

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
DIVISIÓN DE CIENCIAS SOCIOECONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE SOCIOLOGIA**



**ESTUDIO DE INFILTRACIÓN EN EL CAMPO EXPERIMENTAL DE ZONAS
ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS NORIA DE GUADALUPE, CONCEPCION DEL
ORO, ZACATECAS**

POR:

OSCAR SALAZAR HERNANDEZ

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener

El Título de:

INGENIERO AGRONOMO EN DESARROLLO RURAL

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO

JUNIO DE 2008

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIAS SOCIOECONÓMICAS**

**ESTUDIO DE INFILTRACIÓN EN EL CAMPO EXPERIMENTAL DE ZONAS
ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS NORIA DE GUADALUPE, CONCEPCION DEL
ORO, ZACATECAS**

Por:

OSCAR SALAZAR HERNANDEZ

TESIS

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

INGENIRO AGRÓNOMO EN DESARROLLO RURAL

**Ing. Juan Manuel Peña Garza
Presidente**

**M. C. Luis Morales Quiñones
Sinodal**

**Dr. José Duñez Alanís
Sinodal**

**M. A. E. TOMAS E. ALVARADO MARTÍNEZ
Coordinador de la División de Ciencias Socioeconómicas**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Junio de 2008**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÒN DE CIENCIAS SOCIOECONÒMICAS

**ESTUDIO DE INFILTRACIÒN EN EL CAMPO EXPERIMENTAL DE ZONAS
ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS NORIA DE GUADALUPE, CONCEPCION DEL
ORO, ZACATECAS**

Por:

OSCAR SALAZAR HERNANDEZ

TESIS

**Que somete a consideraciòn del H. Jurado examinador como requisito
parcial para obtener el título de:**

INGENIRO AGRÒNOMO EN DESARROLLO RURAL

Aprobada por:

Dr. José Duñez Alanís
Director de Tesis

Ing. Juan Manuel Peña Garza
Asesor

M. C. Luis Morales Quiñones
Asesor

M. A. E. TOMAS E. ALVARADO MARTÍNEZ
Coordinador de la División de Ciencias Socioeconómicas

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Junio de 2008

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÒN DE CIENCIAS SOCIOECONÒMICAS

**ESTUDIO DE INFILTRACIÒN EN EL CAMPO EXPERIMENTAL DE ZONAS
ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS NORIA DE GUADALUPE, CONCEPCION DEL
ORO, ZACATECAS**

Por:

OSCAR SALAZAR HERNANDEZ

TESIS

**Que somete a consideraciòn del H. Jurado examinador como requisito
parcial para obtener el título de:**

INGENIRO AGRÒNOMO EN DESARROLLO RURAL

Aprobada por:

M. C. Luis Morales Quiñones
Director de Tesis

Ing. Juan Manuel Peña Garza
Asesor

Dr. José Duñez Alanís
Asesor

M. A. E. TOMAS E. ALVARADO MARTÍNEZ
Coordinador de la Divisiòn de Ciencias Socioeconòmicas

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Junio de 2008

DEDICATORIA

A mis padres: Petra Hernández Cruz y Fidel Salazar Cruz

A esa dos personas tan maravillosa que les agradezco de haberme dado la vida, a esas personas tan humilde que me dieron sus consejos y que día a día se esforzaron por mi, a ellos con mucho cariño y amor de haberme apoyado económicamente y moralmente.

A mis hermanos(a) que son: Guadalupe, Alejandro, Matilde, Florencia, Froylan, Maricela, Adelina y para Rodolfo (+). A todos ellos les agradezco tanto por el gran apoyo que me brindaron y por ser las personas mas lindas que dios a ha dado en esta vida.

Para mis sobrinos(a) que son: Andrés, María del Rosario, Araceli, María del Carmen, Fabián, Eduviges, Griselda, Norma, Alama Lizbeth, Alitzel, Ezequiel, Uriel, yoselin, Alan yair y a una que para mi es como mi primer hija Anayansi, para todos ellos con mucho amor.

Para mis abuelitos(a) la Sr. Rutilia cruz, Atilano Salazar (+), María Crisanta y Prisciliano (+).

Para toda la familia Salazar y la familia Hernández por el apoyo y consejos que me dieron durante mi estancia en la universidad.

AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Terra Mater, “Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro” por abrirme sus puertas y permitirme pasar otra etapa mas de mi vida profesional.

En especial al Dr. José Duéñez Alanís. Por su valiosa paciencia y el tiempo que dedico para la realización de este trabajo, por su asesoría del trabajo. Gracias al apoyo y por haberme enseñado a ser un profesionista y por su gran amistad que me brindo.

Ing. Juan Manuel Peña Garza. Por darme la confianza y colaborar en la revisión de este trabajo.

M. C. Luis Morales Quiñones. Por su participación y apoyo dentro del proyecto

Dr. Jorge Méndez González por su participación dentro del proyecto.

A Jesús Héctor Cabrera Hernández. Por el apoyo que me brindo en la realización de datos de campo que se realizaron para este trabajo.

Al Asistente Técnico Francisco de Asís García Martínez por su ayuda en la realización del trabajo de campo para la toma de datos.

Para Fabián Tello Adonis. Que para mi es como un hermano durante mi estancia en la Universidad y por su ayuda en la realización de los datos de campo.

Dra. Manuela Bolívar Duarte por su colaboración en investigación y análisis de datos del laboratorio.

Biol. Silvia Guerrero Martínez Por colaboración en el análisis de datos de Campo en el laboratorio.

Biol. Socorro Míreles Vásquez por su colaboración en el análisis de de datos de campo en el laboratorio.

A los Trabajadores de Campo asignados en el Campo Experimental de Zonas Áridas y Semiáridas Noria de Guadalupe, Zacatecas: Máx, Pancho y Vicente. Gracias por su colaboración.

A todos los maestros del Departamento de Sociología Rural por brindarme sus conocimientos y dedicación en toda mi carrera, en especial para el Ing. Juan Manuel Peña garza, Ing. José Domínguez Vázquez, Ing. Rafael de la Rosa, Ing. Carmen Leticia Ayala, Ing. Lorenzo López Barbosa, a todos ellos gracias por brindarme su apoyado.

INDICES DE CONTENIDO

	Pagina
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
INDICE DE FIGURA.....	viii
INDICE DE CUADRO.....	ix
INTRODUCCION.....	1
Objetivos Generales.....	3
Objetivos Específicos.....	3
Hipótesis.....	3
REVISION DE LITERATURA.....	4
INFILTRACION.....	4
Factores que Afectan la Infiltración.....	6
Medición de la Infiltración.....	6
Estudios de Infiltración.....	7
MATERIALES Y METODOS.....	9
Descripción del Área de Estudio.....	9
Localización.....	9
Clima.....	9
Suelo.....	9
Vegetación.....	10
Metodología.....	10
Simulación de Lluvia.....	10
Intensidad de lluvia.....	12
Estimación de la Tasa de Esgurrimiento.....	12
Estimación de la Tasa de Infiltración.....	13
Estimación de la Cobertura Vegetal.....	13
Estimación de Variables Hidrológica del Esgurrimiento.....	13
Análisis Estadístico.....	14
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
CONCLUSIONES.....	26
RESUMEN.....	27
LITERATUDA CITADA.....	29

INDICE DE FIGURA

	Pagina
Figura 1. Simulador de lluvia portátil de boquilla simple (Wilcox et al., 1986)	12
Figura 2. Valores promedio de la tasa de infiltración (cm h^{-1}) determinados en el Campo Experimental de Zonas Áridas y Semiáridas Noria de Guadalupe, Concepción del Oro, Zacatecas, México	15
Figura 3. Valores promedio de la tasa de infiltración (cm h^{-1}) por intensidad de lluvia simulada en los sitios de estudio en el Campo Experimental de Zonas Áridas y Semiáridas Noria de Guadalupe, Concepción del Oro, Zacatecas, México	16
Figura 4. Valores promedio de la tasa de infiltración (cm h^{-1}) bajo cobertura y sin cobertura en los sitios de estudio del Campo Experimental de Zonas Áridas y Semiáridas Noria de Guadalupe, Concepción del Oro, Zacatecas, México	18

INDICE DE CUADRO

	Pagina
Cuadro 1. Valores promedio de la tasa de infiltración (cm h-1) estimados por intensidad de lluvia aplicada en los sitios de estudio del Campo Experimental de Zonas Áridas y Semiáridas Noria de Guadalupe, Concepción del Oro, Zacatecas, México	17
Cuadro 2. Valores promedio de la tasa de infiltración (cm h-1) estimados bajo o sin cobertura en los sitios de estudio del Campo Experimental de Zonas Áridas y Semiáridas Noria de Guadalupe, Concepción del Oro, Zacatecas, México	19
Cuadro 3. Valores estimados de la cobertura del suelo en el interior de las parcelas de simulación de lluvia	22
Cuadro 4. Valores estimados de la cobertura del suelo al exterior de las parcelas de simulación de lluvia)	23
Cuadro 5. Variables hidrológicas determinadas durante las pruebas de simulación de lluvia en el Campo Experimental de Zonas Áridas y Semiáridas Noria de Guadalupe, Concepción del Oro, Zacatecas, México	24
Cuadro 6. Matriz del análisis de correlación entre las variables hidrológicas y los diferentes tiempos de estimación de las tasas de infiltración en el Campo Experimental de Zonas Áridas y Semiáridas Noria de Guadalupe, Concepción del Oro, Zacatecas, México	25

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las poblaciones rurales en las zonas áridas y semiáridas del norte de México esta basado en el aprovechamiento de los recursos naturales de la región. Este desarrollo se encuentra limitado por las condiciones ambientales, principalmente por la precipitación. No obstante, el modo de vida de las comunidades rurales también requiere de transferir conocimiento y tecnologías adaptadas a las condiciones de estas regiones. Al implementar acciones para su desarrollo, como es el uso y manejo de los recursos naturales, se debe llevar una planeación estratégica. Esto, requiere del amplio conocimiento y estado actual de los recursos naturales, incluyendo el recurso agua.

Frente a este estado actual, es fundamental buscar estrategias viables para que respondan a las necesidades más inmediatas de las zonas rurales. Del mismo modo, al implementar cualquier programa de uso y manejo, bajo una planeación estratégica, se podrá tomar las decisiones más apropiadas ante dichas condiciones actuales.

De tal forma que, los programas de desarrollo rural para las zonas áridas y semiáridas, bajo una planeacion estratégica, deben tener un conocimiento del ciclo hidrológico. Al ser la precipitación la fuente primaria de abasto del recurso agua, se hace necesario tener un conocimiento amplio de los procesos hidrológicos, incluyendo su régimen. Sin embargo, siendo la precipitación un proceso que no se puede manipular y controlar, el proceso más importante y poco estudiado del ciclo hidrológico es la infiltración. Este proceso es el que determina cuanta agua entra al suelo o fluye en la superficie del suelo. El agua que entra al suelo se distribuye para las plantas, llega a mantos acuíferos o a cauces de arroyos y ríos. En la superficie, se constituye como escurrimientos y puede ser almacenado en bordos, entarquinamientos o represas, producir erosión o inundaciones.

Así, la infiltración de un suelo, con características y condiciones dadas en tiempo y espacio, posee un rol fundamental en los procesos del balance de agua como respuesta a la relación precipitación-infiltración en una cuenca. La magnitud de las lluvias, pueden producir escorrentías, afectando el régimen de agua para los demás procesos de evaporación, transpiración, interceptación y agua almacenada.

La tasa de infiltración depende de muchos factores de suelo, vegetación y precipitación, por lo que su estimación es un indicador de los parámetros que la condicionan. En este sentido, el proceso de infiltración en el suelo ha sido estudiado por su importancia en el manejo del agua en la conservación del recurso suelo y las actividades silvoagropecuarias.

Estos estudios de hidrología son muy importantes para conocer las relaciones de vegetación, suelo y agua. El análisis de los recursos basados en el recurso agua en un área, sobre el manejo y estado actual de los recursos naturales permitirá prevenir sus efectos y establecer mejores prácticas para el aprovechamiento y utilización de los recursos naturales potenciales y proteger aquellos que se encuentran en condiciones con algún grado de deterioro o degradación inducido por falta de un mejor manejo.

Así, la función de infiltración que se estudia, en principio con una visión y un carácter puntual, incide en forma evidente en cuestiones de manejo a los recursos naturales, como el uso que se le debe de dar a la tierra de acuerdo a su disponibilidad, sea agrícola, pecuaria, forestal o rural-urbana.

Objetivos Generales

Los objetivos planteados en el presente estudio son:

Generar un conocimiento del proceso de infiltración en la región norte del estado de Zacatecas, México.

Analizar la relación de vegetación y variables hidrológicas sobre el proceso de infiltración en el norte de Zacatecas, México.

Objetivos específicos

Los objetivos específicos para el presente estudio son:

Determinar las tasas de infiltración en el Campo Experimental de Zonas Áridas y Semiáridas Noria de Guadalupe, Concepción del Oro, Zacatecas, México.

Analizar la influencia de algunas características seleccionadas de vegetación y del escurrimiento que influye la infiltración en el Campo Experimental de Zonas Áridas y Semiáridas Noria de Guadalupe, Concepción del Oro, Zacatecas, México.

Hipótesis

La entrada de agua al suelo en el área de influencia del Campo Experimental de Zonas Áridas y Semiáridas Noria de Guadalupe, Concepción del Oro, Zacatecas, México, es influenciada por las características de la vegetación.

REVISION DE LITERATURA

INFILTRACION

La infiltración es el proceso por el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el interior (Hillel, 1971). Es considerado un fenómeno estrictamente superficial y representa solo una parte del ciclo hidrológico (Davis y DeWeist, 1974). El proceso consiste en tres fases, los cuales son: entrada a través de la superficie del suelo, almacén dentro del suelo y transmisión dentro del suelo (Dunne y Leopold, 1978).

En una primera etapa satisface la deficiencia de humedad del suelo en una zona cercana a la superficie, y posteriormente superado cierto nivel de humedad, pasa a formar parte del agua subterránea, saturando los espacios vacíos (Gutiérrez *et al.*, 1990).

Si se aplica agua a determinada superficie del suelo, a una intensidad uniforme, se llegara a un punto en que comience a exceder la tasa del suelo para absorber agua y el exceso se acumula sobre la superficie como agua en detención, posteriormente escurre si las condiciones de pendiente lo permiten.

El movimiento del agua, a través de la superficie del suelo y hacia el interior del mismo, se produce por la acción de la fuerza gravitacional y capilar. Juega un papel de primer orden en la relación lluvia-escurrimiento y, por lo tanto, en los problemas de manejo de los recursos naturales, diseño y predicción asociados a la dimensión y operaciones a obras hidráulicas, etc. (Gutiérrez *et al.*, 1990; Aparicio, 2005).

El tipo de vegetación y cantidad de cubierta vegetal puede modificar la relación suelo-agua de un sitio, y el manejo en muchas ocasiones es

utilizado para mejorar la cubierta vegetal, de manera que también mejora las tasas de infiltración; controlados por factores vegetativos, edáficos y topográficos (Wood y Blackburn, 1981).

Del agua infiltrada se proveen todas las plantas terrestres; alimenta al agua subterránea y a la mayoría de los ríos y arroyos perennes en el período de estiaje. Con tasas altas de infiltración los riesgos de inundaciones se reducen y la erosión del suelo disminuye.

Durante el proceso de infiltración existe un intercambio en la parte superior del suelo, entre el agua y la atmósfera, esto es por medio de la evaporación debido al movimiento capilar o por medio de la transpiración de las plantas, una transmisibilidad por la acción de la gravedad que supera a la capilaridad y obliga al agua a desplazarse verticalmente hasta encontrar una capa impermeable, y una circulación del agua que se acumula en el subsuelo debido a la presencia de una capa impermeable y empieza a circular por la acción de la gravedad, debido a las leyes del escurrimiento subterráneo (Aparicio, 2005).

El flujo de agua que el perfil del suelo puede absorber a través de su superficie es cuando se mantiene en contacto con ella, mientras la tasa entrada de agua penetra tan rápido como es suministrada, por lo que su proceso es controlado por la cantidad existente. Sin embargo, una vez se excede la tasa de infiltración por la cantidad de agua en a superficie del suelo, es la matriz del suelo la que determina la infiltración (Gurovich, 1985).

La utilización efectiva de la precipitación depende en primer lugar de la capacidad del suelo para absorber el agua precipitada (Hillel, 1971). Cuando el agua precipitada cae sobre la superficie del suelo se infiltra hacia capas mas profundas. Al ser mayor la cantidad de agua precipitada a la capacidad

de retención, el agua infiltrará hacia zonas donde las raíces de las plantas no pueden acceder.

Factores que Afectan la Infiltración

Aparicio (2005) menciona que los factores que determinan la entrada de agua a los suelos, destacan los siguientes: Textura del suelo, cobertura vegetal, contenido de humedad inicial, compactación, contenido de humedad, uso del suelo, aire atrapado y temperatura.

A escala de parcela, la vegetación es uno de los principales factores que condiciona la infiltración (Puigdefábregas y Sánchez, 1996) y se pueden producir cambios en las propiedades del suelo y en la propia vegetación.

Existen diferentes factores que son importantes para obtener una alta infiltración. Como es el rompimiento de la costra que se forma sobre la superficie del suelo que evita que el agua penetre sobre este. Otra manera es mantener la cubierta de material orgánico de plantas y el crecimiento y desarrollo de raíces que rompiendo el suelo y facilitan la percolación del suelo.

Trabajos recientes han puesto de manifiesto que como consecuencia del proceso de infiltración, que cuando la intensidad de la precipitación alcanza 50 a 100 mm h⁻¹, la infiltración se puede reducir notablemente en relación con la de una superficie agrícola recién labrada (Taboada, 1998).

Medición de la infiltración

El aparato que sirve para medir la infiltración se llama infiltrómetro. Estos pueden diferir considerablemente en sus estimaciones de un sitio a otro relativamente cercano, por lo que las mediciones hechas con infiltrómetro solo pueden considerarse en áreas pequeñas. Se clasifican en dos tipos:

Simuladores de lluvia, en los que se aplica el agua en cantidades similares a la lluvia natural y de carga constante, en los que se coloca una lamina constante de agua sobre el suelo dentro de un área cerrada (Aparicio, 2005).

Estudios de Infiltración

Las regiones áridas y semiáridas se caracterizan por la elevada variabilidad espacial y temporal de las precipitaciones (Slatyer y Mabbut, 1964), la heterogeneidad en la capacidad de infiltración, la presencia de escurrimientos fugases y erosión de los suelos (Puigdefábregas *et al.*, 1999).

En formaciones vegetales dominadas por especies arbustivas leñosas se produce intercepción de lluvia por el dosel y troncos de las mismas, disminuyendo su energía cinética y facilitando una absorción eficiente de agua por el suelo (Haworth y McPherson, 1994).

Gómez *et al.* (2001) en Córdoba, España compararon diferentes técnicas para analizar la infiltración y la esorrentía, utilizaron entre ellos un simulador de lluvia, anillos de tensión e infiltrómetros de tensión. Encontraron que la conductividad hidráulica estimada con el simulador de lluvia y el infiltrómetro de tensión fueron significativamente mejores que las otras técnicas utilizadas.

Sánchez (2002) estudiaron el proceso de infiltración en una forestación de encino carrasca (*Quercus ilex*) en un ambiente árido. Señalan que el suelo tuvo un incremento de la tasa de entrada de agua al suelo, beneficiando un mejor crecimiento de las plantas, y se relacionó con el contenido de materia orgánica.

En el altiplano de Aguascalientes y norte de Jalisco, Flores *et al.* (2006) estudiaron la influencia del gatuño (*Mimosa monancistra Benth*), den 7

fuera del dosel, sobre la entrada de agua al suelo. Encontraron que hay una mayor cantidad de agua que entra en condiciones de dosel que fuera del mismo. Por lo anterior, lo consideran una especie ecológicamente benéfica en los ecosistemas áridos y semiáridos.

MATERIALES Y METODOS

Descripción del Área de Estudio

El estudio se realizó en el Campo Experimental de Zonas Áridas y Semiáridas Noria de Guadalupe, Zacatecas, propiedad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, durante los meses de diciembre 2007 a abril 2008.

Localización. Se localiza en el Ejido Noria de Guadalupe, Municipio de Concepción del Oro, Zacatecas; se encuentra a 20 Km. al sur de la cabecera municipal, sobre la carretera 54 Saltillo-Zacatecas y forma parte de la cuenca del valle de San Tiburcio, se ubica geográficamente en las siguientes coordenadas geográficas 101° 22' de Longitud Oeste y 24° 21' de Latitud Norte, la altura es de 1780 a 1850 msnm.

Clima. De acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificada por García (1969), este lugar presenta un clima del tipo Bw_{ohw}" (e), con veranos calientes e inviernos frescos, su precipitación se presenta en dos temporadas, separadas por una época seca; la media anual es de 290.6 mm, cae alrededor de 85 por ciento entre julio y octubre; con una temperatura media anual de 14.8 °C, la evaporación potencial anual de 2200 mm (Gutiérrez *et al.*, 1979).

Suelo. Los tipos de suelos que se encuentran en esta área se clasifican en Xerosol háplico. Se caracterizan por tener una capa superficial de color claro y muy pobre en humus. Debajo de ella puede haber un subsuelo rico en arcillas, o bien muy semejante a la capa superficial. Gutiérrez *et al.* (1979) mencionan que el terreno en el área de estudio presenta una pendiente que fluctúa entre tres y ocho por ciento, suelos con profundidad variable y

pudiendo llegar hasta 1.5 m, la textura varia de franco limoso a franco limoso, estructura en bloques subangulares, consistencia dura en seco y plástica en húmedo y con un pH variado de 7.5 a 8.0.

Vegetación. La vegetación se clasifica como Matorral Desértico parvifolio constituido por gobernadora (*Larrea tridentata*), hojasèn (*Flourensia cernua*), costilla de vaca (*Atriplex cenenscens*), nopal rastrero (*Opuntian rastrera*), tasajillo (*Opuntia leptocaulis*), zacate banderita (*Bouteloua curtispindula*), zacate velloso (*Bouteloua hirsuta*), y zacate borreguero (*Erioneuron pulchellum*), (Gutiérrez *et al.*, 1979). Una de las comunidades más importante del desierto de Chihuahuense y que se encuentran en el área son los matorrales. Estas formaciones pueden ser climáticas o bien por degradación de los pastizales, los cuales juegan un rol muy importante en los distintos procesos del ecosistema. Dentro de esta comunidad existe tres especies muy importantes por su distribución: gobernadora, hojasèn y costilla de vaca, las cuales cada una de ellas presentan una arquitectura diferente y modifican de manera diferente los procesos del ecosistema (Pérez *et al.*, 1993).

Metodología

Simulación de Lluvia

Los simuladores de lluvia son instrumentos de investigación muy útiles para obtener datos de infiltración, erosión y escorrentía. Al simular la lluvia natural, el análisis de los datos de infiltración-escorrentía debe hacerse cuidadosamente y efectuar una buena interpretación de los resultados para obtener una información viable en las condiciones que ha sido aplicado la lluvia (Wilcox *et al.*, 1986; Duñez-Alanís y Návar, 2006).

Existen diversos tipos de simuladores, los más comunes son de rocío, aspersión y de flujo; pueden ser fijos, semiportátiles y portátiles. Se caracterizan por aplicar agua a la superficie del suelo delimitada por parcelas de diferente forma, siendo abastecida desde un depósito móvil o fijo y

bombeada hasta la salida, sea esta de discos o boquillas de aspersión. El simulador de lluvia que se utilizó está formado por una estructura metálica con forma de pirámide truncada elaborada con tubos galvanizados de 2.54 cm. de diámetro. Los extremos telescópicos permiten adaptar el simulador a la pendiente del terreno. En la parte superior, consta de una placa metálica en la cual se conecta una boquilla de aspersión como sistema generador de lluvia. Este sistema genera un modelo de aspersión con una zona de impacto circular, obteniendo ángulos de aspersión.

Se utilizó simultáneamente un par de simuladores de lluvias por sitio, similares al descrito por Wilcox *et al.* (1986), pero con diferente tamaño de boquilla de aspersión para generar alta y moderada intensidad de agua aplicada, en 11 parcelas cada uno. De manera alterna, los simuladores de boquilla pequeña y grande, se ubicaron bajo cobertura vegetal y en suelo desnudo; para una representatividad de parcelas en estudio de 11 bajo cobertura vegetal y 11 en suelo desnudo. El agua se aplicó sobre parcelas de 1444 cm², ajustando la altura y centrando la boquilla a la parcela a una altura de 1.52 m y tener una representatividad hasta el 36 % de la energía cinética de la lluvia (Figura 1) (Wilcox *et al.*, 1986). Por las diferencias de la boquilla en los simuladores, la intensidad de lluvia aplicada fue diferencial, siendo medida con dos pluviómetros colocados dentro de cada parcela; además, se calibró previo a las pruebas de simulación. El suministro de agua fue bombeada desde un depósito de 450 litros con una bomba de agua de ½ hp con 3400 rpm y 1 pulgada de salida. En la parte superior del simulador se colocó un flujómetro para regular la salida uniforme de agua por la boquilla de aspersión y tener la misma cantidad de presión de agua en ambos simuladores. La aplicación de agua se hizo durante 40 min, midiendo el volumen del escurrimiento (*I*) a intervalos de 5 min.

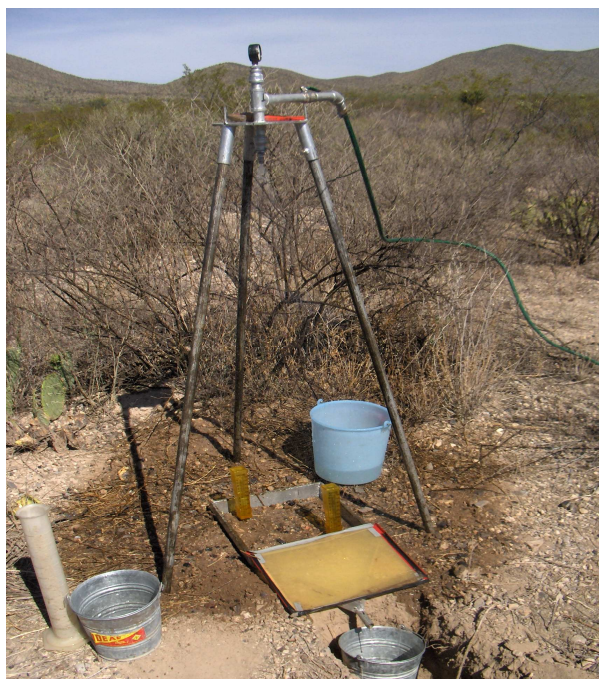


Figura 1. Simulador de lluvia portátil de boquilla simple (Wilcox *et al.*, 1986)

Intensidad de Lluvia

La Intensidad de Lluvia (cm h^{-1}) fue estimada en forma directa mediante la lectura de la precipitación (cm) registrada en los pluviómetros en cada periodo de tiempo, obteniendo la intensidad promedio de la lectura en los pluviómetros en cada periodo de 5 min y su relación a una hora.

Estimación de la Tasa de Escurrimiento

A partir del volumen de agua (l) recolectado en cada parcela donde se simuló la lluvia, se estimó la tasa de escurrimiento en los intervalos de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 min, utilizando recipientes para su recolección y medidos con una probeta de 1000 ml. El cálculo se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Tasa de escurrimiento (cm h}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Volumen escurrido (l)}}{\text{Área de la Parcela (cm}^2\text{)}} * \frac{12 \text{ periodos}}{60 \text{ min}}$$

Estimación de la tasa de Infiltración

Las tasas de infiltración se estimaron por la diferencia de la intensidad de lluvia aplicada (cm h^{-1}) y la tasa de escurrimiento (cm h^{-1}) en cada periodo de 5min, de la siguiente manera:

$$\text{Tasa de infiltración (cm hr}^{-1}\text{)} = \text{Intensidad de Lluvia (cm hr}^{-1}\text{)} - \text{Tasa de Escurrimiento (cm hr}^{-1}\text{)}$$

Estimación de la Cobertura Vegetal

La cobertura vegetal fue medida dentro y fuera de la parcela donde se simuló la lluvia, en ambas mediciones se realizaron por el método de puntos de contacto (Pieper, 1973) modificado a un transecto de línea, se hicieron dos líneas, paralela y trasversal a la pendiente del terreno. Dentro de la parcela, los puntos de contacto fueron distanciados a 4 cm, para un total de 20 contactos, mientras el exterior se realizó dos líneas de 10 m a partir del centro de la parcela y contactos a 20 cm, para un total 100 contactos. Las coberturas vegetales estimada en ambas mediciones fueron de gramíneas, arbustivas, herbáceas, material orgánico, microflora, pedregosidad, rocas y suelo desnudo.

Estimación de Variables Hidrológicas del Escurrimiento

Durante las pruebas de simulación de lluvia, se estimó el tiempo (seg.) del agua en detención, el tiempo (seg.) de inicio y final del goteo y del escurrimiento y después de finalizada la prueba de simulación lluvia se midió el volumen de agua en tránsito (*ml*).

Análisis Estadístico

Diseño Estadístico. Para cumplir con los objetivos planteados, los datos de la tasa de infiltración para cada periodo de tiempo fueron analizados en un diseño Completamente al Azar con arreglo de factores en dos niveles: bajo y sin cobertura vegetal y alta y moderada intensidad de lluvia aplicada. En los casos donde se encontraron diferencias estadísticas se aplicó la separación de medias por el método de Tukey a un nivel del cinco por ciento.

Análisis de Regresión Lineal Múltiple y Correlación. Para determinar los factores de la cobertura de vegetación interna y externa que influyen las tasas de infiltración en cada periodo de tiempo se realizó un análisis de regresión lineal múltiple. Previo al análisis, se procedió a transformar las variables de cobertura vegetal a valores estándares para asumir una distribución normal mediante la raíz del valor más 0.5 (Hann, 1977).

Para conocer la dependencia de las variables hidrológicas del escurrimiento con las tasas de infiltración se realizó una correlación parcial y se desestimaron aquellas con un coeficiente menor al cinco por ciento.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos de la estimación de la tasa promedio de la infiltración (cm h^{-1}) en el Campo Experimental de Zonas Áridas y Semiáridas Noria de Guadalupe, Zacatecas se muestra en la Figura 2. En la figura se observa la curva de la tendencia con un modelo potencial que explica un 85 por ciento de los datos. De todos los sitios en el área de estudio, el decremento de los valores promedio es aproximado a un 11 por ciento y un intercepto inicial de 49.7 cm h^{-1} . Estos resultados tienen la implicación que el suelo exhibirá valores que alcanzan tasas de infiltración constantes en corto tiempo, al considerar que un decremento del 10 por ciento a través del tiempo, de un períodos a otro (5 min), se considera una infiltración constante en un modelo típico del proceso. Esta tasa es dada por características del suelo como la textura, estructura y contenido de humedad, y al llegar a capacidad de campo el agua se desplaza en el interior del suelo por las fuerzas capilares y de gravedad, lo cual permite admitir agua en la superficie del suelo (Hillel, 1971; Campos, 1983).

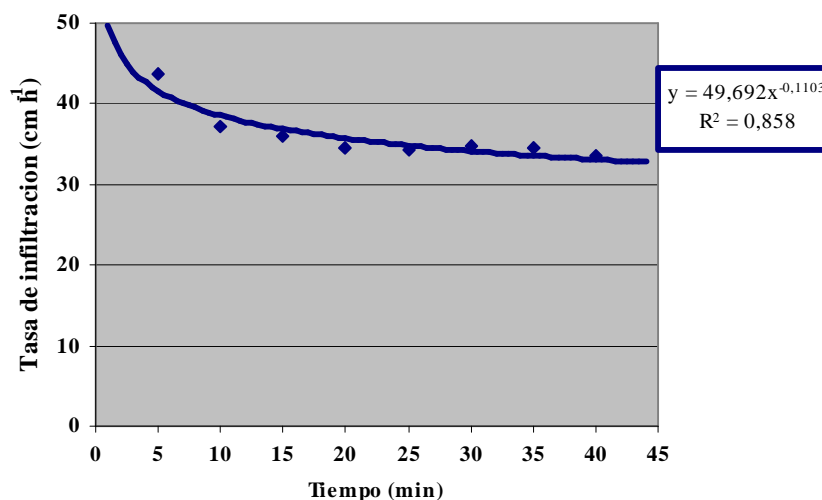


Figura 2. Valores promedio de la tasa de infiltración (cm h^{-1}) determinados en el Campo Experimental de Zonas Áridas y Semiáridas Noria de Guadalupe, Concepción del Oro, Zacatecas, México.

Los resultados de los valores promedio de la tasa de infiltración (cm h^{-1}) por intensidad aplicada en los diferentes sitios de estudio en el área del Campo Experimental de Zonas Áridas y Semiáridas Noria de Guadalupe, Zacatecas se muestran en la Figura 3. Se observa que a cualquier periodo de tiempo los valores promedio de la tasa de infiltración son más altos al aplicar una mayor intensidad de lluvia simulada que al aplicar una moderada intensidad. Esto, es explicado por la cantidad de agua disponible sobre la superficie del suelo para ser admitida. Asimismo, se observa que los valores promedio constante de las tasas de infiltración se alcanzan rápidamente a partir de los 15 min.

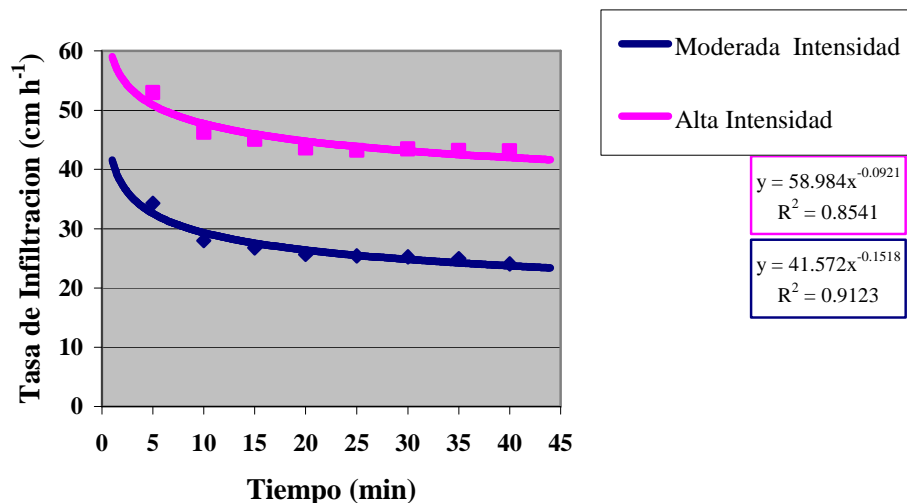


Figura 3. Valores promedio de la tasa de infiltración (cm h^{-1}) por intensidad de lluvia simulada en los sitios de estudio en el Campo Experimental de Zonas Áridas y Semiáridas Noria de Guadalupe, Concepción del Oro, Zacatecas, México.

Al realizar el análisis estadístico de los valores de la tasa de infiltración (cm h^{-1}) en cada intervalo de tiempo se encontró que estos fueron altamente significativos (Cuadro 1). Esto es, los suelos responden diferente a la cantidad de agua disponible en la superficie del suelo, siendo estadísticamente mayor los valores de la tasa de infiltración cuando se aplicó alta intensidad.

En la práctica, los suelos pueden admitir agua en tanto exista agua en su superficie y la entrada de agua al suelo es una característica que depende de las condiciones actuales del suelo y de la cubierta vegetal del suelo que lo protege y forma un almacén o barrera para que con un mayor tiempo el agua Este en contacto con la superficie del suelo y disponible a condiciones actuales para penetrar al interior del mismo. Esto, en las zonas áridas y semiáridas es de gran importancia al realizar las prácticas de conservación de suelo y agua que promuevan el potencial del recurso agua y el desarrollo y crecimiento de los recursos naturales asociados a él.

Cuadro 1. Valores promedio de la tasa de infiltración (cm h^{-1}) estimados por intensidad de lluvia aplicada en los sitios de estudio del Campo Experimental de Zonas Áridas y Semiáridas Noria de Guadalupe, Concepción del Oro, Zacatecas, México.

Tiempo (min)	Moderada Intensidad (cm h^{-1})	Alta Intensidad (cm h^{-1})
5	34.27 b	52.95 a
10	27.96 b	46.23 a
15	26.78 b	45.03 a
20	25.67 b	43.60 a
25	25.40 b	43.21 a
30	25.24 b	44.49 a
35	24.93 b	46.22 a
40	24.02 b	43.14 a

Los resultados de la tasa promedio de infiltración (cm h^{-1}) en los sitios de estudio bajo cobertura y sin cobertura se muestran en la Figura 4. Al inicio, se observa una tendencia descendente similar en los valores promedio de infiltración y hacia el final valores más aproximados. Al realizar el análisis de varianza a los datos por períodos de tiempo, se observó que no presentan diferencias estadísticas significativas (Cuadro 2). Es decir, el área de estudio presenta condiciones semejantes en relación a la cantidad de agua que penetra en los suelos, sin que sea determinante la cobertura vegetal aérea. Esto, hace suponer que en el área de estudio las condiciones del área se

encuentran deterioradas. Sin embargo, al igual que diferentes regiones áridas la vegetación se caracteriza por ser dispersa y con poca cobertura vegetal. Los suelos mayormente exhiben compactación y costras superficiales que reducen la entrada de agua al suelo. Los suelos se encuentran sellados de la superficie del suelo por eventos intensos de precipitación, el uso del suelo y por el aprovechamiento y manejo de los recursos naturales.

Desde el punto de vista del manejo de cuencas hidrológicas, los sitios de estudio, dado su estado actual en las tasas de infiltración, es necesario realizar las practicas de manejo de cuencas y recuperar las condiciones de sitios con protección y conservación de la cobertura vegetal para incrementar las tasas de infiltración, sin que sea exclusivo del área de estudio (Brooks *et al.*, 1991).

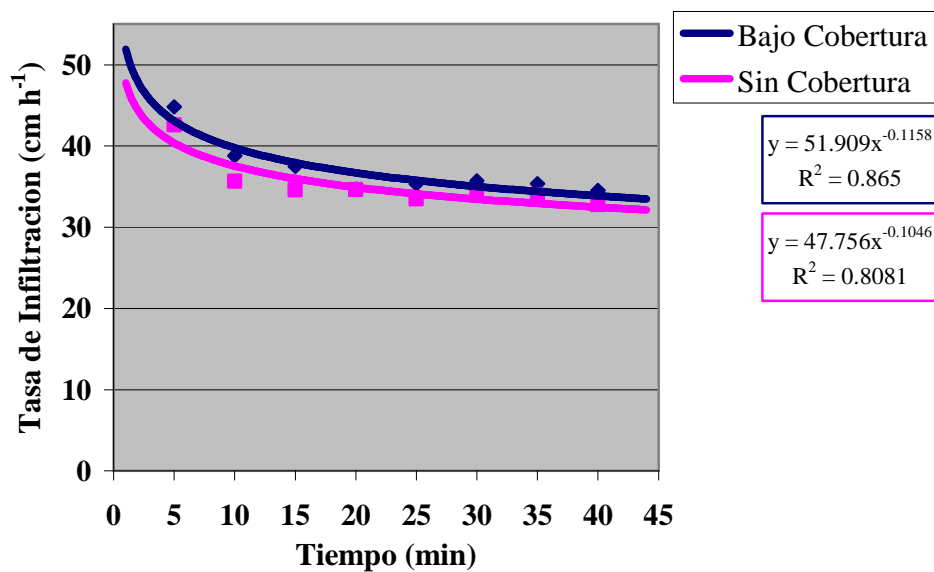


Figura 4. Valores promedio de la tasa de infiltración (cm h⁻¹) bajo cobertura y sin cobertura en los sitios de estudio del Campo Experimental de Zonas Áridas y Semiáridas Noria de Guadalupe, Concepción del Oro, Zacatecas, México.

Cuadro 2. Valores promedio de la tasa de infiltración (cm h^{-1}) estimados bajo o sin cobertura en los sitios de estudio del Campo Experimental de Zonas Áridas y Semiáridas Noria de Guadalupe, Concepción del Oro, Zacatecas, México.

Tiempo (min)	Bajo Cobertura (cm h^{-1})	Sin Cobertura (cm h^{-1})
5	44.81 a	42.61 a
10	38.79 a	35.68 a
15	37.49 a	34.60 a
20	34.65 a	34.62 a
25	35.31 a	33.47 a
30	35.70 a	34.17 a
35	35.35 a	33.98 a
40	34.53 a	32.79 a

Los datos de cobertura vegetal estimados en el interior de las parcelas donde se simuló la lluvia se presentan en el Cuadro 3. Se observa que la mayor cobertura del suelo es de hojarasca, microflora y pedregosidad, con porcentajes mayores del 20 por ciento. Las variables de cobertura de menor porcentaje fueron la presencia de rocas, arbustivas, herbáceas, gramíneas y suelo desnudo, respectivamente. De las variables que protegen al suelo su porcentaje estimado fue de 37.5, mientras que el suelo sin protección, microflora, pedregosidad, rocas y suelo desnudo, fue del 62.5 por ciento.

Al realizar el análisis de regresión lineal múltiple no se encontró ninguna variable de cobertura que estuviera relacionada significativamente con el proceso hidrológico.

Los resultados de cobertura del suelo externa a las parcelas donde se simuló la lluvia se muestran en el Cuadro 4. Los porcentajes de cobertura del suelo por pedregosidad, microflora y arbustivas tuvieron los valores más altos, respectivamente. Por cobertura vegetal las variables con menor valor fueron

por herbáceas, hojarasca y gramíneas, respectivamente, con un total de 19 por ciento. Mientras las características por suelo desnudo, microflora y pedregosidad sumaron un total de 60 por ciento.

Estos resultados indican la escasa cobertura vegetal, al igual que en las regiones de climas áridos y semiáridos, es escasa y dispersa. Asimismo, los altos porcentajes de microflora (algas verde-azules) es una característica indicadora de disturbio y contribuye al sellado de la superficie del suelo al humedecerse, lo que limita la entrada de agua.

Las variables hidrológicas determinadas durante las pruebas de simulación de lluvia se presentan en el Cuadro 5. Los valores promedio para agua en detención, inicio de goteo, inicio del escurrimiento, final del escurrimiento, final del goteo y el volumen de agua en tránsito fueron 34.5 seg, 101.23 seg, 112.14 seg, 2469.27 seg, 2507.32 seg y 0.144 ml, respectivamente.

Al realizar el análisis de correlación de las variables hidrológicas y de las tasas de infiltración en los diferentes periodos de tiempo se encontró que solo a 35 min se asocio el final del escurrimiento y goteo a la tasa de infiltración (0.425, $P = 0.0485$ y 0.432, $P = 0.0442$, respectivamente). Las variables hidrológicas que se asociaron entre si se presentan en el Cuadro 6. Al analizar esta información, el agua aplicada sobre las parcelas produce rápidamente encharcamientos, que al acumularse produce el goteo y escurrimiento inicial, por lo que al final el escurrimiento cesa rápidamente y produce bajos volúmenes de agua escurrida, limitando la disponibilidad de agua sobre la superficie para penetrar al interior del suelo.

Al comparar las tasas de infiltración, estas alcanzan rápidamente valores promedio constantes, lo cual es producto de la presencia de agua en la superficie que produce e inicia el goteo y el escurrimiento superficial. Además, el suelo exhibe gran proporción de suelo sin cobertura vegetal y altos valores de encostramiento y compactación del suelo que limita la entrada de agua al suelo; mientras la pedregosidad es producto de la presencia y lavado del suelo por el flujo superficial de los escurrimientos.

Cuadro 3. Valores estimados de la cobertura del suelo en el interior de las parcelas de simulación de lluvia.

Sitio	Gramí- neas	Arbus- tivas	Herbá- ceas	Hojaras- ca	Micro- flora	Pedrego- sidad	Rocas	Suelo Desnudo
1	15	0	20	5	20	30	0	10
2	25	0	0	0	25	50	0	0
3	0	0	0	0	0	85	0	15
4	20	0	0	5	10	40	25	0
5	0	0	0	0	0	0	0	100
6	5	30	10	30	20	0	0	5
7	5	0	0	5	25	65	0	0
8	5	0	0	65	15	15	0	0
9	10	15	5	35	15	20	0	5
10	0	0	0	0	40	50	5	5
11	0	0	0	0	85	15	0	0
12	5	15	30	35	0	15	0	0
13	5	0	0	50	45	0	0	0
14	0	0	0	5	60	35	0	0
15	0	0	0	5	70	25	0	0
16	0	0	15	85	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	100
18	40	0	0	40	5	15	0	0
19	5	0	0	20	25	50	0	0
20	15	5	35	10	35	0	0	0
21	15	0	0	50	30	5	0	0
22	20	0	0	10	65	5	0	0

Cuadro 4. Valores estimados de la cobertura del suelo en el exterior de las parcelas de simulación de lluvia.

Sitio	Gramíneas	Arbus- tivas	Herbá- ceas	Hoja- rasca	Micro- flora	Pedrego- sidad	Rocas	Suelo Desnudo
1	22	6	2	0	22	46	0	2
2	22	6	2	0	22	46	0	2
3	2	40	0	4	0	42	0	12
4	2	40	0	4	0	42	0	12
5	8	30	2	12	8	32	0	8
6	8	30	2	12	8	32	0	8
7	23	14	0	7	17	31	0	8
8	23	14	0	7	17	31	0	8
9	10	38	6	1	31	14	0	0
10	10	38	6	1	31	14	0	0
11	11	7	4	11	32	26	0	9
12	11	7	4	11	32	26	0	9
13	0	2	0	3	61	30	0	4
14	0	2	0	3	61	30	0	4
15	0	8	2	5	34	44	0	7
16	0	8	2	5	34	44	0	7
17	17	24	7	5	7	37	0	3
18	17	24	7	5	7	37	0	3
19	7	39	6	8	7	29	4	0
20	7	39	6	8	7	29	4	0
21	14	18	0	14	37	10	0	7
22	12	25	0	13	34	10	0	6

Cuadro 5. Variables hidrológicas determinadas durante las pruebas de simulación de lluvia en el Campo Experimental de Zonas Áridas y Semiáridas Noria de Guadalupe, Concepción del Oro, Zacatecas, México.

Sitio	Detención (seg)	Inicio goteo (seg)	Inicio escurrimiento (seg)	Final Escurrimiento (seg)	Final Goteo (seg)	Agua en tránsito (ml)
1	95	153	180	2411	2425	0.048
2	105	40	40	3361	3365	0.208
3	81	110	110	2403	2450	0.031
4	31	61	61	2421	2460	0.112
5	55	121	113	2414	2437	0.049
6	25	33	76	2422	2450	0.122
7	15	107	107	2455	2490	0.17
8	30	45	45	2423	2468	0.162
9	36	301	363	2435	2455	0.08
10	50	177	177	2423	2455	0.11
11	30	125	123	2430	2491	0.158
12	11	39	39	2437	2466	0.25
13	108	158	181	2405	2440	0.054
14	19	35	62	2436	2505	0.32
15	29	85	85	2420	2480	0.17
16	12	49	49	2427	2470	0.206
17	46	159	201	2435	2468	0.099
18	12	46	46	2419	2459	0.154
19	21	59	65	2437	2474	0.151
20	7	42	46	2426	2440	0.134
21	28	198	214	2434	2492	0.142
22	8	84	84	2445	2480	0.238
Promedio	34.5	101.23	112.14	2469.27	2507.32	0.144

Cuadro 6. Matriz del análisis de correlación entre las variables hidrológicas y los diferentes tiempos de estimación de las tasas de infiltración en el Campo Experimental de Zonas Áridas y Semiáridas Noria de Guadalupe, Concepción del Oro, Zacatecas, México.

Variable	Variables						
	Tiempo (min)	Agua en Detención (seg)	Inicio del Goteo (seg)	Inicio del Ecurrimiento (seg)	Final de Ecurrimiento (seg)	Final de Goteo (seg)	Volumen en Transito (ml)
Tasa de Infiltración	35				0.42523 0.0485	0.43289 0.0442	
Agua en Detención		1			0.43141 0.045		-0.5455 0.0086
Inicio del Goteo			1	0.97982 <.0001			-0.54604 0.0086
Inicio del Ecurrimiento				1			-0.51981 0.0132
Final de escurrimiento					1	0.9971 <.0001	
Final de goteo						1	
Volumen en Transito							1

CONCLUSIONES

Las conclusiones del presente estudio realizado en el Campo Experimental de Zonas Áridas y Semiáridas Noria de Guadalupe, Concepción del Oro, Zacatecas, son:

La entrada de agua al suelo difiere significativamente con la intensidad de lluvia aplicada.

La infiltración se incrementa cuando existe disponibilidad de agua sobre la superficie del suelo.

La tasa de infiltración no tiene diferencias significativas al estimarse en sitios bajo cobertura o sin cobertura vegetal.

Las tasas de infiltración no se relacionan a la cobertura vegetal del suelo, pero si a las condiciones de ausencia de ella.

La no significancia estadística bajo cobertura y suelo desnudo y la falta de relación con variables de la cobertura vegetal de la infiltración en los sitios de estudio, implica la presencia de cierto grado de degradación y por ello, la necesidad de proteger y restaurar los suelos de esta región con practicas de conservación de suelo y agua para incrementar las tasas de infiltración.

Las variables hidrológicas evaluadas durante las pruebas de simulación de lluvia explican la disponibilidad del agua en la superficie del suelo que determina la infiltración constante en los primeros minutos de iniciadas las simulaciones de lluvia en los diferentes sitios de estudio.

RESUMEN

La infiltración, es uno de los procesos más importante del ciclo hidrológico del ecosistema terrestre para almacenamiento, retención y transmitir agua. Esto es muy importante para conocer las relaciones de vegetación, suelo y agua, debido que el recurso agua es uno de los más limitantes en los climas áridos y semiáridos. Analizar el manejo de los recursos naturales estableciendo prácticas de conservación para un mejor aprovechamiento. El presente trabajo se realizó en el Campo Experimental de Zonas Áridas y Semiáridas Noria de Guadalupe, Concepción del Oro, Zacatecas, propiedad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. El objetivo del estudio fue determinar la tasa de infiltración y algunos factores de vegetación e hidrológicas que la influyen. Se utilizaron simultáneamente dos simuladores de lluvia de diferente boquilla, para generar moderada y alta intensidad sobre parcelas de 0.1444 m^2 , durante un tiempo de 40 min, colocándose de manera alterna en sitios con y sin cobertura vegetal. La intensidad de la lluvia (cm h^{-1}) se midió con dos pluviómetros y con lecturas cada 5 min. La tasa de escurrimiento (cm h^{-1}) se estimó con la relación del volumen recolectado (l) y el área de la parcela en cada periodo de tiempo. La tasa de infiltración (cm h^{-1}) se determinó por la diferencia de la intensidad de lluvia y la tasa de escurrimiento. Al final de las pruebas de simulación de lluvia se midió la cobertura interna y al exterior de la parcela, en dos transectos de línea de 20 cm y 10 m, respectivamente. Las variables hidrológicas consideradas del flujo superficial del agua fueron: agua en detención, tiempo de inicio del goteo y escurrimiento, tiempo de final de escurrimiento y goteo y volumen del agua de transito. Los datos de infiltración se analizaron estadísticamente en un diseño completamente al azar con arreglo de factores en dos niveles, intensidad aplicada y cobertura del suelo, para la separación de medias se utilizo la prueba Tukey con un 0.05 de significancia. Se utilizó un análisis de regresión lineal múltiple para relacionar las variables de cobertura del suelo y se aplico una correlación con las variables hidrológicas y las tasas de infiltración de cada periodo de tiempo. Los resultados obtenidos indican que mientras exista mayor cantidad de agua en la superficie del suelo, la entrada de agua al suelo mantendrá valores altos. La tasa de infiltración mostró diferencias significativas con la aplicación de

intensidad alta y moderada, pero no tuvo diferencias en los sitios bajo cobertura y de suelo desnudo. Con relación a la vegetación se observó que no presentan diferencias estadísticas significativas, es decir que el área de estudio presentan condiciones semejantes en relación a la cantidad de agua que penetra en los suelos. Las variables hidrológicas al realizar el análisis de correlación en diferente periodo de tiempo se encontró que solo a 35 min. Se relaciona el final de escurrimiento y goteo a la tasa de infiltración. La no significancia estadística bajo cobertura y suelo desnudo y la falta de relación con variables de la cobertura vegetal de la infiltración en los sitios de estudio, implica la presencia de cierto grado de degradación y por ello, la necesidad de proteger y restaurar los suelos de esta región con practicas de conservación de suelo y agua para incrementar las tasas de infiltración.

LITERATURA CITADA

- Aparicio, M, F. J. 2005. Fundamentos de hidrología de superficie. Editorial LIMUSA. México, D. F. 303 p.
- Brooks, K., F. P. Ffolliott, M. H. Gregersen and L. J. Thames. 1991. Hydrology and the management of watersheds. Iowa State University Press, Ames. Iowa, USA. 392 p.
- Campos A., D. F. 1983. Infiltración, lluvia en exceso y humedad en el suelo. Procesos del ciclo hidrológico. Universidad de San Luis Potosí. San Luis Potosí, SLP, México. Volumen I: 1-53.
- Davis, S. N. and R. J. M. DeWist. 1971. Hidrogeología. Ediciones Ariel. Barcelona, España. 178 p.
- Duñez-Alanís, J. y J. Návar. 2006. Estimación de la frecuencia y magnitud de los escurrimientos superficiales en bosques de coníferas del estado de Durango. Revista COCYTED-Durango, Durango. 6 (4): 28-29.
- Dunne, T. and B. L. Leopold. 1978. Water in environmental planning. W. H. Freeman and company. New York. USA. 818 p.
- Flores A. E., J. T. Frías H., P. Jurado G., J. D. Figueroa C., V. Olalde P. y A. G. Valdivia F. 2006. Influencia del gatuno (*Mimosa monancistra* Benth.) en la infiltración de agua y la cantidad de forraje en pastizales con diferente grado de disturbio en el altiplano central mexicano. Técnica Pecuaria Mex. 44(1): 27-40.
- Gómez J.; Giráldez and J. Fereres, E. 2001. Analysis of infiltration and runoff in an olive orchard under no-till. Soil Science Society American J. 65: 291-299.

- Gurovich, L. A. 1985. Fundamentos y diseño de sistemas de riego. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Capítulo 6. pp 143-168.
- Gutiérrez C., J., F. M. Smith y J. G. Medina T. 1979. Caracterización hidrológica de la cuenca San Tiburcio, Zacatecas. Departamento de recursos Naturales. UAAAN. Monografía Técnico Científica. No. 5. Buenavista, Saltillo, Coahuila. Mexico. 68 p.
- Gutiérrez C., J., S. Beltrán L., J. G. Medina T. y J. A. Díaz G. 1990. Efecto de tres tipos de vegetación sobre la infiltración y la producción de sedimentos en el rancho los Ángeles, Coahuila, México. Monografía Técnico-Científica. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. 6: 36-50.
- Hann, C. T. 1977. Statistical Methods in hydrology. 3a ed. The Iowa State University Press. USA. 378 p.
- Haworth, K. and G. Mcpherson. 1994. Effects of *Quercus emoryi* on herbaceous Vegetation in a semiarid savanna. *Vegetatio*. 112: 153-159.
- Hillel, D. 1971. Soil and water: Physical principles and processes. Academic Press. New York. USA. 275 p.
- Pérez R., L., R. Nava C., J. Gutiérrez C. y J. Duéñez A. 1993. Interacciones ecológicas de las arbustivas: implicaciones para los ecocultivos. Noveno Congreso Nacional sobre Manejo de Pastizales. Memorias. SOMMAP. Hermosillo, Sonora. México.
- Pieper, R. D. 1973. Measurement techniques for herbaceous and shrubby vegetation. New Mexico State University Press. Las Cruces, New Mexico. USA. 148 p

- Puigdefábregas, J. and G. Sánchez. 1996. Geomorphological implications of vegetation patchiness on semi-arid slopes. *In: Anderson and Brooks (eds.). Advances in hillslope processes. Jhon Wiley and Sons, Inc. Londres. UR. pp. 1027-1060.*
- Puigdefábregas, J., M. J. Moro, F. I. Pugnaire, and P. Haase. 1999. Mechanisms of interaction between a leguminous shrub and its understorey in a semi-arid environment. *Ecography*. 20: 175-184.
- Sánchez, A. R. 2002. Eficacia del manejo del suelo en una aforestación con encinas sobre tierras agrícolas de ambiente semiárido en la región central de España. Ph. D. Thesis. Universidad Autónoma de Madrid, España. 98 p.
- Slatyer, R. O. and J. A. Mabbut. 1964. Hydrology of arid and semiarid regions. *In: V. T. Chow (ed.). Handbook of Applied Hydrology. McGraw Hill, New York USA. Pp. 24-46.*
- Taboada, M. M. 1998. Dinámica de la formación de costras superficiales en suelos de cultivo. Tesina de Licenciatura. Universidad de La Coruña. España. 92 p.
- 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. *J. of Range Management*. 39: 375-379.
- Wood, M. K. y W. H. Blackburn 1981. Their influence on infiltration rates in the Rolling Plains of Texas. *J. Range Management*. 34: 331-335.