

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

**División de Ingeniería
Departamento de Suelos**

La Infiltrabilidad con Factores de Pendiente y sus Efectos Sobre Suelos Ganaderos

POR:

JAVIER GUILLERMO FLORES KARAM

TESIS

**Que se somete a consideración del H. Jurado examinador
como requisito parcial para obtener el Título de:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN SUELOS

APROBADA POR:

**MC. Luis Miguel Lasso Mendoza
Presidente**

**MC. Alvaro Fdo. Rodríguez Rivera
Sinodal**

**MC. José Dueñez Alanís
Sinodal**

**MC. Luis Pérez Romero
Sinodal**

El Coordinador de la División de Ingeniería

Ing. Jesús Rodolfo Valenzuela García

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México Abril de 1999

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme dado la oportunidad de estudiar.

A todos mis compañeros y amigos por compartir conmigo algunos de sus mejores años.

Agradezco la colaboración de José Brito y Pablo, por el apoyo brindado en la realización del trabajo de campo y al Jara por el apoyo con el equipo de computo.

Muy en especial al Ing. Enrique Esquivel y al Ing. Juan Carlos Zúñiga por la confianza y amistad desinteresada que siempre supieron brindarme.

A Idalia por su apoyo en la realización de los análisis de laboratorio.

A mis asesores por haber hecho posible la culminación de este trabajo, MC. Alvaro Rodríguez Rivera, MC. Luis Miguel Lasso Mendoza, MC. José Dueñez Alanis y MC. Luis Pérez Romero.

Nota aclaratoria

Dadas las características de autorización que para presentar examen profesional a nivel licenciatura se tiene en nuestra División de Ingeniería. Es pertinente aclarar que la idea y estructuración del trabajo de campo y formación casi terminal del escrito fue por parte del MC. Alvaro Fernando Rodríguez Rivera. El presente escrito parte del Proyecto “Efecto del Pastoreo Sobre los Procesos de Desertificación”, con clave de registro 202.1103.005 en la Dirección de Investigación de Nuestra Universidad. Fungiendo como responsable del proyecto el MC. Alvaro Fernando Rodríguez Rivera, maestro investigador del Departamento Recursos Naturales Renovables .

DEDICATORIA

A mi esposa Rosy y a mi hijo Memito con todo mi amor.

A mis padres: Guadalupe Ma. y Manuel Javier, que con su gran esfuerzo me permitieron llevar a cabo mis estudios y por haber permanecido siempre a mi lado

A mis hermanos: Daniel

Karime

Sebastian

A todos mis amigos y compañeros de la Universidad.

A mi “Alma Mater”.

A Dios.

RESUMEN

El presente estudio se realizó en el Rancho Experimental Demostrativo “Los Angeles” propiedad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y en uno de los potreros del Ejido “Tanque de Emergencia” el cual colinda con el rancho mencionado anteriormente.

El objetivo del trabajo fue determinar la influencia de la infiltración así como del pastoreo sobre la fertilidad del suelo, para lo cual se seleccionaron dos líneas de estudio en perfiles similares del rancho y el ejido, cada línea consistía en catorce pruebas de infiltración haciendo un total de veintiocho por las dos, y dos muestreos de suelos en cada evaluación de infiltración, los sitios de estudio fueron ladera, pie de monte y valle respectivamente para el rancho y el ejido.

Para complementar la información de el trabajo se considero tomar el porcentaje de pedregosidad y de cobertura aproximados en cada punto de evaluación de infiltración.

Las variables consideradas para determinar las características físicas fueron; textura, densidad aparente (DA), densidad de sólidos (DS) y espacio poroso (E) y para determinar las características químicas fueron; contenido de materia orgánica (MO), contenido de carbonatos (CO_3), contenido de nitrógeno total (NT), y pH.

Se concluyo que la infiltración es mayor en ladera y valle (sitio controlado 90.0 y 65.0cm/hr y sitio sin control 45.0 y 74.0cm/hr para ladera y valle respectivamente) que en pie de monte (sitio controlado 52.5cm/hr y sin control 33.0cm/hr) para ambos predios., así mismo se presento una mayor compactación en el ejido, la fertilidad se comporto de manera uniforme en los dos predios solo que en el rancho existía mayor cantidad de materia orgánica (9.56, 5.59 y 4.75% para ladera, pie de monte y valle respectivamente), el suelo de el ejido presento mas problemas de desertificación por el sobrepastoreo.

INDICE DE CONTENIDO

Concepto	Página
INDICE DE CUADROS	x
INDICE DE FIGURAS.....	xi
INTRODUCCION	1
Objetivo General.....	2
Hipótesis.....	2
REVISIÓN DE LITERATURA	3
Infiltración.....	3
Definición.....	3
Métodos para estimar la infiltración.....	6
Estudios a nivel de cuencas hidrológicas.....	6
Cilindros.....	6
Simuladores de lluvia.....	7
Infiltrómetros.....	7
Formas de expresión de la infiltración.....	8
Factores que afectan la infiltración.....	8
Estudios de infiltración en pastizales.....	11
Efectos del apacentamiento en el proceso de infiltración.....	12
Infiltrabilidad.....	20
Sedimentación.....	21
Uso del pastizal.....	22
Uso estacional del pastizal.....	24

Cobertura.....	24
La cuenca como sistema ecológico.....	25
Sobrepastoreo.....	26
Erosión.....	27
Estudios relacionados.....	30
MATERIALES Y METODOS	31
Localización.....	31
Topografía.....	31
Geología.....	31
Suelos.....	32
Hidrología.....	32
Clima.....	33
Vegetación.....	33
Infraestructura.....	33
Sitio de estudio.....	34
Ejido “Tanque de Emergencia”.....	34
Metodología para la determinación de los factores de la evaluación.....	35
Proceso de infiltrabilidad.....	35
Estimación de características del suelo.....	37
Densidad aparente.....	37
Densidad de sólidos.....	37
Contenido de materia orgánica.....	37
Textura.....	38
pH.....	38
Presencia de carbonatos.....	38
Espacio poroso.....	39
Nitrógeno total.....	39
Capacidad de intercambio cationico.....	39

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
Ladera controlada.....	40
Ladera sin control.....	43
Pie de monte controlado.....	44
Pie de monte sin control.....	45
Valle controlado.....	46
Valle sin control.....	47
Interpretación de la capacidad agrológica.....	48
CONCLUSIONES	50
LITERATURA CITADA	52
ANEXO	65

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1 Promedios de infiltración en los sitios; controlado y si control.....	42
2 Porcentaje de pedregosidad y vegetación en los anillos de infiltración.....	43
3 Propiedades físicas y químicas del suelo analizado.....	43
4 Promedios de concentración de arcilla, limo y arena en los diferentes sitios de estudio.....	44

INDICE DE FIGURAS

Figura	(Ver Anexo)	Página
1 Localización geográfica del Rancho Experimental “Los Angeles” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Municipio Saltillo, Coahuila.....	-----	66
2 Topografía del Rancho Experimental “Los Angeles” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Municipio Saltillo, Coahuila.....	-----	67

- 3 Infraestructura del Rancho Experimental “Los Angeles de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Municipio Saltillo, Coahuila.....68
- 4 Hidrología del Rancho Experimental “Los Angeles” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Municipio Saltillo, Coahuila..... 69
- 5 Vegetación del Rancho Experimental “Los Angeles” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Municipio Saltillo, Coahuila.....70
- 6 Unidad experimental, potrero 20, del Rancho Experimental “Los Angeles” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Municipio Saltillo Coahuila..71
- 7 Velocidad de infiltración en los sitios ladera sin control y ladera controlada en el Rancho Experimental “Los Angeles” propiedad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Municipio Saltillo, Coahuila.....72
- 8 Porcentaje de pedregosidad y de vegetación en el sitio ladera controlada en el Rancho Experimental “Los Angeles” propiedad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Municipio Saltillo, Coahuila..... 73
- 9 Porcentaje de concentración de carbonatos en todos los sitios de estudio en el Rancho Experimental “Los Angeles” propiedad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Municipio Saltillo, Coahuila..... 74
- 10 Porcentaje de concentración de arcillas en todos los sitios de estudio en el Rancho Experimental “Los Angeles” propiedad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Municipio Saltillo, Coahuila..... 75

- 11 Porcentaje de concentración de arena en todos los sitios de estudio en el Rancho Experimental “Los Angeles” propiedad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Municipio Saltillo, Coahuila..... 76
- 12 Porcentaje de pedregosidad y de Vegetación en el sitio ladera sin control en el Rancho Experimental “Los Angeles” propiedad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Municipio Saltillo, Coahuila..... 77
- 13 Velocidad de infiltración en los sitios pie de monte sin control y pie de monte controlado en el Rancho Experimental “Los Angeles” propiedad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Municipio Saltillo, Coahuila.....78
- 14 Porcentaje de pedregosidad y de vegetación en el sitio pie de monte controlado en el Rancho Experimental “Los Angeles” propiedad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Municipio Saltillo, Coahuila.....79
- 15 Porcentaje de pedregosidad y de vegetación en el sitio pie de monte sin control en el Rancho Experimental “Los Angeles” propiedad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Municipio Saltillo, Coahuila.....80
- 16 Velocidad de infiltración en los sitios valle sin control y valle controlado en el Rancho Experimental “Los Angeles” propiedad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Municipio Saltillo Coahuila.....81

17 Porcentaje de pedregosidad y vegetación en el sitio valle controlado en el Rancho Experimental “Los Angeles” propiedad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Municipio Saltillo, Coahuila.....82

18 Porcentaje de pedregosidad y de vegetación en el sitio valle sin control en el Rancho Experimental “Los Angeles” propiedad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Municipio de Saltillo, Coahuila.....83

INTRODUCCIÓN

Siendo su definición la cantidad de agua absorbida por el suelo en una unidad de tiempo, la infiltración juega uno de los principales papeles en todos los estudios relacionados con la capacidad agraria de los suelos, ya que interpreta diversas propiedades del suelo.

La infiltración también, determina el contenido de humedad disponible en el suelo el cual es un factor de suma importancia para el óptimo desarrollo de las plantas así mismo dependiendo del nivel que esta alcance, mientras exista una mayor infiltración el nivel de escurrimientos disminuye lo que propicia el crecimiento de la cobertura vegetal y por lo tanto la pérdida de suelos por la erosión hídrica.

Por otra parte la infiltración es modificada por diversos factores como lo son; humedad disponible al momento de el evento, ya que la tasa de infiltración será mayor mientras el suelo este más seco, así mismo las características físicas y químicas del suelo (textura, materia orgánica, pendiente etc.) también influyen en el proceso, la cobertura vegetal y el clima.

En el ecosistema existe un sinnúmero de factores, bióticos y abióticos, los que se interrelacionan en niveles de integración, cadenas alimenticias, comunidades vegetales y animales, obteniéndose de ello respuestas unidireccionales o multidireccionales, de estos los factores; escurrimiento e infiltración en un ecosistema de pastizal, son por demás importante ya que la infiltración es el proceso que permite definir la posible disponibilidad de agua para las comunidades vegetales mientras el escurrimiento provoca un desequilibrio en el ciclo de nutrientes, redundando, en una baja en nutrientes para las plantas, al igual que se afectan por factores tal como precipitación, parámetros vegetacionales, por ejemplo; cobertura, producción de forraje y las propiedades del suelo.

Objetivo

Determinar la Influencia de los factores de infiltración, compactación y fertilidad en los procesos de desertificación, utilizando los factores de infiltración y compactación así como el nivel de fertilidad en los suelos de un gradiente con diferentes por cientos de pendientes en dos comunidades, con uso ganadero diferente, uno es el Rancho Experimental “Los Angeles” propiedad de nuestra Universidad y el Ejido “Tanque de Emergencia” colindante con el Rancho mencionado anteriormente.

Hipótesis

Las menores tasas de infiltración se darán en los suelos con mayor pendiente y la mayor compactación se ubicará en suelos con menor cobertura vegetal y pendiente. El mayor nivel de fertilidad de suelo estará en función de mayor cobertura vegetal y menor compactación.

REVISION DE LITERATURA

Infiltración

Definición

Se define la infiltración como el movimiento o paso del agua a través de la superficie del suelo. Lo cual es un proceso muy importante en los estudios relacionados con el manejo de pastizales, ya que las tasas de infiltración o como se definió anteriormente,

cantidad de agua absorbida por el suelo por unidad de tiempo, determinan el contenido de humedad en el suelo, lo cual es un parámetro muy importante que puede satisfacer o no las necesidades hídricas para el mejor desarrollo de las plantas (Wood y Blackburn, 1981b).

La infiltración es un proceso por medio del cual el agua pasa del medio ambiente externo al interior del suelo a través del mismo. (Gutiérrez y Dueñez, 1988). Por otra parte la tasa de infiltración es la cantidad de agua absorbida por el suelo por unidad de tiempo (Branson y col., 1981).

Es muy común la utilización de la tasa de infiltración en gran parte de los estudios que se relacionan con la infiltración y se ha determinado que está en función del porcentaje de humedad contenida en el suelo en un momento determinado, siendo por lógica la tasa de infiltración, mayor, cuando el suelo está seco y por lo tanto menor cuando aumenta el contenido de humedad del suelo, hasta llegar a un valor final y muy pequeño denominado infiltración básica, o infiltración final. (Hillel, 1971), señalan que el conocimiento de los procesos de infiltración se determina por las propiedades del suelo y por la eficiencia del manejo del agua y del suelo.

Horton (1933), menciona que la capacidad máxima de infiltración para cualquier evento dado ocurre al comienzo de la misma, y generalmente la tasa de infiltración es alta cuando el suelo esta seco, y decrece rápidamente debido a los cambios de estructura de la superficie del suelo por el incremento de contenido de humedad del suelo.

El porcentaje de humedad disponible para las plantas esta en función del proceso de infiltración, además juega un papel importante en la cantidad de agua que pueda producir una cuenca bajo condiciones de aridez, por lo cual su conocimiento básico para un manejo eficiente del suelo y agua (Hillel, 1971; Gutiérrez y col., 1979).

La capacidad del suelo de absorber el agua de lluvia es lo más importante en la producción de forraje y en el control de la erosión en las épocas de avenidas. Las

características del suelo y del pasto así como del apacentamiento por manejo de ganado y su acción sobre la cobertura vegetal, son los factores más importantes en la determinación de la infiltración. Estos factores asociados con el clima predominante de la región, determinan la cantidad de lluvia que podrá ser absorbida y retenida por el suelo (Dyksterhuis y col., 1972).

La infiltración juega un papel muy importante en la determinación de la cantidad de agua que puede producir una cuenca como recarga de humedad en el suelo (Kramer, 1969). Además, las tasas de infiltración, determinan la cantidad de agua que entra en el suelo, así como también la cantidad de exceso de lluvia que producirá escurrimiento, por eso el conocimiento del proceso de infiltración es necesario para el manejo eficiente del agua y del suelo (Gutiérrez y col., 1979).

Gutiérrez y col. (1986), señala que la infiltración en el pastizal mediano abierto del Rancho “Los Angeles” es influenciada por el porcentaje de materia orgánica, contenido de humedad y porcentaje de arena. Cuando la intensidad de la lluvia de un evento de precipitación, excede la infiltración del suelo en un tiempo dado se genera un exceso de agua en la superficie que causa el escurrimiento superficial al rebasar el microrelieve en el sentido de la pendiente (Gutiérrez y col., 1996).

Dee y col. (1966), encontraron que los rangos de infiltración varían para las diferentes comunidades de plantas. En áreas dominadas por *Bouteloua gracilis*, absorbieron mayor cantidad de agua en dos horas (21.33cm.), que en otras áreas donde crecieron hierbas anuales y otros zacates como *Chloris verticillata* Nutt. (14.22cm.), y *Buchloe dactyloides*. (12.29 cm), además, menciona que la profundidad de la infiltración fue mayor en las especies *Andropogon sacharoides* (6.17 cm/hr), *Sporobolus cryptandrus* (5.28 cm/hr) y *Bouteloua gracilis* y menor en *Buchloe dactyloides* (2.13cm/hr) y otras especies.

Métodos Para Estimar la Infiltración

Dentro de los métodos más comunes y sencillos para la determinación, podemos mencionar los siguientes:

1) Estudios de parcela, donde se encuentran los estudios mediante lisímetros, parcelas de inundación en áreas confinadas y los llamados mecanismos de aspersion (Wood y Blackburn, 1981b);

- 1) Simuladores de lluvia.
- 2) Infiltración bajo lluvia natural.

Estudio a nivel de cuencas hidrológicas.

Cilindros

Este método consiste en el empleo de anillos de los cuales existen muy diversos tamaños, los cuales son enterrados a una profundidad aproximada de entre 5 a 60 cm., dependiendo de las características físicas del suelo y tratando de no causar disturbio en el sitio de muestreo con un golpeo muy fuerte al enterrar los anillos, evitando que el agua se fugue o brote a la superficie, se llenan de agua a alturas predeterminadas y se hacen las lecturas a intervalos de tiempo con el fin de estimar el agua que ha penetrado al suelo, este método se considera como una técnica muy pobre por algunos autores, pero recomendado por otros autores para obtener índices confiables con un método rápido y relativamente sencillo que señale la importancia del uso que se le da al suelo.

Simuladores de Lluvia

La simulación de lluvia es una técnica que aplica agua en parcelas, de manera similar a la lluvia natural, es una herramienta que ha sido usada por muchos años en estudios de erosión, infiltración y escurrimiento. en el caso de los simuladores de lluvia, estos

pueden ser cualquiera de la decena de clases que existen que normalmente son diseñados por el investigador o investigadores a conveniencia de ellos mismos y de las condiciones del terreno como pendiente o accesibilidad, los cuales producen diferentes tamaños e intensidades de gota, y utilizan diferentes áreas de muestreo. Los simuladores de lluvia son utilizados en un esfuerzo por duplicar las condiciones de una lluvia natural en un particular tipo de tormenta, y por lo tanto obtener una medida relativamente más real de la infiltración. (Neef, 1979).

Infiltrómetros

También existen los infiltrómetros de tipo inundación los cuales producen una infiltración constantemente mayor que los tipos de simulación de lluvia. Al realizar comparaciones con diferentes tipos de equipo, se ha demostrado que pueden obtenerse comparaciones relativas del uso de la tierra y vegetación con cualquiera de ellos. Estas comparaciones lógicamente han demostrado también que las propiedades de absorción son mayores en los tipos que aplican el agua por inundación, que los que lo aplican en forma de lluvia artificial; pero muestran que no hay manera fácil de convertir los resultados de un tipo a valores equivalentes del otro (Musgrave, 1955).

Forma de expresión de la infiltración:

Según Musgrave (1955), la infiltración puede ser expresada en los siguientes términos:

- a) Tasa de infiltración (f_p). Cantidad máxima de agua infiltrada tomando en cuenta un tiempo determinado.
- b) Tasa de infiltración inicial (f_o). Tasa máxima a la cual puede penetrar el agua a un suelo el inicio de un evento de precipitación.
- c) Tasa de infiltración constante. (f_c). También denominada tasa de infiltración básica o terminal, es la tasa máxima a la cual puede penetrar el agua en un suelo cuando este se encuentra en una situación estable en cuanto a infiltración se refiere.
- d) Infiltración acumulada (F). Es la cantidad total de agua que penetra en un suelo desde el inicio de un evento de precipitación hasta un tiempo determinado.

Factores que afectan la infiltración

(Musgrave, 1955; Moore, y col., 1979), mencionan que los factores que afectan a la infiltración, se agrupan en las siguientes categorías:

1. Propiedades físicas: textura, estructura, densidad aparente, temperatura, Cobertura del suelo: vegetal, piedras y grava.
2. Propiedades químicas: CIC, PSB, etc.
3. Factores bióticos: Cobertura vegetal, Flora en general, fauna, así como la situación del agua en el suelo, (porcentaje de humedad, capacidad de retención, etc.).
4. Condiciones climáticas: Estación del año, temperatura, precipitación etc.
5. Fisiografía del área: Pendiente del terreno, etc.

(Moore y col., 1979 y Branson y col. 1981), agrupan los factores que influyen en el nivel de infiltración del suelo, en seis categorías siendo estas: a) La cobertura del suelo, con sus porcentajes de hojarasca, piedras y grava; b) Características físicas del suelo de textura, estructura, densidad aparente y contenido de humedad; c) Características químicas del suelo, como es materia parietal, materia orgánica, capacidad de intercambio cationico, porcentaje de saturación de bases y contenido de sodio; d) Factores bioticos de tipo de vegetación, cobertura vegetal, densidad de la vegetación, actividad microbiana, tipos y cantidad de fauna en el suelo; e) Condiciones climáticas, estación del año, intensidad, forma y duración de la precipitación, y la velocidad del viento; f) Fisiografía del área, pendiente del terreno, exposición de la superficie y altitud del lugar.

Cuando la cantidad de agua precipitada es mayor que la infiltración que está teniendo lugar en un evento, el agua se empieza a acumular en la superficie provocando escurrimientos y producción de sedimentos, de manera que los factores que afectan positivamente las tasas de infiltración tienen un efecto negativo en el escurrimiento y la producción de sedimentos. (Wood y col, 1981a).

Wood y Blackburn (1981b), determinaron que el tipo y la cantidad de vegetación, son factores que pueden modificar la relación suelo-agua de un sitio, ósea que se podría decir que en gran parte estos dos factores mejoran o empobrecen el nivel de infiltración, lo que mencionamos anteriormente con los factores que modifican la precipitación. Por otra parte también mencionan que los factores relacionados a la infiltración son definidos por las condiciones edáficas, climáticas, topográficas y principalmente por las características y condiciones de la vegetación.

Según Gifford (1984), la infiltración en el pastizal presenta cuatro características de gran importancia: a) Cada complejo planta-suelo presenta un característico nivel de infiltración; b) Las tasas de infiltración para un tipo de suelo varían en función de las etapas sucesionales o frecuencia de los eventos y de las clases y condición de la vegetación; c) Las tasas de infiltración en un ciclo muestran variabilidad temporal y espacial, y d) Las tasas de infiltración son extremadamente sensitivas a varios factores de manejo y uso del suelo.

McGinty (1979), encontró al realizar estudios sobre la influencia que presenta el suelo, la cubierta vegetal y el manejo del apacentamiento sobre las tasas de infiltración, que no existe una diferencia muy marcada entre un uso continuo moderado y un uso de pastizal por el ganado con alta intensidad baja frecuencia , señalando que las principales variables que influyeron fueron los antecedentes en el contenido de humedad, la fitomasa del mantillo orgánico, fitomasa total en pie, profundidad del suelo, cobertura de piedras y grava, y la densidad aparente del suelo.

Sánchez (1984), al evaluar los efectos del uso de pastizal por el ganado en áreas arbustivas de la cuenca El Plateado, Zacatecas, señala que las variables más relacionadas al proceso de infiltración fueron la cobertura foliar y la biomasa de zacates, y la presencia de zacates estoloníferos tiende a incrementar la cobertura foliar e indirectamente la infiltración.

Estudios de infiltración en pastizales.

En los estudios de pastizales naturales la infiltración juega también un papel importante, debido a que el objetivo de conocer el grado de influencia de los diferentes tipos de suelo y vegetación sobre el nivel de infiltración dada en cada lugar, así también se ha estudiado el impacto de tipo hidrológico que ocasionan los diferentes sistemas de pastoreo, intensidad de carga, cambios y tratamientos a la vegetación, esto en el caso de métodos inducidos, etc.

Lusby (1970), seleccionó cuatro pares de cuencas hidrológicas cercanas a Grand Junction, Colorado, para estudiar los efectos del pastoreo en la hidrología del pastizal; una cuenca hidrológica de cada par fue pastoreada por ganado vacuno y ovino, como se realiza normalmente en la región, y la otra fue excluida del pastoreo. El muestreo de las cuencas se realiza en un período de 10 años para comparar las condiciones de los pastizales obteniéndose los siguientes resultados; las cuencas pastoreadas mostraron un aumento de cantidad de suelo desnudo y roca, se observó a su vez un decremento en la cubierta vegetal; mientras que en las cuencas sin pastorear, éstas se mantuvieron sin disturbio. El escarmiento de las cuencas sin pastorear fue aproximadamente un 30 por ciento menos que las cuencas pastoreadas, además las primeras tuvieron un 45 por ciento menos de producción de sedimentos.

Efectos del apacentamiento en el proceso de infiltración

Siendo la infiltración una parte muy importante del ciclo hidrológico, se han estudiado los efectos que tienen sobre ella el impacto que ocasionan los animales domésticos, y la relación herbívoro-planta en diferentes sistemas de pastoreo y densidades de carga animal, así como cambios y tratamientos del suelo y vegetación.

Warren y col. (1986a), en diversas investigaciones realizadas compararon las tasas de infiltración en pastas sujetas a densidades de carga (Ha/UA/año) variables, y determinadas por el número de utilización que se le dio a cada potrero más que por la intensidad de carga, en un sistema de pastoreo rotacional intensivo. Los resultados mostraron que de una manera general, las pastas con mayor densidad de carga exhiben la menor tasa de infiltración debido a la compactación que tiene lugar en el terreno por parte del ganado; sin embargo los resultados del trabajo no pueden soportar la hipótesis de que, un incremento en la densidad de carga (Ha/UA/año), manipulando tamaño y/o número de potreros tenga consecuencias hidrológicas que sean significativas. En el sistema de pastoreo de rotación intensiva, la infiltración decrece significativamente después del típico pisoteo periódico de este sistema; el efecto deteriorante del pastizal por parte del ganado generalmente aumenta cuando se incrementa la capacidad de carga y por lógica los daños son mayores cuando el suelo está húmedo.

Bussy y Gifford (1981), señalan que el pastoreo del ganado o de la fauna silvestre altera las tasas de infiltración y propicia los procesos de erosión, causado por la remoción de la cubierta vegetal protectora de la superficie del suelo y compactación del mismo por el pisoteo.

Lusby (1970), encontró que la disminución de la vegetación en áreas apacentadas, incrementando la cantidad de suelo desnudo, afectaron las tasas de infiltración e incrementaron en los escurrimientos superficiales, con diferencias hasta por un 41 por ciento entre áreas apacentadas y sin apacentar. En un sistema rotacional diferido de 4 pastas, en un sistema continuo y en una exclusión, al estudiar las tasas de infiltración, la vegetación y el manejo de apacentamiento.

McGinty y col., (1979), encontraron que la entrada del agua al suelo en el sistema rotacional fue similar al del área excluida y con el apacentamiento continuo se presentó menos de la mitad observada en el sistema de rotación diferida; y encontraron una

influencia con la biomasa de las plantas, la densidad aparente, la profundidad del suelo y el microrelieve .

(Blackburn y col., 1981; Bussy y Gifford, 1981), señalan que los efectos del uso del pastizal por la remoción de la cubierta protectora del suelo y el pisoteo sobre las propiedades hidrológicas de una cuenca y en un pastizal, tienen un incremento en el impacto de las gotas de lluvia, la disminución del contenido de materia orgánica y de los agregados del suelo, incremento de la costra superficial, dispersión del mantillo y un cambio de las propiedades físicas del suelo, lo cual ocasiona una disminución en la infiltración.

Pluhar y col. (1987), al estudiar el efecto de los sistemas de apacentamiento continuo con uso moderado, y un rotacional diferido y una exclusión sobre la infiltración encontraron que éstas aumentaban a medida que se incrementaba la cobertura vegetal, el contenido de materia orgánica y la estabilidad de agregados y cuando disminuía la densidad aparente; concluyendo que la condición hidrológica puede variar de acuerdo al sistema de apacentamiento empleado y al efecto del apacentamiento sobre los factores del suelo y vegetación.

Al evaluar los efectos del pastoreo sobre la infiltración, Sánchez (1984), concluyó que las variables del suelo y vegetación con mayor efecto en el proceso fueron los antecedentes de humedad del suelo, la cobertura basal y foliar, fitomasa de zacates, el microrrelieve del suelo y el porcentaje de pedregosidad.

Thurow y col., (1986), concluyeron al realizar estudios del efecto del apacentamiento en tres tipos de vegetación que la infiltración está asociada con la cobertura total, contenido de materia orgánica y densidad aparente del suelo. También señalan que la cantidad de cobertura es más importante que el tipo de cobertura, debido a la protección de la estructura del suelo y se promueve la infiltración.

Warren y col., (1986a) señalan diversos análisis sobre las densidades de carga sobre las tasas de infiltración que por un período de dos años en un pastizal con pastoreo rotacional intensivo, estudiaron las tasas de infiltración de la entrada del ganado a la pasta, inmediatamente después de la salida del mismo, y a la mitad del siguiente período de descanso encontraron que el pastizal amacollado se caracterizó significativamente por las altas tasas de infiltración que el pastizal mediano abierto, el efecto adverso fue significativo durante el período de sequía o dormancia, pero no durante los períodos del crecimiento activo, siendo las características del suelo significativamente más estables en condiciones hidrológicas durante el período de crecimiento, presentando mayor resistencia al impacto por la actividad del pastoreo.

Naeth y Chanasyk (1995), determinaron que el sobrepastoreo puede producir un profundo impacto sobre el paso del agua al suelo, lo cual influye sobre la infiltración por el pisoteo y la evapotranspiración por los efectos de defoliación. Mencionan que los cambios hidrológicos en pastizales están frecuentemente asociados con sobrepastoreos, aún cuando estos cambios no se incrementen linealmente con intensidades de apacentamiento.

Naeth y col., (1991), al estudiar los efectos de estacionalidad e intensidad de apacentamiento sobre la humedad del suelo a diferentes profundidades y en diferentes épocas del año, señalan que el contenido de agua del suelo fue generalmente reducida por el efecto del apacentamiento, así mismo describen que a altas intensidades presentó mayor impacto sobre la infiltración que el apacentamiento de baja intensidad, mencionando que la disminución en la humedad de los tratamientos fue el resultado de la combinación entre la reducción de la infiltración y las recargas del perfil del suelo, así como la evapotranspiración.

Schmutz (1971), menciona que durante la época de crecimiento las tasas de infiltración disminuyeron cuando se tuvo un uso intensivo del pastizal en comparación con

un uso mínimo del recurso, atribuibles al efecto del apacentamiento al modificar las condiciones del suelo.

Wood y col, (1989), comparo la tasa de infiltración en áreas de apacentamiento con uso continuo, corta duración y sin uso a diferentes distancias del abrevadero (400, 800 y 1200 m), y concluyeron que bajo estos tipos de uso del pastizal la distribución del ganado no afecto significativamente la infiltración.

Savory (1979), menciona que el impacto físico de los animales sobre el terreno no es detrimental a la condición hidrológica de los pastizales áridos, siendo deseable para acelerar el avance de la sucesión vegetal, efecto que se logra por medio de la acción de las pezuñas, al producir el rompimiento de la capa superficial del suelo y permitir con ello una mayor infiltración.

Bubsy y Gifford (1981), al evaluar los efectos de la simulación de uso del pastizal mediante cortes del forraje sobre la infiltración en parcelas experimentales, señalan que el corte simulado no presentó diferencias significativas, debido a que la remoción de forraje tiene un efecto instantáneo y no acumulado como ocurre con la utilización de bovinos, además sólo se remueve la cubierta vegetal protectora y las propiedades físicas del suelo permanecen sin disturbio.

Warren y col., (1986b), encontraron al analizar los efectos de la época de uso sobre la entrada del agua al suelo de un pastizal, que presentan una mayor influencia la densidad aparente, el microrrelieve y la estabilidad de agregados del suelo.

Wood y Blackburn (1981a), mencionan las variables de mayor efecto son la estabilidad de agregados y el contenido de materia orgánica y no exhiben diferencias significativas la densidad aparente y el microrrelieve.

Pluhar y col., (1987), mencionan al suelo desnudo, el porcentaje de arena en el suelo y la estabilidad de agregados como las principales variables que influyen en las tasas de

infiltración, y se puede incrementar la entrada de agua en el suelo al inducir un cambio en la composición de especies.

Meewing (1970), menciona que además de la cobertura vegetal, el contenido de mantillo orgánico, la densidad aparente y la estabilidad de agregados, el contenido inicial de humedad y la biomasa contribuyen en un 80 por ciento en la cantidad de agua infiltrada en el suelo.

Gifford y Hawkins (1978), en un estudio detallado señalan, la importancia hidrológica que el apacentamiento ha recibido en las últimas décadas; la literatura encontrada sobre el estudio del pastoreo es muy importante para el entendimiento de los impactos hidrológicos por la intensidad del pastoreo; presentándose la infiltración y los escurrimientos primeramente como datos bastante relacionados con la intensidad de pastoreo aunque son datos relativos para las condiciones de manejo; sin embargo, necesarios para la evaluación de los impactos hidrológicos. Los efectos sobre las tasas de infiltración por parte del pastoreo son generalmente determinadas por condiciones del sitio de muestreo, por sus condiciones de manejo y por la intensidad de pastoreo.

Wilcox y Wood (1988), en un estudio sobre la tasa de infiltración, con el uso de un simulador de lluvias portátil al sur de Nuevo México en áreas ligeramente pastoreadas con ovinos y áreas sin pastorear con pendientes promedio del 50 por ciento en ambos casos, encontraron una infiltrabilidad menor del 12 al 17 por ciento en las áreas pastoreadas que en las no pastoreadas. Estos resultados son comparables con los reportados para gradientes con pendientes moderadas.

Wood y Blackburn (1981b), estudiaron los efectos del pastoreo sobre las tasas de infiltración en áreas con cobertura de arbustos, en áreas abiertas dominadas por pastizal mediano y en áreas abiertas dominadas por pastizal corto. Encontrando que las tasas de infiltración fueron mayores bajo la cobertura de arbustos que en los espacios abiertos de pastizal, y que en estos la infiltración fue significativamente diferente entre tratamientos, también encontraron que las tasas de infiltración en los tratamientos de rotación diferida

se acercaron a los valores óptimos de las exclusiones, y que dichos valores exceden las tasas de infiltración de los sistemas de pastoreo de alta intensidad, baja frecuencia y al de pastoreo continuo.

Thurow y col., (1986), analizando tasas de infiltración en un encinal, un pastizal amacollado, y un pastizal bajo de zacate galleta, y estudiando como eran afectadas las características hidrológicas en estas comunidades por los sistemas de pastoreo, encontraron que la cobertura orgánica total y la densidad aparente se encontraban altamente relacionadas con las tasas de infiltración y que la cantidad de cobertura es más importante que el tipo, afirmando que la protección contra las gotas de lluvia es la principal función de la cubierta vegetal sobre la infiltración.

Rauzi y Smith (1973), evaluaron las tasas de infiltración en tres tipos de suelo con tres niveles de pastoreo, los tres tipos de suelo fueron migajones arenosos con diferentes grados de profundidad y posición fisiográfica. En dos de los tres tipos de suelo, los niveles de pastoreo ligero y mediano tuvieron una tasa de infiltración mayor que a un nivel de pastoreo intenso, concluyen que durante los primeros diez minutos la infiltración solo es afectada por los suelos en forma significativa, a los quince minutos las influencias del pastoreo son detectables, a los veinte minutos el suelo y los efectos del pastoreo son igualmente importantes, para después de los treinta minutos la interacción es evidente.

Gutierrez y col., (1986), estimaron la infiltración en tres tipos de suelos ocupados, por un pastizal mediano abierto de navajita azul sin encontrar diferencia significativa entre los tipos de suelo, dichos autores encontraron que la infiltración está influenciada principalmente por el porcentaje de suelo desnudo, la fitomasa, de zacates y el mantillo orgánico.

McCalla y col., (1984), en un estudio para evaluar la influencia del pastoreo mixto (bovino, caprino, ovino) sobre las tasas de infiltración encontró que no existe diferencia significativa entre un pastoreo de alta intensidad y baja frecuencia, y un pastoreo continuo moderado con relación a este parámetro hidrológico

Lusby (1970), comparando cuatro sistemas de pastoreo y el manejo del ganado durante veinte años de estudio utilizaron los siguientes tratamientos:

- 1) Pastoreo por ganado y ovejas,
- 2) Eliminación completa del pastoreo,
- 3) Pastoreo por ovejas,
- 4) Pastoreo por ovejas después de un año de exclusión, encontrando que la exclusión del pastoreo presenta una reducción de escurrimientos de alrededor del 20 por ciento durante un período de 12 años, y un 20 por ciento adicional en los siguientes años de estudio.

Gamogun y col., (1984), en un área libre de pastoreo así como en áreas con un pastoreo continuo pesado y un continuo moderado, y un área con rotación de pastoreo sobre similar complejo planta-suelo evaluaron las tasas de infiltración, el área libre de pastoreo presentó altas y significativas tasas de infiltración en comparación con las pastoreadas, no encontrando diferencia en las áreas alta y medianamente pastoreadas en forma continua atribuyéndose esto al incremento en la acumulación de la materia orgánica. El área sometida al pastoreo rotacional presentó tasas bajas comparadas con las áreas de exclusión y con los tratamientos de pastoreo continuo.

Infiltrabilidad

Hillel (1971), propuso el término infiltrabilidad del suelo, con el fin de evitar la similitud del término capacidad de infiltración del suelo y lo define como el flujo de agua que entra al suelo cuando el agua a presión atmosférica se encuentra disponible sobre la superficie del suelo.

Al inicio de un evento de precipitación cuando el suelo esta seco, la infiltrabilidad es alta y decrece al irse saturando el suelo hasta alcanzar un valor constante; además, cuando el suelo presenta valores altos de infiltrabilidad se reduce el escurrimiento superficial y la erosión (Tamhane y col., 1981).

Por otra parte Evans (1984), menciona que los suelos con mucha pedregosidad incrementan la entrada de agua a medida que el agua fluye por los bordes de las piedras. La manipulación del tipo de vegetación y la cobertura del suelo pueden determinar la relación suelo-agua y en consecuencia el balance de agua en la cuenca.

El efecto de los eventos de precipitación sobre la infiltrabilidad depende de la intensidad de lluvia, las características de la superficie del suelo y la variación espacial del movimiento del agua dentro del suelo para desplazarse y humedecer capas más profundas y permeables (Dunne y col., 1991), En los bosques templados, la cobertura vegetal y la hojarasca del estrato inferior tiene una alta protección del suelo disminuyendo los efectos de la precipitación, al retener el escarmento en su área de influencia, en el interior o sobre la superficie del suelo, y al favorecer la reserva y la captación de agua en el suelo (Pereira, 1973).

Sedimentación

Según Gifford (1984), la producción de sedimentos es el resultado del proceso conocido como erosión y está en función de la topografía, el clima y el suelo, estos sedimentos son una mezcla heterogénea de material orgánico y mineral en diferentes tamaños de partículas con una variedad de propiedades químicas y naturales.

Según Mitchel y Bubenzer (1984), la sedimentación se define como la salida total de partículas de suelo de una cuenca, las cuales son depositadas en un punto de evaluación y deben diferenciarse del proceso de erosión y del concepto pérdida de suelo.

Uso de pastizal

La defoliación por animales de plantas arraigadas en el suelo se llama uso del pastizal, (Huss 1964). Se considera como el consumo del forraje en pie por el ganado o la

fauna silvestre, (Kothmann y col., 1974), o la defoliación de las partes superficiales de la planta (Hodgson 1979; Huss 1964), señalan que el uso del pastizal es la proporción de producción de forraje de un año, que es consumida o destruida por animales en apacentamiento. Heady (1975), menciona que la pérdida o destrucción del forraje también puede ser por insectos, lagomorfos y roedores, así como por la acción del viento al desprender semillas, hojas y tallos en letargo, llamándose pérdidas por uso invisible.

Huss y Aguirre (1974), mencionan que el grado de uso del pastizal puede expresarse subjetivamente en términos de porcentaje, o bien como sin uso, uso completo, uso severo o destructivo; siendo importante definir entre uso y uso adecuado donde el uso adecuado es aquel que mantiene, y mejora la condición del pastizal en base a los objetivos de planeación y dirección de pastizal, por lo que un uso del cero por ciento, puede ser un uso adecuado, dependiendo de la condición del mismo pastizal (Heady, 1975).

Coyne y Cook (1970), indican que de acuerdo al uso del pastizal y en cuanto a la respuesta de las plantas al tiempo y grado de uso, existe una menor recuperación en las especies que han sido defoliadas en su período activo de crecimiento, debido a una menor reserva de carbohidratos en las plantas. De igual manera Aguirre (1974a), menciona que la utilización del pastizal como factor determinante del uso, al interactuar un gran número de factores dentro del ecosistema del pastizal, y la densidad de carga y la distribución del apacentamiento son determinantes en la planeación y uso del forraje después del período de crecimiento por lo cual un uso del 50 por ciento puede considerarse una utilización adecuada.

En la actualidad no hay un método eficaz y universal para determinar la utilización del pastizal, las metodologías desarrolladas para determinar el grado de utilización del pastizal son Aguirre (1974b); a) Empleo de exclusiones; b) Método Relación Altura de la Planta-Producción; c) Método de la Planta Consumida; d) Guías Fotográficas; y e) Monitoreo o Estimaciones.

Además de estas técnicas existen otras modalidades, pero cada una tiene su metodología para la estimación del grado de uso del pastizal. Cook y Stoddart (1953), manifiestan que el uso y manejo de la vegetación implica tratamientos tales como: Estacionalidad, intensidad y descanso al pastoreo, pero existen factores que afectan el uso del pastizal, como es la composición de la vegetación, la abundancia y el vigor de las plantas, la reproducción, las plantas tóxicas, la erosión, la topografía, el agua, la fauna silvestre y el fuego; de tal manera, el área puede quedar clasificada en diferentes clases de uso, leve, moderado, o severo, y la condición del pastizal como resultado de dicho uso, haciendo estos factores más difícil la determinación del uso del pastizal (Aguirre, 1974b).

Uso estacional del pastizal

Cuando en un área el apacentamiento se realiza en durante alguna época o estación del año esta se denomina uso estacional, como primavera verano, otoño o invierno, este tipo de apacentamiento es realizado donde existen diferencias fenológicas estacionales en el desarrollo de la vegetación (Huss y Aguirre 1974; Heady, 1954), mencionan que el apacentamiento estacional es el uso del pastizal, en un cierto período de tiempo, para alcanzar uno o más de los siguientes objetivos: a) Rehabilitar la condición del pastizal y estabilizar el suelo; b) Sostener una alta producción animal; c) Uso eficiente del forraje; d) Cubierta de especies deseables y reducción de especies indeseables; y e) Disminución en la selectividad en el pastizal por animal.

Cobertura

Huss y Aguirre (1974), describen que la cobertura vegetal es la proyección de las porciones aéreas de la planta hacia abajo, y se expresa como porcentaje de la cubierta, pudiendo ser total o basal, pero siempre se considera a la cobertura sinónimo de área. Existen varios métodos para determinar la cobertura, pero ninguno de ellos implica la destrucción de la vegetación y además nos proporcionan información respecto a los

cambios que presentan los pastizales, ya que es uno de los principales atributos de la vegetación.

Wood y col., (1989), determinaron que la reducción de la cobertura puede ocasionar que sé de un aumento en el impacto de las gotas de lluvia, un decremento de materia orgánica y agregados del suelo, aparición o incremento de costras en la superficie del suelo y por lo tanto una disminución en la disponibilidad de agua para las plantas; ya que como aseguran (McCalla y col., 1984; McGinty y col., 1979; Gutiérrez y De Luna, 1989), la cobertura vegetal está generalmente relacionada positivamente a la entrada de agua al suelo y negativamente a la pérdida de suelo.

Gutierrez y col. (1990), en un estudio que realizaron para determinar las variables del suelo y la vegetación que más influyen en el comportamiento hidrológico concluyen que la cobertura basal de zacates es la variable que más influencia tiene.

La cuenca como sistema ecológico

El concebir la cuenca hidrológica como un sistema ecológico, facilita el estudio del funcionamiento de la cuenca, mediante el entendimiento de los procesos ligados al balance de agua (Sarukán y Maas, 1990). Los estudios hidrológicos en pequeñas cuencas tienen características similares a los realizados en ecosistemas naturales, ya que una colección de datos es obtenida por métodos con juicio crítico de experiencias en el uso del suelo en grandes cuencas o áreas naturales (Hawkins, 1986).

Sobrepastoreo.

Por otro lado, el introducir el uso pecuario en los bosques, genera beneficios al hacer uso del recurso pastizal y producir carne (Dunford, 1954; Kosco y Bartolome, 1981),

incrementando la economía de los productores (Stoddard, 1978) y mejorando la productividad del forraje (Wolters, 1981), ha sido controversial sobre todo cuando se lleva a cabo sin controlar, lo cual puede ser aplicado a otro uso del bosque (Holechek, 1981) y a menudo se presta más atención a los atributos destructivos de los animales (Spurr y Barnes, 1973), debido a los efectos directos o indirectos del pisoteo y la remoción de la cubierta vegetal (Pereira, 1973; Blackburn y col., 1981; Shankarnarayan y col., 1987).

Blackburn y col. (1981), mencionan que los efectos de intensidad del pastoreo no están bien documentados, dado que lo intensivo en un estudio puede ser moderado en otro, o bien, lo que es ligero puede ser moderado, siendo esto una interpretación de juicio con sentido general en los estudios experimentales.

El impacto del pastoreo en una cuenca forestal se minimiza cuando el ganado es confinado a los espacios abiertos o aclareados cubiertos con zacates y, se restringe en las áreas cercanas a los cauces y donde la cubierta del suelo sea hojarasca (Kittredge, 1948; Pereira, 1973), considerando que la carga animal en los bosques depende de la producción de forraje de gramíneas (Stoddard, 1978; Heady, 1981) y de las especies arbustivas ramoneables (Mitchel y Rodgers, 1985).

Erosión

La erosión del suelo es la remoción y transporte de las partículas de la superficie del suelo por el agua y el viento (Kirkby, 1984; Brooks y col., 1991). La acción de la erosión comprende tres procesos:

- a) Desprendimiento de partículas de suelo,
- b) Transporte o suspensión de sedimentos, y
- c) Deposición o agregación de sedimentos.

La erosión es la cantidad total de partículas del suelo retiradas de un área

por la acción dispersante de las gotas de lluvia o por la acción del viento. Por otra parte, la pérdida de suelo se define como la cantidad de partículas que son desprendidas en un terreno sin considerar si salen de ese sitio o de una cuenca (Branson y col., 1981).

La erosión es un proceso natural que se ha presentado en el tiempo, pero algunas actividades del hombre han acelerado dicho proceso, la erosión superficial bajo condiciones naturales, por lo general es un proceso lento en las regiones forestales, aún en las regiones más montañosas y escarpadas, donde la mejor barrera es la cubierta vegetal y la hojarasca que absorben el impacto de las gotas de lluvia (Pritchett, 1986) y reducen la turbulencia del flujo del agua (Holechek y col., 1989; Brooks y col., 1991).

Entre los factores que afectan la erosión se pueden mencionar; cubierta vegetal, clima, topografía, características del suelo y el uso del suelo; por lo cual, el impacto fuera de la cuenca depende de los factores que controlan la producción de sedimentos dentro de la cuenca (Brooks y col., 1991). La producción de sedimentos es el problema principal causado por el escarmiento superficial, el cual a su vez es controlado por la cubierta vegetal (Holechek y col., 1989).

A diferencia del concepto de erosión, la pérdida de suelo es la cantidad de partículas que son removidas en un área sin considerar si salen de un lugar determinado o una cuenca (Branson y col., 1981).

Las partículas de suelo son una mezcla heterogénea de material orgánico e inorgánico, con características propias y de diferentes tamaños (Branson y col., 1981). La concentración de sedimentos es la cantidad de partículas contenidas en el escarmiento que ocurre de un evento de precipitación (Wilcox y col., 1986; Gutierrez y col., 1990). La erosión se define como la salida total de partículas de suelo de una cuenca, medidos por un período específico de tiempo y en un punto definido (Mitchell y Bubbenzer, 1984; Brooks y col., 1991); comúnmente, es usado como un índice para medir la pérdida de suelo en una cuenca (Wood y col., 1989; Holechek y col., 1989).

El impacto de la gota de lluvia tiene gran efecto en el suelo, por lo cual se presenta el arrastre y transporte de sedimentos en el escarmiento (Branson y col., 1981; Spurr y Barnes, 1973; Pritchett, 1986; Brooks y col., 1991).

Varios estudios han encontrado mayor erosión en lugares donde el promedio de vegetación es de tipo desértica, decreciendo en el pastizal amacollado, pastizal mediano abierto y bosques; pero en estos últimos, cuando se ha expuesto el suelo desnudo, los valores pueden ser más altos que en los pastizales, debido a los efectos de la precipitación, topografía, cubierta vegetal, manejo del suelo y el aumento del escarmiento (Branson y col., 1981; Gutierrez y col., 1990; Brooks y col., 1991).

Mah y col. (1992), explican que el exceso de agua acumulada, y el escarmiento en si, forman una capa protectora contra el salpicamiento y desprendimiento del suelo, producido por el impacto de las gotas de lluvia; por ello, a mayor volumen de escarmiento existirá menor cantidad de partículas y erosión; indican que la lluvia incrementa la erosión con la pendiente de la superficie; concluyen que la pérdida de suelo esta relacionada a mecanismos específicos que controlan el salpimiento y transportación de los sedimentos en la superficie del suelo.

Kinnell (1976), menciona que al mantener constante la intensidad de lluvia en estudios de simulación, la pérdida de partículas de suelo por el impacto de las gotas se relaciona con la lámina de lluvia y los agregados del suelo.

Gentry (1957), señala que la principal causa del alto grado de erosión en algunos lugares se debe principalmente al pastoreo intensivo y al uso inadecuado del suelo incrementando así los escurrimientos superficiales y en consecuencia la erosión por demás alarmante de los suelos, ya que la cubierta vegetal mantiene la estabilidad y la conservación de ésta que es de interés general.

Estudios relacionados

Gifford y col. (1970), evaluaron el impacto del desmonte de un bosque de pino-junipero y la resiembra con zacates sobre la infiltrabilidad y erosión; mencionan que no existe una consistencia en el aumento o decremento en la infiltración y la erosión, concluyen que estos procesos no fueron afectados como resultado de las prácticas realizadas, además señalan que la interacción de los factores bióticos edáficos y climáticos determinan la infiltrabilidad y la erosión en un área o punto dado del ecosistema.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en el Rancho Experimental Demostrativo “Los Ángeles” propiedad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y en el Ejido “Tanque de Emergencia” los que tienen las siguientes características

Rancho “Los Ángeles”

Localización geográfica: Se encuentra al sur en el municipio de Saltillo, Coahuila a 34 Km por la carretera #54, Saltillo-Concepción del Oro, Zacatecas en el Km 319 y por el camino de terracería que va hacia el ejido “La Hedionda” se recorren 14 Km. Las coordenadas geográficas son; $100^{\circ}58'07''$ y $101^{\circ}04'14''$ de longitud W y entre los $25^{\circ}02'12''$ y $25^{\circ}08'51''$ latitud N (DETENAL, 1970) (Figura 1).

Topografía: La altitud dentro del rancho en sus diversos potreros oscila entre los 2100 a 2400 msnm. esto es de las partes altas a las más bajas (Figura 2). La superficie total de este predio es de 6184 Ha divididas en 20 potreros de diferentes dimensiones (Figura 3), de una manera general la superficie del rancho está comprendida de aproximadamente por 35% de sierra, 10% de lomerios y 55% de valles (Arredondo, 1981).

Geología: Sus características principales; zona de rocas sedimentarias, con preponderancia de rocas calcáreas en las colinas y suelos aluviales en el valle. (Serrato y col., 1983).

La estructura geológica más importante es el anticlinal de Carneros, se estima tiene un rumbo este-oeste, con recumbencia hacia el norte. Las formaciones más recientes y que se depositan en las depresiones (sinclinales) que se forman entre los anticlinales, se encuentran cubiertas por aluvión (Medina y De la Cruz, 1976).

Suelos: Los suelos de los valles se caracterizan por ser aluviales, se estima que existe una variación en la profundidad de estos desde 2 hasta 25 metros aproximadamente. Los suelos que se hallan en las laderas y pie de montes son coluviales y los de los llanos son diferentes, esto es debido a que el agua percolante tiene una movilización de una manera lateral y no a través del perfil del suelo mismo en forma perpendicular; por ello son los más susceptibles a la erosión. Así mismo los suelos que se ubican en la parte alta de la sierra que corresponden al tipo de vegetación del bosque piñonero, por sus características propias, son suelos forestales con altos contenidos de materia orgánica y humus (Sierra, 1980).

Los suelos se hallan dentro de la clasificación cerozem, de origen aluvial de una profundidad somera a profunda (0 a 25 cm). La textura está entre el rango de franco-arenosa a franco-limosa con estructura laminar, tiene una consistencia ligeramente dura a dura, color gris claro y gris claro en húmedo. El contenido de pedregosidad es aproximadamente de 0-10% y rocosidad de 0-12%, así también existen áreas donde la roca madre llega a aflorar en la superficie (COTECOCA-SARH, 1979).

Hidrología: En el área experimental no existen corrientes superficiales permanentes. El grado de erosión en las laderas de las sierras no es muy alto, pues si bien hay cárcavas no son estas profundas, debido tal vez a que la pendiente no es pronunciada y así mismo a una adecuada cubierta vegetal existente. (Figura 4).

Clima: Según la clasificación climática de Köppen, modificada por García en 1973, las características climáticas para el área de estudio en el rancho le corresponde la fórmula siguiente: BSkW(é)

BS: Es el más seco de los BS (seco o estepario, dividido en dos sub tipos según el tipo de humedad) con un cociente P/T menor de 22.9.

k: Templado con verano cálido, temperatura media anual entre 18 y 22 °C.

W: Régimen de lluvias en verano por lo menos 10 veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el mes más seco.

(é) Oscilación de temperatura mayor de 14°C, el cual se designa muy extremo.

Vegetación: La vegetación ha sido reportada por (Sierra, 1980; Arredondo, 1981, (Figura 5).

Infraestructura: Esta es de gran calidad ya que es de postes de tubo y 4 hilos de alambre de púa, en algunas cercas interiores hay postes de madera; en la mayoría de los potreros se cuenta con saladeros bebederos y aguaje. Para manejo de ganado en poca cantidad existe un corral de manejo entre las pastas 5 y 6, se cuenta con una bodega con capacidad aproximada de 40x20x7 m., dos casas habitación y una para visitas de estudiantes y otros.

Sitio de estudio

El presente trabajo se desarrolló en el potrero 20 en el área del pastizal mediano abierto, este es uno de los que colindan con el ejido Tanque de Emergencia y se presta para el propósito de la investigación que nos ocupa. (Figura 6)

Ejido “Tanque de Emergencia”

Debido a la similitud existente en lo mencionado con anterioridad para las características del Rancho Experimental Demostrativo “Los Angeles” asimismo a la cercanía en las unidades de muestreo, tanto del Rancho “Los Angeles” como del ejido es que se considerarán los mismos datos. (excepto de infraestructura).y el área de muestreo se localiza frente al potrero # 20 del Rancho “Los Angeles” y los cinco puntos de muestreo en una distancia aproximada de 200 m. a partir de la cerca que los divide.

Metodología para la determinación de los factores de la evaluación

Proceso de Infiltrabilidad

Se seleccionaron dos sitios de estudio para hacer las pruebas de infiltración; en cada línea se realizaron 14 pruebas de infiltración y se estimó a vista el porcentaje de pedregosidad de el lugar y de cobertura aproximados. después de seleccionar las dos líneas, los sitios dónde se realizaron las pruebas de infiltración fueron escogidos de acuerdo a la pendiente del lugar, las pruebas de infiltración se realizaron con el método de los anillos, el cual consiste en colocar una cinta graduada en el cilindro interior, llenar de agua y tomar el

tiempo, luego a un tiempo determinado volver a tomar la lectura y registrar el volumen infiltrado, así se va registrando y rellenando el cilindro hasta un período de dos horas, (Alcántar y col., 1992), por lo tanto fueron tres pendientes diferentes, ladera, pie de monte y valle respectivamente para cada localidad.

En cada línea se realizaron dos pruebas por cada pendiente haciendo un total de veintiocho determinaciones de infiltración, asimismo de cada estimación de infiltración se tomaron dos muestras de suelo a una profundidad de entre 15 y 20 cm. y a una distancia del anillo de 2 m. a cada lado respectivamente. La colecta de las muestras de suelo se realizó en cada anillo haciendo un total de 56 muestras por los 28 anillos, las muestras de suelo, se colocaron en bolsas de papel para la posterior realización de la determinación de propiedades físicas y propiedades químicas de las muestras en los laboratorios del Departamento de Suelos de nuestra Universidad. Cada línea de muestreo estaba orientada de norte a sur en dos predios distintos para efecto de comparación. Rancho experimental “Los Angeles” y “Ejido Tanque de Emergencia”.

Para caracterizar el tipo de suelo se utilizó la capacidad agrológica de los suelos lo cual es una adaptación que presentan los suelos a determinados usos específicos, y brinda información acerca de la aptitud del terreno para un cultivo determinado. El método consiste en clasificar un territorio según las limitaciones que presenta respecto a los usos agrícolas, pecuarios y forestales. Para clasificar el suelo se divide su capacidad en siete clases agrológicas. Las cuales van de la I a la VII e indican los riesgos de daños al suelo o sus limitaciones los cuales van siendo progresivamente mayores de acuerdo a la clase.

Estimación de características del suelo:

Densidad aparente: Se determinó por el método de la probeta el cual consiste en colocar un poco de suelo seco a la estufa en una probeta previamente secada y pesada luego

se deben dar aproximadamente treinta golpes verticales a una frecuencia de aproximadamente uno por segundo con una franela, después se toma el volumen al que quedo el suelo y se elimina el peso de la probeta vacia y se utiliza la fórmula $Da=ms/vt$ donde Da: Densidad aparente, ms: Masa de los sólidos y vt: es el volumen final del suelo compacto (Gandoy, 1991).

Densidad de sólidos: Se determinó por el método del picnómetro el cual consiste en pesar 10gr. de suelo seco a la estufa a una temperatura de 64°C durante 48 hr. despues añadir agua destilada hasta completar aproximadamente la mitad del volumen del picnómetro, calentar en la parrilla eléctrica y dejar a enfriar posteriormente llenar el picnómetro con agua destilada y tomar la temperatura tapar, secar el picnómetro y pesar., la formula utilizada fue $Ds=ms/vs$, donde ms: es la masa de sólidos y vs: es el volumen de los sólidos. (Gandoy, 1991).

Contenido de materia orgánica: Se usó el método de walkey y black, (titulación con ac. sulfúrico). el cual consiste en pesar 1gr de suelo seco a la estufa, y colocarlo en un matraz erlenmeyer de 500ml. agregar 10 ml de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$ 1N) y 20ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado, dejar enfriar y agregar 200ml de agua destilada y 4 gotas de indicador ortofenantrolina, titular con $FeSO_4$. (Aguilar, y col., 1987).

Textura: Se determinó por el método del hidrometro Bouyoucus, el método consiste en: secar la muestra de suelo en estufa, calibrar el hidrometro con el hexametafosfato y agua destilada, pesar 40 gr. de suelo seco, agregar 50 ml de hexametafosfato y agitar durante 5 min. Pasar la muestra a un cilindro de sedimentación (probeta de 1000 ml.), y aforar a 1000 ml. Agitar con agitador manual y a los treinta segundos introducir el hidrometro y registrar la lectura y temperatura, esperar 120 min. y tomar la segunda lectura y temperatura. (Gandoy, 1991), Los datos se interpretan utilizando la fórmula: $P=\frac{(R+AR)- (Rc+ARc)}{100}$

W

Dónde: R: lectura del hidrometro.

AR: Corrección por temp. En la proveta.

Rc: Lectura del hidrometro en solución dispersora.

Arc: Corrección por temperatura En el cilindro de sedimentación con solución dispersora.

W: Peso seco de la muestra

pH: Utilizando un potenciómetro. en vasos de precipitado se coloca aproximadamente 40gr. de suelo y llenar hasta la mitad del volumen del vaso con agua destilada y posteriormente tomar la lectura con el potenciómetro. (Aguilar y col., 1987).

Presencia de carbonatos: Se determinaron por titulación con hidróxido de sodio. Primero se pesan 5 gr de suelo seco a la estufa, colocar en un vaso de precipitado, agregar 100ml de ácido clorhídrico 1N, cubrir con un vidrio de reloj y agitar, dejar reposar 3 hr. Tomar 20ml del líquido y colocar en un matraz de 250ml. agregar 6 ó 8 gotas de bromotimol-azul y titular con hidroxido de sodio. (Aguilar y col., 1987).

Espacio Poroso: Por la fórmula $E=1-D_a/D_s$, donde D_a : es densidad aparente y D_s : es densidad de sólidos.

Nitrógeno Total: utilizando la sig. Fórmula:

$\% NT = \% MO / 20$, donde; % MO: Por ciento de materia orgánica.

Capacidad de intercambio cationico: utilizando la sig. Fórmula:

$CIC = (\% Arcilla * 0.5) + (\% MO * 2)$,

dónde: %MO: Por ciento de materia orgánica.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados se presentan en el siguiente orden; **Ladera controlada, ladera sin control, pie de monte controlado, pie de monte sin control, valle controlado y valle sin control**. Asimismo las características estudiadas para cada caso fueron: infiltración, cobertura vegetal y pedregosidad, fertilidad, compactación, y capacidad agrológica.

Cabe señalar que se compararon dos sitios similares de dos predios distintos el Rancho “los Angeles” y el Ejido “Tanque de Emergencia”. En el rancho se da un control por medio de potreros y en el ejido el ganado tiene libre acceso al predio, por lo que se denominó sitio sin control. Las características físicas y químicas del suelo fueron similares en los dos predios, el nivel de infiltración y la cobertura vegetal variaron al parecer en función de la explotación por parte del ganado en un lugar controlado y en otro sin control.

Ladera controlada

Infiltración: En lo que respecta a las pruebas de infiltración, los resultados indican que en el sitio ladera controlada se presentó la más alta velocidad de infiltración, la cual fue de 90.0 cm/hr en el primer minuto (Cuadro 1, Figura 7), lo que indica una mayor captación de humedad, lo cual significa que la erosión superficial es baja debido a la disponibilidad del agua lo cual propicia el crecimiento vegetal logrando un buen porcentaje de cobertura, siendo esta de aproximadamente un 20 a un 30% (Cuadro 2, Figura 8). Coincidiendo con Horton (1933), quien indica que la capacidad máxima de infiltración para cualquier evento dado, ocurre al comienzo de la misma.

Cuadro 1, Promedios de infiltración en los sitios; controlado y sin control.

Tiempo	Unidades cm/hr SIN CONTROL (Ej.)			CONTROL (Rancho)		
	Ladera	Pie de m.	Valle	Ladera	Pie de m.	Valle
1	45.0	33.0	74.0	90.0	52.5	65.0
2	45.0	30.0	53.0	52.5	30.0	56.0
5	17.5	15.0	14.3	57.5	17.5	16.7
8	20.0	17.5	12.3	42.5	25.0	16.3
13	12.0	10.2	24.0	21.0	7.5	28.6
23	4.5	6.0	14.5	12.8	2.3	18.5
38	8.5	5.5	12.7	9.5	4.0	17.3
68	6.0	3.3	9.2	14.0	10.0	11.5
128	7.0	2.0	10.3	12.9	10.3	13.9

Pedregosidad: en cuanto a pedregosidad, esta se componía principalmente de piedras muy pequeñas aunque en cantidades relativamente altas de un 20 a un 35% (Cuadro 2, Figura 8). **Fertilidad:** fue en este sitio donde se presentó la concentración más elevada de carbonatos (CO₃ 42.10%) el cual es un factor condicionante del desarrollo vegetal, razón por la cual la vegetación se componía de plantas tolerantes a este tipo de problemas (gobernadora, yuca y algunos zacates) por lo que a otros factores determinantes de fertilidad se refiere, los suelos de todo el estudio presentaron un grado de fertilidad aceptable con cantidades altas de materia orgánica de un 9.56%, nitrógeno total

en 48.0%, así como un pH de tendencia neutra el cual fue de un 7.3% (Cuadro 3, Figura 9).

Cuadro 2, Porcentaje de pedregosidad y vegetación en los anillos de infiltración.

Sitio	Sin control			Controlado		
	Muestra	Pedr.	Veget.	Muestra	Pedr.	Veget.
Ladera	1	10	10	8	3	2
Ladera	2	5	3	9	3	7
Ladera	15	5	2	10	0	3
Ladera	16	2	3	22	5	10
Pie de m.	3	0	2	23	10	5
Pie de m.	4	2	0	24	5	20
Pie de m..	17	3	2	11	1	25
Pie de m.	18	5	2	12	6	3
Valle	5	0	0	25	10	10
Valle	6	20	3	26	15	10
Valle	7	0	4	13	25	30
Valle	19	0	0	14	20	25
Valle	20	15	10	27	30	25
Valle	21	10	5	28	35	20

Cuadro 3, Propiedades físicas y químicas del suelo analizado

Muestra	gr/cm ³		%				
	DA	DS	PH	CO ₃	MO	E	NT
Ladera sc.	1.10	2.30	7.40	7.15	4.65	0.54	0.23
Pie de m. sc.	1.00	2.20	7.30	10.30	4.62	0.54	0.23
Valle sc.	1.00	2.20	7.40	8.17	4.36	0.54	0.22
Ladera c.	0.90	2.10	7.30	42.10	9.56	0.56	0.48
Pie de m. c.	1.00	2.30	7.40	17.40	5.59	0.54	0.28
Valle c.	1.00	2.40	7.30	3.86	4.75	0.57	0.24

Compactación: Por otra parte, el factor compactación se determinó en un nivel bajo por los resultados de las densidades aparente (0.9gr/cm³), de sólidos (2.10gr/cm³) y espacio poroso, este último se considero en niveles altos y aceptables (54-57%) el cual se debe al alto contenido de materia orgánica en el suelo y es un factor que propicia el desarrollo vegetal asimismo fue en este sitio donde se presento el menor porcentaje de arcillas el cual fue de 9.38%, Cuadro 4, Figura 10), las cuales propician la compactación y el porcentaje

encontrado de arenas fue el más alto siendo este de 49.38% (Figura 11), estas al ser las partículas de mayor tamaño dan lugar al espacio poroso y por lo tanto aumenta la infiltración. Pluhar y col. (1986), obtuvieron resultados similares al concluir que el alto porcentaje de arena puede incrementar la entrada al suelo.

Cuadro 4, Promedios de concentración de arcilla, limo y arena en los diferentes sitios de estudio.

Muestra	%		
	Arcilla	Arena	Limo
Ladera s.c.	34.60	22.08	43.33
Pie de m. s.c.	28.35	27.81	43.84
Valle s.c.	29.60	26.04	44.36
Ladera c.	9.38	49.38	41.25
Pie de m. c.	20.63	30.00	49.38
Valle c.	28.14	23.13	48.74

Clasificación agrológica: El sitio ladera controlada se clasifico dentro de la clase III,

Ladera sin control

Infiltración: En el sitio ladera sin control la velocidad de infiltración estimada en 45.0cm/hr en el primer minuto (Figura 7), fue menor que en ladera controlada indicando una captación menor de humedad y por lo tanto un mayor escurrimiento superficial provocando una mayor susceptibilidad a la denudación o erosión del suelo. Wood (1980), concluyó que si la cantidad de agua precipitada es mayor que la infiltración, el agua acumulada provoca escurrimientos y producción de sedimentos. Vegetación: La cobertura vegetal se vio limitada en cierta manera por el alto grado de erosión, y se calculó en un 2-10% (Cuadro 2, Figura 12). Pedregosidad: Por otra parte la pedregosidad se encontró dentro del rango de un 2-10% (Cuadro 2, Figura 12), y al igual que en el sitio ladera sin control se componía de piedras muy pequeñas. Fertilidad: Ya se menciono que todos los factores determinantes en los suelos de todo el estudio presentaron un grado aceptable en cuanto a fertilidad, con cantidades altas de materia orgánica (4.65%), nitrógeno total (23.0%), así como un pH de tendencia neutra el cual resulto de 7.40, (cuadro 3). Compactación: Por otra

parte el factor compactación respecto a densidades ($DS=2.3\text{gr/cm}^3$, $DA=1.1\text{gr/cm}^3$) y espacio poroso (54.0%) se presento constante en casi todo el lugar de estudio, y respecto a textura este fue el sitio que presento la mayor concentración de arcillas la cual es de un 34.6%, factor que como mencionamos anteriormente propicia la disminución del espacio poroso y por lo tanto el aumento de la compactación (Cuadros 3 y 4, Figura 10). Clasificación Agrológica: El sitio ladera sin control fue clasificado dentro de la clase IV.

Pie de monte controlado

Infiltración: Por otra parte en el sitio pie de monte controlado se determinó una velocidad de infiltración inicial de 52.5cm/hr, lo cual indica que la captación de humedad en esta zona es baja, esto en comparación con ladera y valle también bajo control, lógicamente se presenta erosión por los escurrimientos los cuales depositan el suelo en el valle (Cuadro 1, Figura 13). Vegetación: en este lugar la cobertura vegetal se considero entre un 3 y 25%, y la pedregosidad de entre un 1 y un 15% de incidencia (Cuadro 2, Figura 14). Evans (1984), concluyó que los suelos con mucha pedregosidad incrementan la entrada de agua al suelo, a medida que esta fluye por los bordes de las piedras. Fertilidad: en cuanto a fertilidad del lugar, se presento la segunda concentración más alta de carbonatos (17.4%) factor que como se menciona anteriormente es limitante para la vegetación y los demás factores químicos fueron considerados para todo el estudio como óptimos en los niveles de fertilidad (Cuadro 3, Figura 9). Compactación: Esta en los aspectos físicos como densidad aparente (1.0gr/cm^3), densidad de sólidos (2.3gr/cm^3) y espacio poroso (54%) (Cuadro 3) no fueron significativos al igual que en los otros sitios, pero en textura la concentración de arcillas fue de un 20.63% la cual se considera media (Figura 10) y la arena se calculó en un 30% de concentración(Figura 11). Coincidiendo en un suelo con una compactación media. Clasificación Agrológica: El sitio pie de monte controlado fue clasificado dentro de la clase III.

Pie de monte sin control

Infiltración: En el pie de monte sin control se presentó la velocidad de infiltración más baja de todos los sitios, la cual fue de 33.0 cm/hr al primer minuto (Cuadro 1, Figura 13), lo cual indica una mayor resistencia por parte del suelo a ser penetrado por el agua reflejando un grado alto de erosión por parte de los escurrimientos y por el excesivo pastoreo en el área así como una menor cantidad de humedad disponible para las plantas. Neath y Chanasyk (1995), concluyeron que el sobrepastoreo puede producir un profundo impacto sobre el paso del agua al suelo. Vegetación: Reflejado en una cobertura vegetal aproximada, de ser nula a un 2% (Figura 15). Lusby (1970), encontró que la vegetación disminuye excesivamente en áreas de sobrepastoreo. Pedregosidad: La pedregosidad también fue muy baja (0-5%) y de tamaños generalmente pequeños, aproximadamente menores a 1cm. de diámetro (Cuadro 2, Figura 15). Fertilidad: La concentración de carbonatos fue de un 10.30% (Figura 9) considerada baja, y las características físicas y químicas estuvieron dentro de los grados aceptables de fertilidad como ya se mencionó anteriormente, el espacio poroso de un 54% el cual no tuvo variación a lo largo de los predios indica una compactación media (Cuadro 3). Clasificación Agrológica: El sitio pie de monte sin control fue clasificado dentro de la clase IV.

Valle controlado

Infiltración: En el sitio valle controlado la velocidad de infiltración fue de 65.0cm/hr en el primer minuto (Cuadro 1, Figura 16), inferior solo en el principio a la del valle sin control ya que en el tiempo siguiente su velocidad fue mayor, causando una buena cantidad de humedad captada por el suelo para ser disponible a las plantas las cuales se encontraban en una cobertura desde ser nula hasta un 10% (Cuadro 2, Figura 17) esto debido a que en el centro del valle pasa el cerco que divide a los dos predios y es un paso para el ganado. Pedregosidad: la pedregosidad se consideró desde ser nula hasta un 10% en algunos lugares (Cuadro 2, Figura 17). Fertilidad: La concentración de carbonatos fue baja (3.86%) siendo este acompañado del pastoreo los principales factores en contra del desarrollo de las plantas. En cuanto a fertilidad, ya se mencionó que la mayoría de los factores físicos y químicos presentaron una estabilidad con valores ya mencionados (Cuadro 3, Figura 9). Compactación: La arcilla se determinó en un 28.14% y la arena en un 23.13%.

en los valles, la cantidad de agua infiltrada así como la velocidad de infiltración fueron muy similares por su situación geográfica. (Cuadro 4, Figuras 10 y 11). Clasificación Agrológica: El sitio valle controlado fue clasificado dentro de la clase II.

Valle sin control

Infiltración: Valle sin control: en este sitio la velocidad de infiltración inicial fue un tanto mayor que en el valle controlado (74.0 cm/hr en el primer minuto) pero después fue rebasado en el otro sitio (valle controlado) (Cuadro 1, Figura 16). Vegetación: en el valle sin control aunque las características de infiltración y del suelo fueron muy similares la cobertura vegetal (0-10%) estaba muy deteriorada por la sobre explotación que recibe el predio al no tener un control de potreros (figura 18). Fertilidad: La fertilidad se comporta de manera semiconstante al igual que en los demás sitios y la compactación por textura se comporto muy similar a el del valle controlado siendo el porcentaje de arcilla 26.90 y el de arena 26.04% (Cuadro 4, Figuras 10 y 11). Clasificación Agrológica: El sitio valle sin control fue clasificado dentro de la clase III.

Interpretación de la capacidad agrológica:

De acuerdo con los resultados obtenidos, las características de los suelos de los sitios de estudio se pueden clasificar agrológicamente de la manera siguiente.

Clase II: los suelos de la clase II, son apropiados para cultivar con métodos sencillos en forma permanente. Los métodos esenciales que probablemente se necesiten son: (1) combatir la erosión, (2) conservación de aguas, (3) drenaje simple, (4) regadío simple, (5) remoción de piedras y otros impedimentos, o (6) aumento de la fertilidad por medio de fertilizantes u otras correcciones del suelo (USDA, 1948).

Clase III: La tierra de la clase III, es apropiada para cultivo permanente utilizando métodos intensivos. Es tierra que requiere la adaptación cuidadosa e intensiva de los mejores procedimientos factibles para contrarrestar la erosión o para el aprovechamiento del suelo. Las prácticas necesarias, algunas de ellas iguales a las de la clase II son: (1) medidas contra la erosión, (2) conservación del agua, (3) drenaje, (4) métodos intensivos de riego, (5) remoción de las piedras grandes o numerosas, (6) aumento de la fertilidad mediante el empleo de fertilizantes o mejoramientos de suelo. Si el suelo es laborable y fecundo, pero queda en pendientes tan empinadas que hacen imprescindible combatir la erosión, se necesitarán diversos procedimientos. Estos pueden incluir rotaciones extensas de cultivos en fajas estrechas, terrazas y desagües, zanjias de desvío, canales, cultivos en contorno etc. (USDA, 1948).

Clase IV: la tierra de la clase IV sirve únicamente para cultivos muy limitados. Puede ser más escarpada que la tierra de la clase III, estar más desgastada o ser más susceptible a la erosión, presentar mayor dificultad para drenarla o regarla. Tener menor fertilidad o mayor soltura y porosidad, lo que la hace excesivamente permeable, o ser en alguna otra forma menos apropiada para cultivo que la tierra de la clase III. Esta tierra se aprovecha más explotándola con vegetación permanente (USDA 1948).

CONCLUSIONES

- 1.- Las principales tasas de infiltración se dan en ladera y valle, en el caso del predio controlado (rancho) con valores de: 90.0 y 65.0cm/hr (durante el primer minuto), respectivamente. en el pie de monte fue de 52.5 cm/hr comprobándose la hipótesis planteada, sin embargo en el predio no controlado también se cumplió, pero la velocidad de infiltración y por lo tanto la cantidad de agua infiltrada fue menor en todos los casos. así mismo fue en este predio donde en promedio existe mayor concentración de arcillas y por lo tanto mayor compactación.
- 2.- La mayor compactación se presentó en el predio sin control, en el cual la concentración de arcillas fue en promedio más elevada, 34.6, 28.35 y 29.6% respectivamente para ladera pie de monte y valle. Así mismo fue en este predio donde la cobertura vegetal fue menor. comprobándose la hipótesis en el apartado de vegetación, sin embargo en

función de pendiente esto no se comprobó ya que en el rancho al existir un control y dejar descansar el potrero la finalidad es la recuperación vegetal en todas las pendientes existentes, utilizando otros potreros.

- 3.- Las propiedades físicas y químicas indicadoras del nivel de fertilidad se mantuvieron muy poco variantes a lo largo de los dos sitios de estudio señalando un grado de fertilidad bueno, sin embargo la concentración de carbonatos fue mas alta en ladera y pie de monte de el predio controlado, la concentración elevada de estos carbonatos es factor que impide o limita el crecimiento vegetal, por otra parte la concentración de materia orgánica fue también mayor en estos dos lugares, la materia orgánica propicia el desarrollo vegetal balanceando el efecto de los carbonatos.
- 4.- la influencia de la infiltración en los procesos de desertificación es determinante, en los lugares dónde se determinó una mayor infiltración los cuales fueron los de el sitio controlado existe una menor denudación del suelo por los escurrimientos menores, la cobertura vegetal es mayor lo que ocasiona la aireación o espacio poroso del suelo por lo tanto una menor compactación y al haber una buena cobertura se produjo un aumento en el nivel de fertilidad, todo esto ocasiona un factor que detiene el proceso de desertificación, el cual en el potrero de estudio no fue muy significativo. Por el contrario la infiltración en el ejido fue en todos los casos menor a la de el rancho creando erosión por los escurrimientos y logicamente una menor cobertura vegetal lo que propicio una mayor compactación.

LITERATURA CITADA

- Abdel-Magid, A., G.E. Schuman, and R.H. Hart. 1987. Soil bulk density and water infiltration as affected by grazing systems. *Journal of Range Management*. 40: 262-264.
- Aguilar A., Etchevers J., J. Castellanos, 1987, Análisis Químico para evaluar la fertilidad del suelo. Editorial Trillas, D.F. México.
- Aguirre V., E.L. 1974. Utilización del pastizal. *Journal of Range Management*. 1(2):46-49.
- Aguirre V., E.L., F. Carrera. 1974. Empleo de una guía fotográfica para determinar la utilización del pastizal. VI Demostración Ganadera en el Rancho Demostrativo "El Puerto". Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Monterrey, 17p.
- Alcántar, G., Etchevers J., Aguilar A., 1992, Los Análisis Físicos y Químicos, su aplicación en agronomía. Editorial Trillas, D.F. México.
- Arredondo, D.G. 1981. Componentes de la vegetación del Rancho Demostrativo "Los Angeles". Tesis Profesional de licenciatura Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento Recursos Naturales Renovables.
- Blackburn, W.H., R.W. Knight, and M.K. Wood. 1981. Impact of grazing on Watershed. National Academy of Sciences Natural Resources. Council Coomitee

on developing strategies for rangeland Management. El Paso. Texas USA. 31 p.

Branson, F.A., G.F. Gifford., K.C. Renard, and R.F. Hadley. 1981. Rangeland hidrology. A Publications of the Society for Range Management. Kendall/Hunt Publishing Co. Dubuque, Iowa USA. 340 p.

Brooks, K.N., P.F. Folliott, H.M. Gregersen, and J.L. Thames. 1991. Hydrology and Management of watershed. Iowa State University Press. Ames, Iowa USA 392p.

Busby, F.E. and G.F. Gifford. 1981. Effects of livestock grazing on infiltration and erosion rates measured on chained and unchained Pinyon-Juniper sites in Southeastern Utah. Journal of Range Management. 34: 400-405.

Comisión Técnica de Coeficientes de Agostadero (COTECOCA)-SARH. 1979. Coahuila. 255P.

Cook, C.W., and L.A. Stoddart. 1953. The quandary of utilization and preference. Journal of Range Management. 6(5):329-335.

Coyne, P.I., and C.W. Cook. 1970. Seasonal carbohydrate reserve cycles in eight desert range species. Journal of Range Management. 23:438-444.

Dee, R.F., T.W. Box and E. Robertson, Jr. 1966. Influence of Grass Vegetation on Water Intake of Pullman Silty Clay Loam. Journal of Range Management. 19:77-79.

Dirección de Estudios del Territorio Nacional. (DETENAL). 1970 México.

Dunford, E.G. 1954. Surface runoff and erosión from pine grasslands of Colorado Front Range. Journal of Forestry 52:923-927.

Dunne, T., W. Zhang and B.F. Aubry. 1991. Effects of rainfall, vegetation and microtopography on infiltration and runoff. Water Research 27:2271-2285.

Evans, R. 1984. Mecanismos de la erosión hídrica y sus controles espaciales y temporales: un punto de vista empírico. pp 141-163. Traducción al español de:

M. J. Kirkby y R.P.C. Morgan (compiladores). Erosión de suelos. Editorial Limusa. México.

Gamogun, N.D., R.P. Smith, Wood, M.K. and R.D. Pieper. 1984. Soil Vegetation and hydrologic responses to grazing Management at Fort Stanton, New México. *Journal of Range Management*. 37(6):538-541.

Gandoy B. W., 1991 Manual de Laboratorio para el manejo físico de suelos. Editorial Trillas, D.F. México.

García, E., 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Segunda edición. Instituto de Geografía UNAM. DF. México. 246p.

Gentry, H.S. 1957. Los Pastizales de Durango. Ediciones del Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, D.F. México.

Gifford, G.F., 1984. Vegetation allocation for meeting site Requirements In: Developing Strategies for Rangeland Management. National Research Council/National Academy of Sciences Westview Press. p. 35-116.

Gifford, G.F., and R.H. Hawkins. 1978. Hydrologic impact of grazing: A critical review. *Utah. Bull Water Resources Research* 14:305.

Gifford, G.F., G. Williams, and G.B. Coltharp. 1970. Infiltration and erosion studies on pinyon-juniper conversion sites in southern Utah. *Journal of Range Management*. 23:402-406.

Gutiérrez, C.J., A. Zárate L., L.A. Natividad B. J.A. Díaz G. Y J.G. Medina T. 1988. Infiltración y producción de sedimentos en tres tipos de suelo ocupados por pastizal mediano abierto. Manejo de pastizales. SOMMAP. Vol. 2(1). Saltillo, Coahuila, México.

Gutiérrez, C.J., F.M. Smith y J.G. Medina T. 1979. Caracterización Hidrológica de la cuenca San Tiburcio, Zacatecas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento Recursos Naturales Renovables Monografía Técnico Científica. Buenavista, Saltillo, 5(4). 68 p.

Gutiérrez, C.J., S. Beltrán L. y A. Zárate L. 1990. Efecto de los tipos de vegetación y suelo sobre la infiltración y producción de sedimentos en el sureste de Coahuila. Revista Agraria. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento Recursos Naturales Renovables Buenavista, Saltillo, Coahuila. 6(1):51-65. México.

Gutiérrez, C.J., y C.M.A. Salazar. 1986. Impacto de la reforestación en la Sierra de Zapalinamé sobre las tasas de infiltración. Agraria, Revista Científica. 2(2):286-302. Saltillo, Coahuila México.

Gutiérrez, C.J., y I.I. Hernandez. 1996. Runoff and interill erosion as affected by grass cover in a semiarid rangeland of Northern México. Journal of Arid Enviroments. 34:287-295.

Hawkins, R.H., 1986. Applied Hydrology in the pinyon-juniper type. Pinyon-juniper Conference. Reno, Nevada. USA. January 13-16. pp. 493-504.

Heady, H.F. 1954. Methods of determining utilization of range forage. Journal of Range Management. 2:53-73.

Heady, H.F. 1975. Rangeland Management. Mcgraw-Hill 460 p.

Heady, H.S. 1981. Multiple used of Rangeland pp. 225-237. In: F. Morley, H.W. (Ed). Grazing Animal. World Animal Science, B1. Elsewier Sciences Publishing Company. Ambsterdam, Netherland.

Hillel, D. 1971. Soil and water, physical principles and processes. Academic Press Inc. U.S.A. 275 p.

Hodgson, 1979. Nomenclature and definitions in grazing studies. *Grass and Forage Sci.* 34(1): 11-18.

Holechek, J.L. 1981. Livestock grazing impact on public lands: A viewpoint. *Journal of Range Management.* 34:251-254.

Horton, R. E. 1933. The role of infiltration in the hydrologic cycle. *Amer. Geoph. Unich. Trans.* 14:446-460.

Huss, D.L. 1964. A glosary of terms used in range management. Society for Range Management. Denver Colorado USA.

Huss, D.L. y E.L. Aguirre. 1974. Fundamentos del Manejo de Pastizales. Departamento de Zootecnia. División de ciencias Agropecuarias y Marítimas. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Monterrey, Nuevo León México. 227 p.

Kinnel, P.I.A. 1976. Splash erosion of primary particles and aggregates. *Soil Science Journal* 40:966-968.

Kirkby, J.J. 1984. El problema. pp 15-25. En M.J. Kirkby y R. P. C. Morgan (compiladores). *Erosión de suelos.* Editorial Limusa. México.

Kittredgge, J. 1948. Forecast influences. The effect of woody vegetation on climate, water and soil. *Dover Publications Inc.* New York, USA. 394p.

Kosco, B.H. and J.W. Bartolome. 1981. Forest grazing: Past and future. *Journal of Range Management.* 34:248-251.

Kothmman, M.M., D. Bendleton, and H. Swank. 1974. A glossary of terms used in range management. Society for Range Management Denver, Colorado USA. p. 35.

Kramer, P.J. 1969. Plant and soil water relationships: A modern synthesis. McGraw-Hill series in organismic biology. McGraw-Hill Book Co. New York, USA. 482p.

Lusby, G.C., 1970. Hydrologic and biotic effects of grazing vs non-grazing near grand junction Co. Journal of Range Management. 23(4):256-259.

Mah, M.G.C., L.A. Douglas, and A.J. Ringrose-Voase. 1992. Effects of crust development and surface slope on erosion by rainfall. Journal of Soil Science. 154:37-43.

McCalla, G.R., W.H. Blackburn and L.B. Merrill. 1984 Effect of livestock grazing on infiltration rate. Edwards Plateau, Texas. Journal of Range Management. 37:265-268.

McGinty, W.A., F.E. Siemens and L.B. Merrill. 1979. Influence of soil, vegetation and grazing management on infiltration rates and sediment production of Edwards Plateau rangeland. Journal of Range Management. 32:33-37.

Medina, T., J.G. y J.A. de la Cruz. C. 1976. Ecología y control del perrito de las praderas mexicano (*Cynomis mexicanus* Merriam) en el norte de México. Monografía Técnica Científica. Departamento Recursos Naturales Renovables, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila México.

Meewing, R.O. 1970. Infiltration and Soil Erosion as Influenced by Vegetation and Soil in Northern Utah. Journal of Range Management. 23(3):185-188.

Mitchell, J.E. and R.T. Rodgers. 1985. Food habits and distribution of cattle on a forest and pasture range in northern Idaho. Journal of Range Management. 38:214-220.

Mitchell, J.K. and G.D. Bubenzer. 1984. Estimación de la pérdida de suelo.

pp 35-88. En: M.J. Kirkby y R.P.C. Morgan (compiladores). *Erosión de Suelos*. Editorial Limusa. México.

Moore, E.E., J.F. Kinsinger., R. Pitney, and J. Sainsberry. 1979. Livestock grazing Management and water quality protection (State of the art reference document). EPA-91019-79-67. U.S. Bureau of land Management. Denver, Colorado USA. 147 p.

Musgrave, G.W. 1955. How much of the rain enters the soil. In: *Water United States* Departament of Agriculture. Yearbook. 155-159p.

Naeth, M.A. and D.S. Chanasyk. 1995. Grazing effects on soil wather in Alberta Foothills fescue grasslands. *Journal of Range Management*. 48:528-534.

Naeth, M.A., Chanasyk. D.S., Rothwell, L. and Bailey, A. W. 1991. Grazing impacts on soil water in mixed prairie and grassland ecosystems of Alberta, Canada. *Journal of Soil Science* 71:313-325.

Neef, E.L. 1979. Why Rainfall Simulation. In USDA (ded). *Proccedings of the Rainfall Simulators Workshop. Science Reviews and Manuals. ARM-W-10. United States of America.*

Pereira, H.C. 1973. Land use and water resources in temperate and tropical climates. Cambridge University Press. London, 246p. Great Britain.

Pluhar, J.J., R.W. Knight and R.K. Heltschmidt. 1987. Infiltration rates and sediment production as influenced by grazing systems in the Texas rolling plains. *Journal of Range Management*. 40(3):240-243.

Rauzi, F., and F.M. Smith. 1973. Infiltration rates. Three soils with three grazing levels in Northeastern Co. *Journal of Range Management*. 26:126-129.

Sánchez, B.C., 1984. Effects of livestock grazing and exclusion on infiltration rates and sediment yields for different range sites on the Plateado watershed

Zacatecas, México. Ph.D. Dissertation. New México State University. Las Cruces, New México.U.S.A. 156p.

Sarukán, J. y J. M. Maas. 1990. Bases ecológicas para un manejo sostenido de los ecosistemas: El sistema de cuencas hidrológicas. pp 81-114. En: E. Leff (Coord.). Medio Ambiente y desarrollo en México. CIIH. UNAM. México.

Savory A. 1979. Range Management principles underlying short duration grazing. Beef Cattle Science. Handbook agronomic Services. Found Clovis CA. Journal of Range Management. 16:375-379.

Schmutz, E.M. 1971. Estimation of range use with grazed class photo guide. Cooperative Extension Service and Agriculture Experiment Station. Bull A-73. The University of Arizona. U.S.A. 15p.

Serrato, S.R., J.G. Medina T., R. Vásquez A. 1983. Respuesta del pastizal mediano abierto a diferentes sistemas de pastoreo. Monografía Técnico Científica. Departamento Recursos Naturales Renovables, Universidad Autónoma Agraria Antonio narro. Saltillo, Coahuila. 84p.

Shankarnarayan, K.A., K.D. Sharma, and A. K. Kalla. 1987. Effect of grazing on runoff and soil loss in Kailana Rhyolite Basins. Annals of Arid Zone. 26:111-113.

Sierra, T.J.S. 1980. Identificación de las gramíneas, por sus características vegetativas, del Rancho Demostrativo “Los Angeles”. Tesis profesional Departamento Recursos Naturales Renovables, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila.

Spurr, S.H. and B.V. Barnes. 1973. Forest ecology. 2nd. Edition. The Ronald Press Company. New York, USA. 571p.

Stoddard, C.H. 1978. Essentials of forestry practice. 3ª edición. John Wiley and Sons, Inc. USA. 387p.

Tamhane, R.L., R.W. Miller y J. C. Shicluna. 1981. *Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas*. Editorial Prentice Hall International. Bogotá, Colombia. 624p.

Thurow, T.L., W.H. Blackburn and C.A. Taylor Jr. 1986. Hydrologic Characteristics of vegetation types as affected by livestock grazing systems. Edwards Plateau, Texas. *Journal of Range Management* 39(6):505-508.

United States Department of Agriculture, (USDA) *Manual de Conservación de Suelos*. 1948.

Villa, J.C., 1996. *Impacto del Sobrepastoreo Sobre las Características Físicas y Químicas del Suelo en un Pastizal Arido*. pp 42-46. Tesis profesional Departamento Recursos Naturales Renovables. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila México.

Warren, S.D., W.H. Blackburn, and C.A. Taylor Jr. 1986a. Soil hydrologic response to number of pastures and stocking density under intensive rotation grazing. *Journal of Range Management*. 39:500-504.

Warren, S.D., W.H. Blackburn, and C.A. Taylor Jr. 1986b. Effects of season and stage of rotation cycle on hydrologic condition of rangeland under intensive rotation grazing. *Journal of Range Management*. 39(6):486-490.

Wilcox, B.P. and M.K. Wood. 1988. *Hydrologic impacts of sheep grazing on step slopes in Semiarid Rangelands*. *Journal of Range Management*. 41(4):303-306.

Wilcox, B.P., M.K. Wood, and J.M. Tromble. 1988. Factors influencing infiltrability of semiarid mountain slopes. *Journal of Range Management*. 41:197-206.

Wilcox, B.P., M.K. Wood, J.M. Tromble, and T.J. Ward. 1986. A hand portable single nozzle rainfall simulator designed for use on steep slopes. *Journal of Range Management*. 39:375-379.

Wolters, G.L. 1981. Timber thinning and protected longleaf pine range. *Journal of Range Management*. 34:494-446.

Wood, M.K., and W.H. Blackburn. 1981a. Grazing systems: Their influence on infiltration rates in the Rolling Plains of Texas. *Journal of Range Management*. 34:331-335.

Wood, M.K., and W.H. Blackburn. 1981b. Sediment production as influenced by livestock grazing in the Rolling Plains. *Journal of Range Management*. 34(3):228-231.

Wood, M.K., W.H. Blackburn., H.A. Pearson and T.K. Hunter. 1989. Infiltration and runoff water quality response to silvicultural and grazing treatments on a Longleaf Pine Forest. *Journal of Range Management*. 42(5):378.381.