilidad hidráulica saturada, mediante el método del permeámetro de carga constante. Cabe resaltar que las condiciones iniciales del suelo para las dos pruebas antes mencionadas son distintas, por un lado la prueba de doble anillo, que nos permite conocer las tasas de infiltración, se realiza *in situ* donde algunos de los poros del suelo contiene aire en su interior por lo que su condición es parcialmente saturada o no saturada, esto depende del tipo de suelo a analizar, lo cual lleva más tiempo llegar a la saturación del suelo. Mientras que las pruebas de Chs parten desde una condición inicial de saturación del suelo donde los poros del suelo se encuentran llenos de agua, teniendo tiempos de prueba más rápidos. Dicho esto, el cambio del método se justifica, debido a que

con los dos anillos, la infiltración en un determinado tiempo, llega a un estado de saturación igualando la  $C_h$ , la cual el permeámetro de carga constante también nos permite obtener del suelo.

## **Capítulo 2. Marco legal**

En el presente capítulo se plasman por escrito las leyes y artículos que competen para el ámbito del manejo, conservación y preservaciones del medio ambiente para cada uno de los tres niveles de gobierno (Federal, Estatal y Municipal) en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. Del total de artículos que contempla en cada una de las leyes que rigen al Estado Mexicano, sólo se muestran los que tienen un impacto directo con el uso correcto del suelo y que cualquier actividad como la exploración, explotación o aprovechamiento de recursos que deberán estar sujetas al Programa de Manejo del Área.

### **2.1 Nivel Federal**

#### **Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos**

##### **Artículo 27**

La propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponde originariamente a la nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada (DOF, 2015a. p.27)

### **2.2 Nivel Estatal**

#### **Ley Estatal del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente**

**Artículo 9.** Para la formulación y conducción de la política ambiental, y demás instrumentos previstos en esta ley, en materia de preservación y restauración del equilibrio ecológico y protección al ambiente. (LEEEPA, 2015. p.23)

**Artículo 10.** Para cumplir con los objetivos de la conservación permanente del equilibrio de los ecosistemas, se observarán estrategias generales en la planeación del desarrollo del Estado, de conformidad con esta ley y las demás disposiciones aplicables. (LEEEPA, 2015. p.24)

## **Ley de Protección al Ambiente del Estado de México**

**Artículo 11.** Las personas físicas o morales que pretendan realizar obras o actividades que pudieran causar una alteración significativa en el ambiente y que estén señaladas en el Reglamento respectivo, están obligadas a la presentación de una manifestación de impacto ambiental y sujeto al procedimiento previo a la realización de dichas obras o actividades. (LPAEM, 2015. p 20)

**Artículo 15.** Los Criterios y Normas Técnicas Ambientales, determinarán los requisitos y los límites permitidos para asegurar la protección al ambiente y la conservación y aprovechamiento racional de los elementos naturales. (LPAEM, 2015. p 20)

**Artículo 22.** Las personas físicas o morales que realicen actividades agropecuarias aplicarán medidas de conservación, protección, restauración y recuperación de los suelos y del ambiente. (LPAEM, 2015. p 20)

**Artículo 33.** La autorización para exploración, explotación o aprovechamiento de recursos en Áreas Naturales Protegidas Estatales y Municipales o la realización de obras en ellas, estarán sujetas al Programa de Manejo del Área, aprobadas por la autoridad competente, conjuntamente con las dependencias respectivas y en su caso, con los Ayuntamientos correspondientes. (LPAEM, 2015. p 20).



## **Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente**

**Artículo 28.** La evaluación del impacto ambiental es el procedimiento a través del cual la Secretaría establece las condiciones a que se sujetará la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el medio ambiente. (LGEEPA, 2015. p. 23)

### **2.3 Nivel Municipal**

#### **Bando Municipal y Plan de Desarrollo Municipal de Zinacantepec**

**Artículo 174.** Se consideran de orden público e interés social la protección, conservación, restauración y preservación del equilibrio ecológico, del medio ambiente y desarrollo forestal, así como la prevención, supervisión, corrección y control de aquellas actividades que deterioran el entorno ambiental (Bando Municipal Zinacantepec, 2016).

#### **Programa de manejo para el APFFNT**

Para poder caracterizar la zona de estudio de este trabajo en el sentido de qué es lo que se permite hacer y bajo qué circunstancias se pueden realizar, es necesario conocer la estructura del programa de manejo para el APFFNT. La operación, manejo y administración del APFFNT, está encaminada a establecer un sistema de administración que permita alcanzar los objetivos de conservación y manejo de los ecosistemas para ello la instrumentación se realizó en los siguientes subprogramas, los cuales contienen una serie de actividades que se recomienda hacer para poder lograr sus objetivos. Para intereses de este trabajo solo se desglosan los subprogramas de mayor relevancia (Programa de manejo APFFNT, 2014).

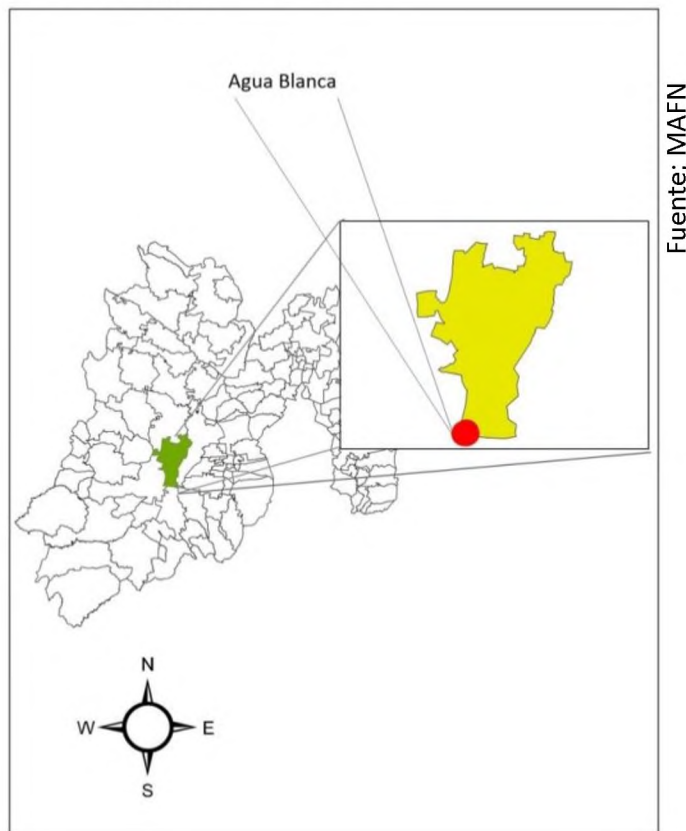
- **Protección:** favorecer la conservación de la flora, fauna y todos los recursos naturales.
- **Manejo:** aprovechar los recursos naturales por parte de las comunidades involucradas, a través de la conservación, restauración y protección.
- **Restauración:** recuperar y conservar las condiciones naturales del ecosistema.
- **Conocimiento:** impulsar el uso de las tecnologías tradicionales que permitan la conservación y aprovechamiento de los recursos naturales.
- **Cultura:** generar valores con sentido ecológico o de futuro entre la población para preservar o cuidar los recursos naturales
- **Gestión:** generar valores con sentido ecológico entre la población para preservar o cuidar los recursos naturales.

Realizando un análisis de cada uno de los programas en cuanto a las actividades que se pueden realizar dentro del APFFNT y de acuerdo con la ubicación geográfica que tiene el ejido de Agua Blanca, dentro del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca, se concluyó que se encuentra establecido en la Subzona de Aprovechamiento Sustentable de los Ecosistemas, en donde las actividades pecuarias deben de tener una baja intensidad por lo que se permiten las actividades silvopastoriles. Sin embargo, no se estipula de manera específica las políticas que dicte cómo llevar a cabo las actividades silvopastoriles en esta zona. Por lo que es necesario realizar un plan de manejo que brinde a los pobladores el conocimiento y las herramientas para poder lograr un aprovechamiento sustentable de los recursos.

## Capítulo 3. Materiales y Métodos

### 3.1 Área de estudio

El ejido de Agua Blanca se encuentra ubicado en Santa María del Monte, Municipio de Zinacantepec en el Estado de México (Figura 5). El ejido se encuentra entre los 19°04'42" de latitud norte y 99°50'26" longitud oeste a 3,183 metros de altura sobre el nivel del mar. Este ejido se sitúa en el Área de Protección de Flora y Fauna "Nevado de Toluca" la cual se encuentra en una región que constituye la división de las cuencas hidrográficas del Lerma y la del Balsas que por su extensión contribuye de manera considerable a la alimentación dichos ríos, formación de manantiales y lagunas de los valles del centro de México, sosteniendo su régimen hidráulico.



**Figura 5.** Ubicación geográfica de la zona de estudio (Elaboración propia).

### 3.3 Edafología y Uso de suelo

En cuanto al tipo de suelo en el ejido de Agua Blanca, predomina el andosol, cuyo origen se deriva de cenizas volcánicas con un pH ácido que permite una alta capacidad de intercambio catiónico y una baja saturación de bases, lo que facilita la retención de agua, por lo tanto, una gran cantidad de MO. Dentro del ejido se pueden diferenciar dos usos de suelo predominantes (Figura 6), estos son el bosque caducifolio de pino y oyamel, así como de pastizal inducido (Guerrero y González, 2008).

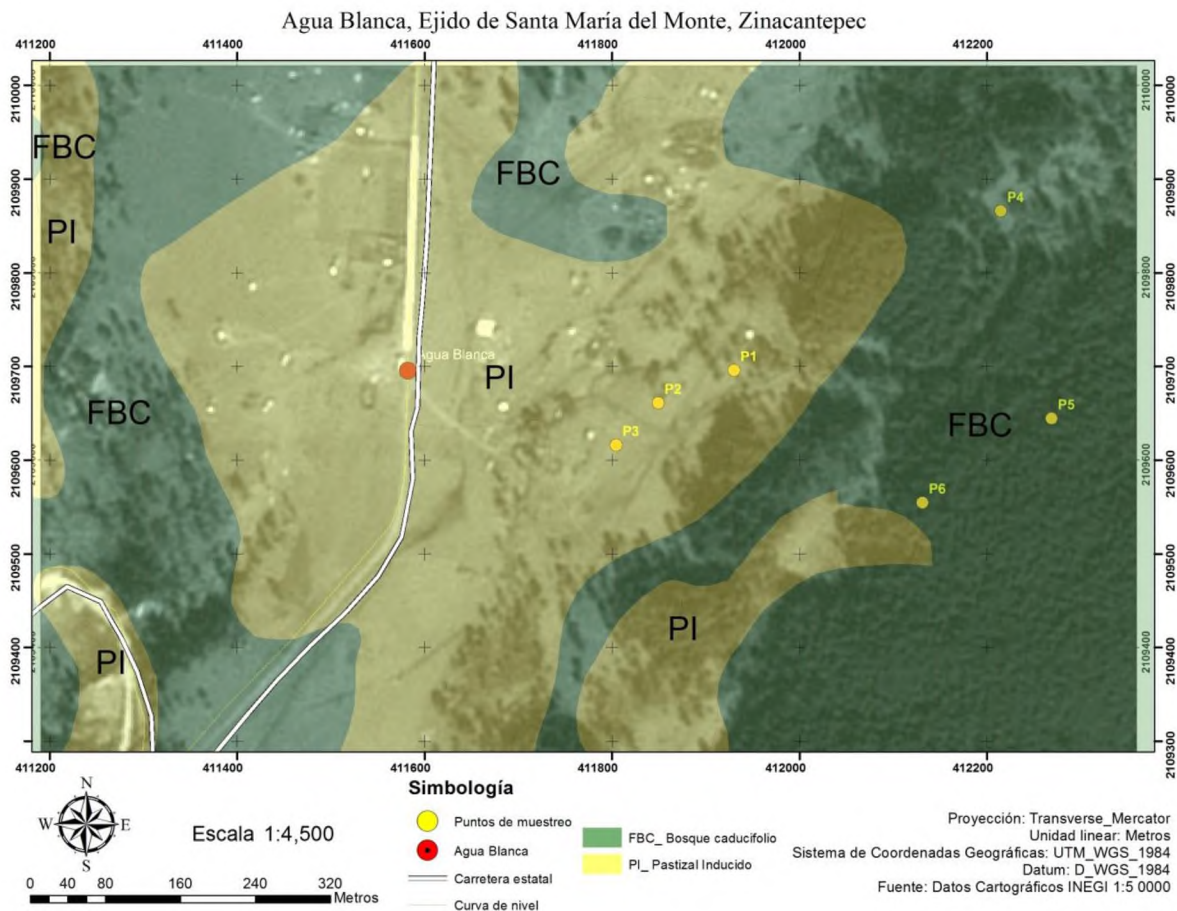


Figura 6. Uso de suelo Ejido de Agua Blanca, Zinacantepec.

### 3.4 Prácticas manejo ganaderas

El uso de suelo actual que predomina en el ejido de Agua Blanca es de pastizal inducido (PI). De acuerdo con Cemda-Cespedes (2002), el PI es provocado por el desmonte de zonas boscosas y matorrales para la apertura de áreas para la ganadería o agricultura, dejando sólo la cobertura vegetal como herbácea, principalmente gramínea, sobre la superficie del suelo. Esta condición de PI, se ha mantenido por más de 40 años, de acuerdo con la carta de uso de suelo del Nevado de Toluca E14 A47, siendo aprovechado por los productores de ganado ovino (Figura 7). Solís (2015), menciona que tales productores tienen en promedio 20 años pastoreando, con una duración aproximada de 5 horas por día. La superficie promedio utilizada para el pastoreo es de 30 hectáreas aproximadamente, ocupando llanos, terrenos baldíos, claros y alrededores del bosque.



Fuente: MAFN

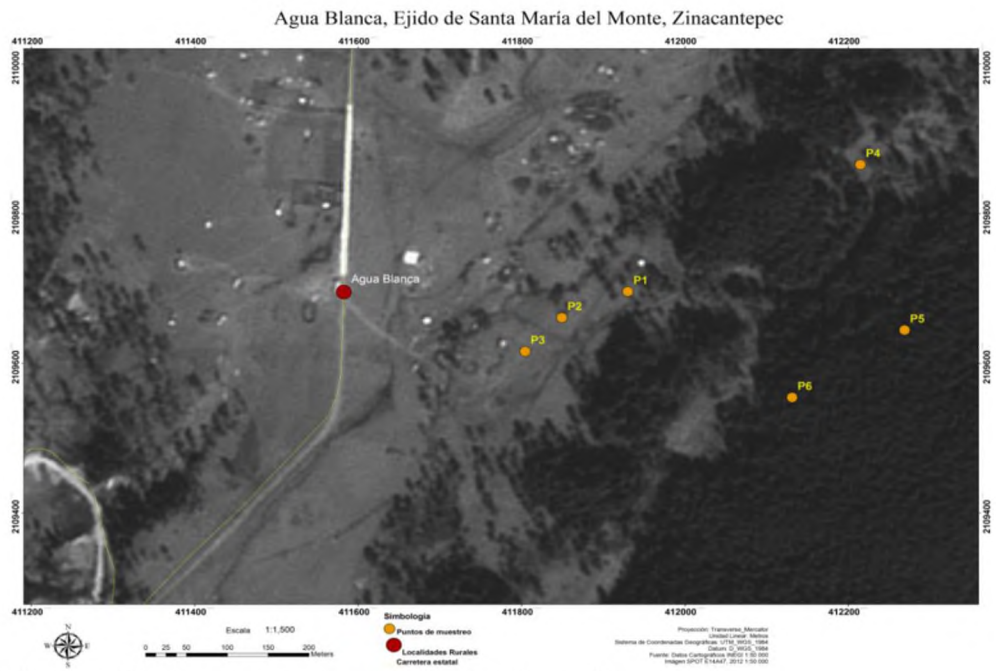
**Figura 7.** Pastoreo dentro del ejido Agua Blanca.

### **3.5 Aspectos socio económicos generales**

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2010 (INEGI, 2010), el ejido de Agua Blanca cuenta con una población de 113 habitantes de los cuales 59 son población masculina y 54 población femenina. En cuanto a la población económicamente activa (PEA), se reporta que de los 113 habitantes sólo 35 tienen una ocupación que les permite recibir ingresos. Las actividades productivas se hallan en el sector primario, no hay actividad agrícola y las principales ocupaciones son el pastoreo de ovinos y bovinos, teniendo en promedio de 2 a 57 ovinos por habitante. La extracción de productos del bosque y el empleo en el sector secundario son otras formas de obtener ingresos.

### **3.6 Definición del tipo de muestreo**

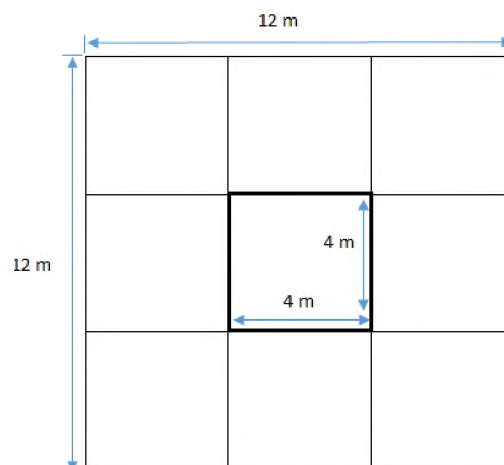
Mediante recorridos de campo, las parcelas de muestreo tanto para el uso de suelo pecuario como forestal, fueron seleccionadas cualitativamente de acuerdo a las condiciones de la zona, donde se buscó la homogeneidad de la vegetación presente en la superficie del suelo y donde la pendiente del suelo nos permitiera realizar las pruebas de infiltración, y cubriendo un mínimo de tres sitios (repeticiones) para uso de suelo evaluado. Dichos sitios se ubicaron separados por la estratificación resultante del cambio de uso de suelo. En base a esta selección se encontraron 6 sitios con homogeneidad tanto en la cobertura vegetal como con la pendiente, delimitando tres sitios con uso de suelo pecuario y tres de uso forestal (Figura 8).



Fuente:MAFN

**Figura 8.** Ubicación puntos de muestreo (elaboración propia).

En estos sitios se establecieron parcelas de 12 m x 12 m. Cada parcela fue delimitada en sus vértices con estacas de madera, estableciendo una malla de cuadros de 4 m x 4 m al interior de cada parcela, para posteriormente tomar las muestras de suelo a diferente profundidad en cada uno de los 9 cuadros resultantes para cada parcela (Figura 9).



**Figura 9.** Características de las parcelas establecidas en cada uso de suelo (Elaboración propia).

### **3.7 Colecta de muestras de suelo**

El muestreo de suelo se realizó en marzo de 2015. Se colectaron un total de 54 muestras de suelo (27 para cada uso de suelo) bajo dos profundidades (0-5 cm y de 5-25 cm) teniendo un total de 108 muestras. Ambas profundidades nos permitieron evaluar el impacto directo del pisoteo del animal en las propiedades fisicoquímicas del suelo así como en el proceso de infiltración. Las muestras fueron colectadas con la ayuda de una barrena cilíndrica de 5 cm de diámetro. La colecta se realizó eliminando previamente la capa orgánica de la superficie del suelo. Cada muestra fue colectada en bolsas de plástico debidamente etiquetadas para su traslado al laboratorio del Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR) de la Universidad Autónoma del Estado de México para su posterior procesamiento.



### 3.8 Determinación de propiedades físicas y químicas del suelo

Las muestras de suelo fueron pesadas y puestas a secar a temperatura ambiente sobre papel de estraza. Una vez secas, estas muestras fueron tamizadas con una malla de 2 mm de diámetro, separando las fracciones menores y mayores a 2 mm, incluyendo rocas y raíces.

#### 3.8.1 Pruebas físicas

**Densidad aparente.** Esta variable se determinó mediante el método del cilindro (Burke *et al.*, 1986). Cada una de las muestras se secó a una temperatura de 105°C por 48 horas, se pesó y se registró el peso final de la muestra. Finalmente la densidad aparente se estimó mediante la fórmula:  $D_a = \text{Peso del suelo seco (g)} / \text{Volumen del suelo (cm}^3\text{)}$  (Burke *et al.*, 1986).

**Humedad.** Una vez tamizadas las muestras, la humedad fue determinada por el método gravimétrico, colocando una submuestra de suelo a secar durante 48 horas a 105 °C (Robertson *et al.*, 1999; Etchevers *et al.*, 2005), el contenido de humedad se calculó con base al peso húmedo, mediante la siguiente fórmula:

$$H(\%) = \frac{P_{sh} - P_{ss}}{P_{sh}} \times 100$$

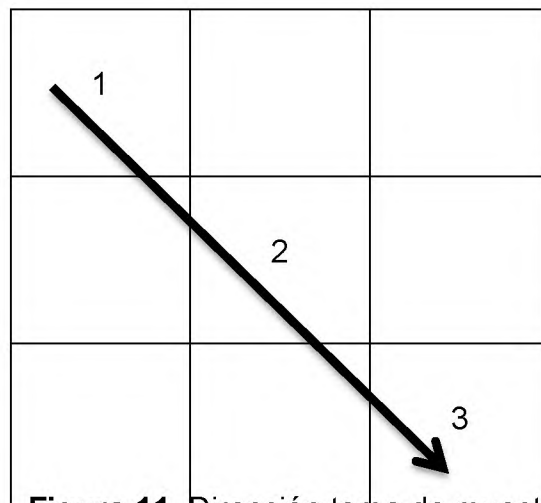
Dónde:  $P_{sh}$ , es el peso de suelo húmedo (g)

$P_{ss}$  es el peso de suelo seco (g en estufa a 105 °C)

**Textura.** La estimación de textura del suelo en los sitios de estudio se realizó por el método del hidrómetro de Bouyoucos (Pulido y Del Valle, 2001).

**Compactación.** Para evaluar esta variable, se utilizó como medida la resistencia a la penetración, obtenida mediante el empleo de un penetrómetro portátil Turf-Tec Soil Compaction Tester. Este penetrómetro fue utilizado para determinar el índice de cono similar al empleado por Vázquez *et al.* (2011), registrando la presión aplicada en PSI (libras por pulgada cuadrada), a dos profundidades (0-5 cm y 5-25 cm).

La variable infiltración fue medida aquí como conductividad hidráulica, debido a que cuando la infiltración llega a un estado de equilibrio también llamado “saturación del suelo” se iguala con la Ch. Para evaluar esta variable, se colectaron un total de 18 muestras de suelo, nueve para cada uso de suelo (pecuario y forestal). Esto se llevó a cabo en cada una de las parcelas a una profundidad de 15 cm con la ayuda de cilindros de PVC. Las muestras se colectaron, eliminando previamente la capa orgánica de la superficie del suelo. La dirección para la toma de muestras de suelo se realizó en forma diagonal, comenzando desde la esquina superior izquierda y terminando en la esquina inferior derecha (Figura 10), con el objetivo de cubrir el mayor espacio posible dentro de cada parcela.



**Figura 11.** Dirección toma de muestras infiltración

**Figura 10.** Dirección de la toma de muestras infiltración.

Cada muestra fue empacada en bolsas de plástico debidamente etiquetadas para su traslado al laboratorio de Física de suelos del Colegio de postgraduados (COLPOS). Dicho análisis fue pagado por el proyecto UAEM 3770/2014/CID.

### **3.8.2 Pruebas químicas**

**pH.** Esta variable fue determinada por el método del potenciómetro en una suspensión con relación agua-suelo 1:2 (Sadzawka *et al.*, 2007).

**Materia orgánica.** Para determinar el contenido de MO del suelo se utilizó el método de Walkley y Black (Nelson y Sommers, 1996).

### **3.9 Integración base de datos**

A partir de los datos obtenidos en campo y los análisis fisicoquímicos de las muestras de suelo tratadas en laboratorio, se diseñó una base de datos en hojas de cálculo de Excel. Dicha hoja de cálculo contiene los resultados obtenidos para cada una de las variables antes mencionadas para cada una de las 108 muestras de suelo colectadas. Tales muestras fueron agrupadas de acuerdo al uso de suelo y la profundidad en que fueron tomadas las muestras (0-5cm y 5-25 cm). Las variables de estudio analizadas fueron: densidad aparente, contenido de humedad, compactación, MO, pH e infiltración.

### **3.10 Análisis estadístico**

Los datos obtenidos fueron analizados bajo un estudio de estadística descriptiva, siendo la media y la desviación estándar la medida de tendencia central y dispersión utilizadas. Para identificar diferencias entre uso de suelo y profundidad para cada una de las variables analizadas se aplicó una prueba *t-student* para muestras independientes. Para determinar solo la relación entre la infiltración con respecto a las propiedades fisicoquímicas del suelo, se utilizó un análisis de correlación simple de variables, utilizando como factor principal la infiltración. Todas las pruebas fueron realizadas con un nivel de confianza de 95%, donde las diferencias fueron consideradas significativas a  $p \leq 0.05$ . Por lo que las variables debajo o iguales a 0.05 están altamente correlacionadas, ya sea positiva o negativamente. Todos los análisis se realizaron dentro del programa estadístico IBM SPSS 22.

## Resultados y Discusión

### Propiedades fisicoquímicas del suelo bajo dos distintos usos

Las pruebas físicas del suelo evaluadas en el presente trabajo (DA, % humedad y compactación), fueron distintamente afectada por el uso de suelo. La DA presento diferencias significativas entre los dos usos de suelo en ambas profundidades (Tabla 1), siendo mayor la DA en el uso de suelo pecuario. El pastoreo provoca el aumento en la DA del suelo, debido al pisoteo generado por parte del animal, generando la compactación, es decir, pérdida de espacio poroso de un suelo, en los cuales existe la presencia de agua y aire (Lozano *et al.*, 2005). Lo anterior es confirmado por los datos de compactación de esta investigación, a pesar de que no hubo diferencias significativas entre profundidades y uso de suelo, la resistencia a la penetración fue mayor en el uso de suelo pecuario en los primeros 5 cm, en comparación con el uso de suelo forestal. Ellies (1988), nos menciona que la presión ejercida por parte del animal puede llegar hasta los 28 PSI, y que el suelo soporta una presión de hasta 32 PSI (Taboada, 2007). De acuerdo a lo descrito anteriormente, se tiene el conocimiento de que en este ejido la actividad pecuaria se ha estado llevando a cabo por más de 30 años. Por lo que en base a la hipótesis planteada, se cumple para estas variables (DA y compactación), debido a que si hay un impacto negativo del uso de suelo sobre las propiedades físicas analizadas. Con respecto al % de humedad, ésta no mostro diferencias significativas entre los dos usos de suelo, ni entre profundidades de un mismo uso de suelo (Tabla 1).

**Tabla 1.** Características del suelo bajo diferentes usos y profundidades en el Ejido de Agua Blanca. Para cada variable se reporta la media ( $\pm$  Desviación estándar).

<b>Variables de estudio</b>	<b>Profundidad (cm)</b>	<b>Pecuario</b>	<b>Forestal</b>	<b>probabilidad</b>
Densidad Aparente (kg/m <sup>3</sup> )	0-5	1.1 ( $\pm 0.2$ ) <sup>a</sup>	0.8 ( $\pm 0.2$ ) <sup>b</sup>	<b>p=0.000</b>
	5-25	1.0 ( $\pm 0.1$ ) <sup>a</sup>	0.8 ( $\pm 0.2$ ) <sup>b</sup>	<b>p=0.000</b>
Humedad (%)	0-5	9.9 ( $\pm 1.3$ )	9.8 ( $\pm 1.0$ )	p=0.745
	5-25	8.9 ( $\pm 1.9$ )	9.0 ( $\pm 1.0$ )	p=0.792
Compactación (PSI)	0-5	258.0 ( $\pm 42$ )	225.0 ( $\pm 20$ )	p=0.092
	5-25	211.5 ( $\pm 25.8$ )	189.3 ( $\pm 26.4$ )	p=0.124
pH	0-5	5.8 ( $\pm 0.4$ ) <sup>a</sup>	5.3 ( $\pm 0.2$ ) <sup>b</sup>	<b>P=0.000</b>
	5-25	6.0 ( $\pm 0.4$ ) <sup>a</sup>	5.3 ( $\pm 0.2$ ) <sup>b</sup>	<b>p=0.000</b>
Materia orgánica (%)	0-5	26.7 ( $\pm 4.7$ ) <sup>b</sup>	30.8 ( $\pm 4.9$ ) <sup>a</sup>	<b>p=0.003</b>
	5-25	19.6 ( $\pm 3.7$ )	21.3 ( $\pm 3.1$ )	p=0.073

Literales diferentes en la misma fila indican diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ )

Con lo que respecta a las pruebas químicas del suelo (pH y % MO) mostraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ). El porcentaje de MO en una profundidad de 0-5 cm presentó una diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ), siendo más alto en el uso de suelo forestal con respecto al pecuario. Esto se debe a que en las zonas forestales existe un mayor aporte de materia vegetal hacia el suelo concentrándose en los primeros centímetros del suelo, suficiente para modificar algunas propiedades edáficas (Gallardo, 1980).

Una de las propiedades que está estrechamente ligada con la MO es la DA (Tejada y González, 2008). En la tabla 1, se observa que existe una relación inversa en el contenido de MO y la DA, al incrementarse el contenido de MO, la DA disminuye. Esto es corroborado por Martínez *et al.* (2008), quien menciona que al aumentar los contenidos de MO, aumenta la cantidad de poros de mayor tamaño por lo tanto disminuyen los valores de DA lo cual favorece a que haya una mayor humedad en el suelo así como un aumento de la infiltración. Los porcentajes de MO para suelos forestales de este trabajo (Tabla 1), concuerdan con lo reportado por Gallardo *et al.* (1980), quien en suelos forestales obtuvo valores de DA que varían entre 0.83 y 1.06 g cm<sup>-3</sup>, considerándolos en un rango de bajos a normales para suelos forestales. La relación entre MO y DA son corroborados en la tabla 2, donde se realizó una correlación entre las propiedades físicas del suelo, teniendo una correlación entre la MO y la DA, esto trae como consecuencia una mejora en el proceso de infiltración lo que concuerda con Kay y VandenBygaart (2002). El valor promedio del contenido de MO de este trabajo (19.60 y 30.77 g MOS 100g<sup>-1</sup> de suelo) es similar a lo descrito por Rodríguez (1993), donde los valores fueron (13.70 y 31.24 g MOS 100 g<sup>-1</sup> de suelo) algo característico en los andosoles. Por otro lado, la MO también permite que el suelo mantenga su integridad funcional, ya que actúa como un elemento amortiguador soportando la presión ejercida por el pisoteo del animal, permitiendo la recuperación del suelo (Dörner *et al.*, 2009b)

Tabla 2. Correlación de las características fisicoquímicas del suelo y la infiltración.

		Infiltración	Humedad	MO	pH	Compactación	DA
Infiltración	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	1  18					
Humedad	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	-0.007 .977 18	1  18				
Materia orgánica	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	-0.042 .868 18	.432 .074 18	1  18			
pH	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	-0.279 .263 18	.202 .422 18	-0.554* .017 18	1  18		
Compactación	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	-0.042 .869 18	.066 .796 18	-0.128 .612 18	.282 .257 18	1  18	
DA	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	-0.163 .518 18	-0.499* .035 18	<b>-0.770**</b> <b>.000</b> <b>18</b>	.358 .144 18	.337 .172 18	1  18

\*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

\*\*.. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

Por lo que se concluye que en cuanto a la diferencia entre lo soportado por parte del suelo y los valores encontrados en el estudio, durante la temporada primavera-verano, que fueron los meses cuando se realizó el muestreo, el suelo fue capaz de soportar el pisoteo del animal, ya que no se identificaron zonas de perturbación por parte de esta acción mecánica de la pezuña del animal, la cual causa la pulverización de los agregados del suelo.

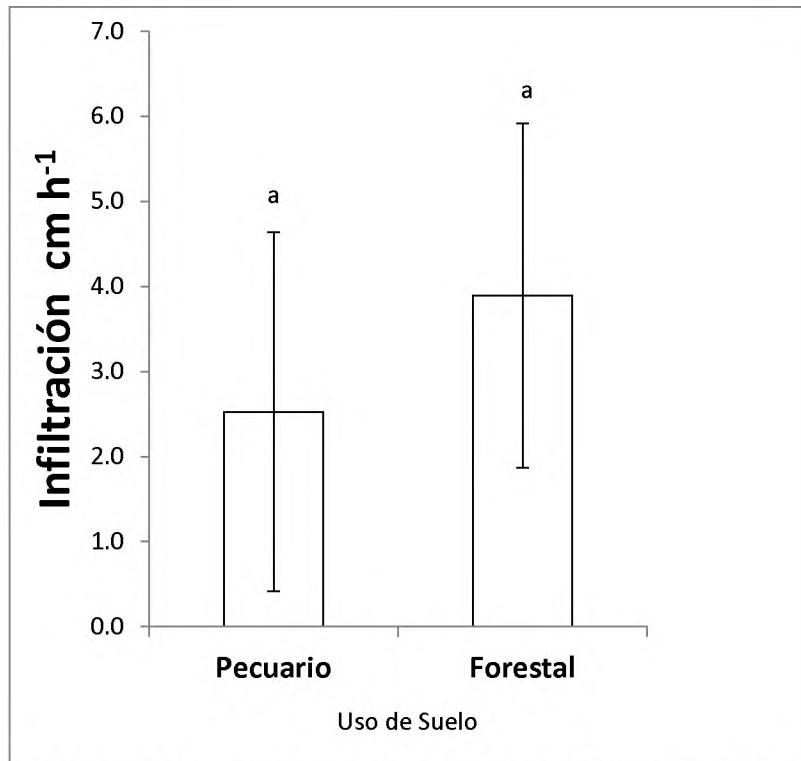
Al mantener altos contenidos de MO y por lo tanto altos porcentajes de humedad los suelos tienden a acidificarse (FAO, s/f). Los valores de pH del suelo presentaron diferencia significativa ( $p \leq 0.001$ ) entre profundidades y entre uso de suelo (pecuario y forestal). Resultando los suelos forestales con mayor acidez con respecto al pecuario (Tabla 1), a pesar de que en estos suelos (pecuarios) el aporte de los animales por medio de las heces tiene gran influencia en el pH del



suelo no se vio reflejado en este trabajo. Los valores encontrados en este trabajo (Tabla 1) son entre 2 y 5 décimas por encima de lo descrito por Rodríguez (1993), quién señala que suelos Andosoles presentan valores promedio de pH al agua de 5.1 a 5.5. Esto se explica a que debido a la actividad sucesiva de descomposición de la materia orgánica en suelos forestales, ésta se convierte en humus la cual a su vez se compone de ácidos húmicos y fúlvicos otorgándole esa acidez al suelo (FAO, 2009). Una mayor acidez en el suelo permite tener una alta capacidad de Intercambio catiónico y una baja saturación de bases lo que favorece a la retención de agua y nutrientes en el suelo para el desarrollo de la vegetación (Vilchis, 2006).

### **Relación entre las propiedades fisicoquímicas del suelo y la infiltración**

Con lo que respecta a los resultados de la infiltración se realizó una correlación para conocer con cuál de las variables analizadas (DA, humedad, compactación, pH y MO) tenía una incidencia significativa. Sin embargo, se observa que no hay una incidencia significativa, por lo que la infiltración no está en función de ninguna de las propiedades analizadas bajo la metodología empleada en el presente trabajo, y el análisis estadístico realizado (Tabla 2). Sin embargo, a pesar de que no se presentó una correlación estadística en cuanto a las propiedades edáficas del suelo y el proceso de infiltración, se puede observar que existen tendencias en cuanto a la infiltración en suelos pecuarios con respecto a los forestales. Los suelos forestales presentaron mayores valores de MO, por lo tanto se respeta la condición de que se tuvo mayor infiltración en este suelo con respecto al pecuario (Figura 12), siendo esto último, lo que se esperaba encontrar en base a la hipótesis planteada en este trabajo, por lo que en base a esto se cumple dicha hipótesis, debido a que si hay un impacto negativo entre el uso de suelo y el proceso de infiltración en esta zona de estudio. Los resultados de este trabajo son similares a lo reportado por Ingelmo y Cuadrado (1986), donde los valores de infiltración hallados en sitios forestales fueron de  $2.6 \text{ cm h}^{-1}$  siendo el más bajo y  $6.1 \text{ cm h}^{-1}$  considerado como alto.



**Figura 11.** Infiltración bajo dos usos de suelo a una profundidad de 25 cm.

Por lo que respecta al proceso de infiltración, los resultados del análisis de textura, los cuales nos arrojó que la clase textural para estos suelos es **arenosa-franca**, y que de acuerdo a la FAO (2009), el índice de infiltración para esta textura es “relativamente lenta” a “moderada”, teniendo valores que van desde los 0.5 hasta los 6.5 cm h<sup>-1</sup>, y que concuerda con los valores encontrados en este trabajo los cuales fueron (0.6 hasta 6.5 cm h<sup>-1</sup>), lo cual se concluye que la calidad del suelo para infiltrar es agua es buena, esto concuerda con el estudio realizado de Loyola-Gómez *et al.* (2015), donde los tipos de suelo Andosol tuvieron índices de infiltración “moderados”.

## **Conclusiones.**

La actividad pecuaria presente en el ejido de Agua Blanca, en base a los datos obtenidos de las propiedades fisicoquímicas del suelo y a los análisis estadísticos realizados para estas variables, nos indican que no en todas las variables analizadas existe un impacto directo por parte de esta actividad. Por lo que la hipótesis de este trabajo no se puede aceptar contundentemente, debido a que no en todas las variables se presentaron diferencias significativas.

Con respecto a la relación entre la infiltración y las propiedades edáficas analizadas, no se tuvo una correlación estadística positiva, sin embargo se observaron patrones donde en los suelos pecuarios se tuvo menor tasa de infiltración en cuanto a los suelos forestales.

El uso de suelo forestal tuvo mayores valores de infiltración, MO y una menor densidad aparente así como una menor compactación del suelo, mostrando su importante función hídrica dentro del ciclo hidrológico, resaltando la importancia en la preservación de estas áreas.

Cabe resaltar que a pesar de los resultados obtenidos, la actividad ganadera no está ejerciendo un gran impacto negativo en la infiltración de agua en suelo pecuario. Se puede afirmar que ha disminuido en comparación con el forestal, pero la importancia radica en que se sigue infiltrando agua a pesar de los indicios de perturbación.

El ejido de Agua Blanca al encontrarse en la subzona de Aprovechamiento Sustentable de los Ecosistemas, se puede llevar a cabo la actividad pecuaria. Sin embargo no existe la asistencia técnica por parte de las autoridades hacia los pobladores para llevar a cabo dicha actividad. En base a los resultados de esta investigación se pueden observar pequeños indicios de degradación, al presentarse una disminución en la MO en el suelo, así como una disminución en las tasas de infiltración.

## **Sugerencias a la investigación.**

Se recomienda un muestreo más amplio y sistematizado para la obtención del parámetro de infiltración para poder disminuir la alta variabilidad presentada en este trabajo. Así mismo también se recomienda utilizar los métodos de campo como el infiltrometro de doble anillo, esto con la finalidad de tener otro panorama a acerca del procesos de infiltración en estas zonas.

Para la caracterización de las condiciones del suelo se sugiere tomar las muestras a una sola profundidad, ya que no presento diferencia significativa tomando las muestras a dos profundidades (0 a 5 cm y 5 a 25 cm).

Realizar planes de desarrollo que permitan al ejido de Agua Blanca, obtener beneficios económicos de una manera sostenible promoviendo la conservación de los suelos y aguas para su propio desarrollo en el ámbito social.

Elaborar de un Plan de Manejo Pecuario, donde se establezcan las especificaciones técnicas para poder llevar a cabo la actividad pecuaria, en base al índice de carga animal, establecer los periodos de descanso de los pastos, esto último va de la mano con el establecimiento de zonas de pastoreo, evitando así continuar con la actividad pecuaria extensiva y extractiva presente en el APFFNT.

Continuar con esta línea de investigación asociada con la infiltración, proporcionando más información, sobre todo en áreas de bosques de montaña de México donde la información es escasa.

## Bibliografía

- Abraham, E M., y Beekman, GB. 2006. Indicadores para la desertificación para América del Sur. Recopilación y armonización de indicadores y puntos de referencia de la desertificación a ser utilizados en el programa “Combate a la desertificación y mitigación de los efectos de la sequía en América del Sur. Mendoza Argentina. 347 pp.
- Alegre, J., Pashanasi B., Lavelle P. 1996. Dynamics of soil physical properties in Amazonian agroecosystems inoculated with earthworms. Soil science society of American journal 60:1522-1529.
- Amésquita, E. y Pinzón A. 1991. Comparación de suelos por pisoteo de animales en pastoreo en el pie de monte amazónico de Colombia. Pasturas Tropicales. 13: 21-26.
- Aparicio, F.J. 1999. Fundamentos de Hidrología de Superficie (146-162). México: Limusa,
- Avendaño, C. 2007. Conservación de los recursos naturales con un enfoque comunitario en Chelemha, Alta Verapaz, Guatemala. Informe final Proyecto Fodecit 11-2003. CONCYT-SENACYT (pp. 79-83). Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Secretaria Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Bando municipal y Plan de Desarrollo, Zinacantepec. 2016. Artículo 127°. P.63. Diario Oficial de la Federación.
- Barbecho, J.G. y Calle Ortiz J.E. 2012. Caracterización de la conductibilidad hidráulica de los suelos de la subcuenca del río Tarqui. Universidad de Cuenca, Ecuador, p. 8-24.
- Baver, L. y Gardner W.R. 1973. Física de suelos México: Centro Regional de Ayuda Técnica. Agencia para el Desarrollo Internacional, 165-190.
- Blackburn, W.H., Knight R.W., Wood M.K. 1982. Impacts of grazing on watersheds: A state of knowledge. College Station: Texas, USA, 32pp.

- Browman, R.A., Vigil D.C., Nielsen, Anderson R.L. 1999. Soil organic matter changes in intensively cropping dryland systems. *Soil Science Society of American. Journal.* 63: 186-191.
- Burke, W., Gabriels D., Bouma J. 1986. *Soil Structure Assessment.* Rotterdam: Balkema.
- Castiglioni, M.G., Massobrio M.J., Chagas C.I; Santanatoglia O.J y Bujan A. 2006. Infiltración del agua con labranza cero del suelo en una microcuenca agrícola de Argentina *TERRA Latinoamericana*, 24, 423-430 Universidad Autónoma Chapingo.
- Chapin III, F.S., Woodwell G.M., Randerson J.T., Rastetter E.B., Lovett G.M., Baldocchi D.D., Clark D.A., Harmon M.E., Schimel D.S., Valentini R., Wirth C., Aber J.D., Cole J.J., Goulden M.L., Harden J.W., Heimann M., Howarth R.W., Matson P.A., McGuire A.D., Melillo J.M., Mooney H.A., Neff J.C., Houghton R.A., Pace M.L., Ryan M.G., Running S.W., Sala O.E., Schlesinger W.H., Schulze E.D. 2006. Reconciling Carbon-cycle concepts terminology and methods. *Ecosystems* 9: 1041-1050.
- Chow, V.T., Maidment D.R., Mays L.W. 1993. *Hidrología aplicada.* Mc Graw-Hill, 221-348.
- Cemda-Céspedes, 2002. Deforestación en México: causas económicas incidencias en el comercio internacional en la deforestación. Cemda. México.
- Del Valle, G. 2014. El cambio de uso de suelo consecuencias en el ciclo hidrológico y la disponibilidad del agua. *Educación y Cultura AZ.* [en línea]. Junio 2014. [fecha de consulta: 19 Marzo 2015]. Disponible en: <http://www.educacionyculturaaz.com/analisis/el-cambio-de-uso-de-suelo-consecuencias-en-el-ciclo-hidrologico-y-la-disponibilidad-del-agua>
- De Groot, R.S., Wilson M.A., Boumans R.M.J. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services, *Ecological Economics* 41: 393-408.

- Deguchi, A., Hattori S., Park H.T. 2006. The influence of seasonal changes in canopy structure on interception loss: Application of the revised Gash model. *Journal of hydrology* 318:1-4.
- Díaz, C., Estellar D., López-Vera A.M. 2006. Recursos hídricos: Conceptos básicos y estudios de caso en Iberoamérica. Capítulo 1.2: El ciclo hidrológico y el balance hídrico. Segunda edición, Uruguay 51 pp.
- DOF. 2015. Diario Oficial de la Federación. Artículo 27°. Constitución Política de los estados unidos mexicanos. p 27
- DOF. 2015. Diario Oficial de la Federación. Artículos 11°, 15°, 22°, 33°. Ley Estatal del Equilibrio Ecológico del Estado de México. p 20-32.
- Doran, J.W. y Parkin B.T. 1994. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of America, Inc. Special Publication. Number 35. Madison, Wisconsin, USA 15-38.
- Dorner, J., Schroeren V., Dec D., Horn R. 2009a. Effect of Land Use on Physical Properties of a Volcanic Soil in South Chile. *ISTRO 18th Triennial Conference Proceedings*, June 15-19, 26:1-6.
- Dörner, J., Dec D., Peng X., Horn R. 2009b. Efecto del cambio de uso en la estabilidad de la estructura y la función de los poros de un Andisol (Typic Hapludand) del sur de Chile. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 9: 190-209.
- Donald, G., Deyanira, L.L., Mansonia, P.M. s/f. Métodos para determinar la conductibilidad hidráulica satura y no saturada de los suelos. *Venesuelos* 14:7-22.
- Duchaufour, P.H. y Souchier B, 1987. Edafología 2 Constituyentes y Propiedades del Suelo. Masson, Barcelona, 46 pp.
- Espinosa R, M., Andrade Limas E., Rivera Ortiz P., Romero Díaz A. 2011. Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México. *Papeles de geografía*, 53-54, pp.77-88. Universidad de Murcia, España.
- Ellies, A. 1988. Mechanical consolidation in volcanic ash soils. *Catena supplement* 11: 87-92.

- Ellies, A., Horn R., Smith R. 2000. Effect of management of a volcanic ash soil on structural properties. *Int Agrophysics* 14: 377-384.
- Etchevers, J.D., Monreal C.M., Hidalgo C.H., Acosta M., Padilla J., López R.R.M. 2005. Manual para la determinación de carbono de la parte aérea y subterránea de sistemas de producción en laderas. Colegio de posgraduados, 29 pp.
- FAO, 2009. The state of food and agriculture: Livestock in the balance, Rome.
- Fetter, C.W. 2001. Applied Hydrogeology. Prentice-Hall. University of Wisconsin, Oshkosh. 4ª ed., 598 pp.
- Gallardo, J.F., Cuadrado S.S y Rodríguez J.A. 1980. Suelos Forestales de El Rebollar II. Propiedades y Conclusiones. Centro de Edafología y Biología Aplicada Salamanca. 6: 214-228.
- Gómez, T.A., Batlle-Sales, J., Zepeda, C. H., Guevara, S. M.A., Maldonado L.S., Pintor A. J. 2008. Conductividad hidráulica saturada de campo: uso de un infiltrómetro de carga constante y anillo sencillo. *Terra Latinoamericana*, 26; 4. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. pp. 287-297
- Greenwood, K. y McKenzie B. 2001. Grazing effects on soil physical properties and the consequences for pastures: a review. *Australian Journal of experimental Agriculture*, 41: 123-250.
- Guerreo P.A.G., González M.C, 2008. Diagnóstico Ambiental participativo en la comunidad de Agua Blanca, Zinacantepec, Estado de México. En: M. Esthela (coord.), Comunidades y recursos naturales. Gestión del desarrollo rural (pp. 433-465). Universidad Autónoma del Estado de México.
- Gurovich, L. 1985. Fundamentos y diseño de sistema de riego, capítulo 6. Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura (CIIA). San José, Costa Rica. 143-168 pp.
- Hofstede, R. 1995. The effects of grazing and burning on soil and plant nutrient concentrations in Colombian Páramo grassland. *Plant and Soil*. 173:111-132.



- Ibañez, A.A., Moreno, R.H. Características del infiltrometro de doble anillo (anillos de Munz). Universidad Politécnica de Valencia. 10pp.
- Ingelmo, S.F. y Cuadrado S.S.1986. El agua y el medio físico del Suelo. Centro de Edafología y Biología Aplicada. Salamanca, p 10.
- Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI). 2010. Anuario de estadísticas por entidad federativa. Estado de México.
- Karlen, D.L., Mausbach M.J., Doran J.W., Cline R.G., Harris R.F., Schuman G.E. 1997. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. Soil Science Society of America Journal. 61: 4-10.
- Kay BD, VandenBygaart AJ. 2002. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. Soil & tillage research; 66: 107-118.
- Kostiakov, A.N. 1932. Dynamics of the coefficients of water percolation in soils in Sixth Commission, International Society of Soil Science, 15–21.
- Lado, M., Paz A., Ben-Hur M. 2004. Organic matter and aggregate size interactions in infiltration, soil formation, and soil loss. Soil Science Society of American. Journal 68: 935-942
- Lal, R. 1998. Soil quality and sustainability. Methods for Assessment of Soil Degradation. Advances in Soil Science. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA, 17-30 pp.
- Larson, W.E. y Pierce F.J. 1991. Conservation and Enhancement of Soil Quality in: R. Chiang. Evaluation for sustainable land management in the developing world. Board of Soil and Manage Bangkok, Thailand, 175-203 pp.
- LGEEPA, 2015. Ley General del Equilibrio Ecológico y la protección al Ambiente. Artículo 27°, p.23. Diario Oficial de la Federación.
- Lozano, J., Madero, E., Tafur, H., Herrera, O., Amezcuita, E. 2005. La conductibilidad hidráulica del suelo estudiada en el Valle de la Cauca con el nuevo indicador del USDA. Acta Agronomica, 54:3. Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.

- Loyola-Gómez, Ch., Rivas M.J., Gacitúa R.MJ. 2015. Permeabilidad del suelo de la cuenca del río Chillan, entre Estero Peladillas y río Nuble, Chile. Cuadernos de Geografía, 24:1, 73-86 pp. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Maldonado, G. 2012. El sistema de ganadería ovina en el parque Nacional Nevado de Toluca: Limitaciones, ventajas y relación con el ambiente. Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Universidad Autónoma del Estado de México, México, 127pp.
- Marano P. 2002. Cátedra diagnóstico y tecnología de aguas. Facultad de ciencias agrarias. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe: Argentina. 1-11pp.
- Martínez, E., Fuentes J.P y Acevedo E. 2008. Carbono Orgánico y propiedades del suelo. Revista de la Ciencia del Suelo Nutrición Vegetal, 8: 68 – 9.
- Minasny, B. y George B. H. 2006. The measurement of soil hydraulic properties in the field. Describing, analyzing and managing our Soil. The University of Sydney, 221 pp.
- Nelson, D.W. y Sommers L.E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter in: Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy. Part 2, 2<sup>nd</sup> ed. 9: 961-1010.
- Oldeman, L.R. y Van Lynden G.W.J. 1998. Revisiting the Glasod methodology in: R, Lal *et al.* Methods for Assessment of Soil Degradation: Advances in Soil Science. Boca Raton, Florida, USA, 423-440 pp.
- Oosterbaan, R.J y Nijland H.J. 1994. Drainage Principles and Applications. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Publication 16, second revised edition. Wageningen, Netherlands, 3-39 pp.
- Pierson, F.B., Spaeth K.E., Weltz M.A., Carlson D.H. 2002. Hydrologic response of diverse western rangelands. Journal of Range Management, 55:558-570.

- Pizarro, T.R., Flores J.P., Sangüesa C., Martínez A.E. 2002. Módulo 3: curvas de infiltración. Sociedad estándares de ingeniería para aguas y suelos. Universidad de Chile, 10 pp.
- Polo, M.J., Lafuente, P., Giráldez, J.V. 2003. Variabilidad espacial de la conductibilidad hidráulica saturada en suelos y su influencia en el balance hidrológico global. Estudios de la zona no saturada del suelo vol: VI. Universidad de Córdoba. Colombia pp.9
- Pulido, A.R. y Del Valle F.H. 2001. Instructivo para el análisis de suelos y aguas para riego. Departamento de irrigación, Chapingo México, 25 pp.
- Programa de manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. CONANP, 2014.
- Reichardt, K., Timm, D.E. 2004. Suelo, planta y atmosfera. Conceptos, procesos y aplicaciones. Ed. Manole. Brazil. 478p.
- Reynolds, W.D., Elrick, D.E., Youngs, E.G., Amoozegar, A., Booltink, H.W.G., Bouma, J. 2002. Saturated and field saturated water flow parameters. In: Methods of Soil Analysis, Part 4; Physical methods, Dane, J.H. y Toop, G.C. Soil Science Society of America, Madison, USA. P. 797-878.
- Rodríguez, J. 1993. La fertilización de los cultivos: Un método racional. Colección Agricultura, Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, p.291.
- Robertson, G.P., Coleman D.C., Bledsoe D.C., Sollins P. 1999. Standard soils methods for long-term ecological research. Oxford. USA.
- Sadzawka, A., Carrasco M.A., Demanet R., Flores H., Grez R., Mora M., Neaman A. 2007. Métodos de análisis de tejidos vegetales, 2ª Edición. 2007. INIA y CNA de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, 140 p.
- Sánchez, P., Castilla C., y Alegre J. 1989. Grazing pressure effects on the pasture Degradation Process, 182 - 187 pp.
- Singer, M.J. y Ewing S. 2000. Soil Quality en Handbook of Soil Science. Chapter 11 (ed. Sumner, M. E.), CRC Press, Boca Raton, Florida, p 271-298.

- SQI, (Soil Quality Institute). 1996. Indicators for Soil Quality Evaluation. USDA Natural Resources Conservation Service. Agricultural Research Service. USA, 55 pp.
- Solís, C.M.A. 2015. Caracterización de la producción ovina y propuesta de manejo pecuario en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. Caso Zinacantepec, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Planeación Urbana y Regional. Universidad Autónoma del Estado de México. 100pp.
- Taboada, M. 2007. Efectos de pisoteo y pastoreo animal sobre suelo en siembra directa. Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía UBA. 4º Simposio de Ganadería en Siembra Directa, Potrero de los Funes, San Luis, 71-83 pp.
- Tejada M, Gonzalez JL.2008. Influence of two organic amendments on the soil physical properties, soil losses, sediments and runoff water quality. Geoderma; 145:11 325-334.
- Tobón, C., Bruijnzeel., L.A., Frumau A. 2009. Physical and hydraulic properties of Tropical Montane Cloud Forest soils and their changes after conversion to pasture. Proceedings of the Second International Symposium: Science for Conserving and Managing Tropical Montane Cloud Forests, Waimea, Hawaii, July 27 – August 1, 2004.
- (USGS) Servicio Geológico de los Estados Unidos. 2010. Ciclo del agua (Imagen). Recuperado de: [https://www.google.com.mx/?gfe\\_rd=cr&ei=tKm7Vu2qDMGR8QeJwoYo&gws\\_rd=ssl#q=ciclo+del+agua](https://www.google.com.mx/?gfe_rd=cr&ei=tKm7Vu2qDMGR8QeJwoYo&gws_rd=ssl#q=ciclo+del+agua)
- Vásquez G.I., Gómez G.A., Velázquez M.A., Aldrete A., Fierros-González A.M. 2011. Un penetrómetro dinámico para evaluar la resistencia mecánica en suelos forestales. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 17:293-302.
- Vélez, M. y Vélez J. 2002. Capítulo 8: Infiltración. Universidad Nacional de Colombia, Unidad de Hidráulica, 38 pp.

- Vilchis, M.I. 2006. Cartografía morfo edáfica escala 1:20,000. Siete estudios de caso en el volcán Nevado de Toluca, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Geografía. Universidad Autónoma del Estado de México, México.
- Willatt, S. y Pullar D.1983. Changes in soil physical properties under grazed pastures. *Australian Journal Soil* 22: 343–348.
- Young, E. 2003. Water for people water for life The United Nations World Water Development Report. World Water Assessment Program. UNESCO. 88, 89 pp.