

# **UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISION DE CIENCIA ANIMAL  
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**INFILTRABILIDAD BAJO DIFERENTES ANTECEDENTES DE HUMEDAD EN  
CUATROCIÉNEGAS, COAHUILA.**

**POR:**

**NEMIAS EUUALIO ROBLERO ROBLERO**

**TESIS**

**Presentada como Requisito Parcial para Obtener  
el Título de:**

**INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNISTA**

**BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MEXICO**

**ABRIL DE 2010**

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISION DE CIENCIA ANIMAL  
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
INFILTRABILIDAD BAJO DIFERENTES ANTECEDENTES DE HUMEDAD EN  
CUATROCIÉNEGAS, COAHUILA.


Por:  
NEMIAS EUUALIO ROBLERO ROBLERO

TESIS  
Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito  
parcial para obtener el título de:

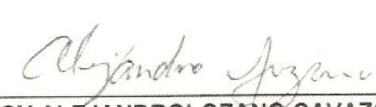
INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNISTA

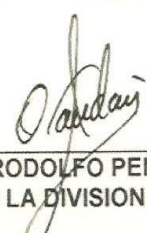
Aprobado por:

  
DR. JOSE DUÑEZ ALANIS  
PRESIDENTE


  
DR. JORGE GALO MEDINA TORRES  
SINODAL

  
DR. MIGUEL MELLADO DEL BOSQUE  
SINODAL

  
DR. ELOY ALEJANDRO LOZANO CAVAZOS  
SINODAL

  
ING. JOSE RODOLFO PEÑA ORANDAY  
COORDINADOR DE LA DIVISION DE CIENCIA ANIMAL

Buenavista, Saltillo Coahuila, México  
Mayo de 2010.

  
COORDINACION DE  
CIENCIA ANIMAL

## DEDICATORIA

### A MIS PADRES

SR. EDILBERTO ROBLERO MACARIO Y SRA. LESVIA ROBLERO DIAZ

Por darme la vida su amor y cariño, por haberme guiado siempre en el camino del bien y que gracias a sus lindos consejos he logrado lo que ahora soy, gracias por no perder nunca la confianza y la fe en mi, no importando las adversidades que pasamos durante todo el desarrollo de mi formación, por enseñarme que lo mas importante en esta vida no es llegar primero a la meta sino saber llegar, porque siempre estuvieron, han estado y estarán conmigo hasta que Dios quiera, los amo y los quiero mucho, son mi fuerza vital para seguir luchando, por que siempre agradecen y piden a Dios por mi para que siempre me vaya bien en todo, por esto y mucho mas **mil GRACIAS. Dios los bendiga hoy y siempre. Los amo, son mi inspiración y mi fortaleza para seguir superándome cada día.**

### A MIS HERMANOS.

Leynder, Edivier, Judith, Azucena.

Gracias por todo el amor y cariño que me han demostrado, por el apoyo moral que siempre me han brindado, y sobre todo por todos los momentos que hemos pasado y gracias a Dios hemos superado muchas cosas y espero sigamos siempre unidos para superar todas las dificultades, que siempre estemos bien y que Dios nos guarde y nos bendiga siempre hasta cuando el venga y todo lo que hagamos sea de acuerdo a su voluntad.

**A toda mi familia de mi pueblo que me vio nacer y crecer NVA. INDEPENDENCIA** aunque no los menciono pero de alguna u otra forma contribuyeron para lo que un día fue un sueño hoy es echo una realidad, gracias por sus lindos consejos y por su apoyo moral e incondicional, por todo muchas gracias, siempre los recordare y los llevare en mi mente y corazón, los quiero mucho.

## **A MIS PADRES (SUEGROS)**

Sr. Jaime Ruiz Reyes y Sra. Argelia Trinidad Gómez

Por su gran amor y cariño que me han dado y por ser uno mas de la familia, gracias por comprenderme y por sus lindos consejos de superación para seguir siempre hacia adelante no importando cualquier adversidad, gracias por confiar en mi saben que los quiero mucho y con mucho amor y cariño les dedico este trabajo.

## **A MI ESPOSA E HIJA**

Lilia Patricia Ruiz Gómez y Josajandy Daruvid Roblero Ruiz

Con mucho amor y cariño para ustedes mi amor que son mi vida, mi luz y mi razón de vivir, y que siempre los tengo conmigo y que son mi fuerza para seguir luchando y salir hacia delante cada vez mas, gracias por comprenderme y por tu apoyo moral e incondicional y por estar conmigo en las buenas y en las malas. Por esto y mas te dedico este trabajo, los quiero mucho.

## **A MIS CUÑADOS (AS)**

Uriel, Gladis, Elizabeth

gracias por todo su amor y cariño que me han brindado y por su apoyo moral e incondicional que me motivaron para salir adelante en especial a mi cuñada **Leydi Yaneth** por su apoyo moral y económicamente durante mi carrera profesional por esto y mas **mil gracias**. Y que con mucho cariño le dedico este trabajo.

## **AGRADECIMIENTO**

### **A DIOS**

**Gracias primeramente a Dios** por haberme dado la vida y a mis padres por traerme a este mundo e instruirme en el camino de la vida e inculcarme la educación y gracias por que ahora he logrado mi carrera profesional, gracias por habernos dado plena salud para seguir adelante y por regalarme sabiduría e inteligencia para aprender y hacer las cosas, sobre todo por mantenerme siempre en el camino del bien ya que siempre estuvo conmigo, y por colmarme de bendiciones todos y cada uno de los días de mi vida. Por que desde lo más alto nos cuida y nos protege, mil gracias por todos los logros obtenidos y por las bendiciones derramadas.

### **A MI ALMA MATER**

**A LA UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO (UAAAN).** Por abrir sus puertas y permitirme pasar otra etapa mas de mi vida, y por haberme dado la oportunidad de prepararme como profesionista, por enseñarme que la vida no es más que un camino lleno de desafíos y retos. Y que para poder llegar a lo más alto tienes que saber enfrentar y superar cualquier adversidad que se te ponga enfrente, gracias también por enseñarme a valorar muchas cosas de la vida y que todo se puede superar siempre y cuando queramos.

**En especial al Dr. José Dueñez Alanís.** Por haberme dado la oportunidad de realizar este proyecto de tesis y por dedicar parte de su tiempo a este trabajo.

Por su amistad, comprensión y paciencia en la realización de este trabajo, mil gracias.

**AL Dr. Miguel Mellado del Bosque** por su participación y tiempo dedicado a la revisión de este trabajo, muchas gracias.

**AL Dr. Jorge Galo Medina Torres** Por haber accedido a revisar este trabajo y por el tiempo brindado.

**AL Dr. Eloy Alejandro Lozano Cavazos** por su apoyo y tiempo dedicado a la revisión de este trabajo de tesis.

**A Jesús Héctor Cabrera Hernández (Analista)** por el gran apoyo brindado durante la toma de datos de campo para la realización de este trabajo. Muchas gracias.

**A Francisco de Asís García Martínez (Auxiliar de Investigación)** por la ayuda durante la toma de datos de campo para la realización de este trabajo

**A Donny Marvin Gayta Mota (Asistente Técnico)** por la ayuda durante la toma de datos de campo para la realización de este trabajo.

A todos los profesores de la **División de Ciencia Animal** en especial a los que fueron parte esencial en mi formación como profesionista.

A la generación CVI en especial a mis mejores amigos: Roger, Rafael, Leonel, Abel, Amaury, José Manuel, Fausto, Ramona, José Luis, Horacio, Gumaro, Edvino, Orbelio, Juan, Hugo, Panfilo, y a los demás que de alguna manera fueron parte importante en mi vida.

A mis amigos y paisanos de la Nva. Roger, Santos, Rusbel, Hugo, Celin, Guiller, Jeremías, por que siempre estuvieron conmigo apoyándome en las buenas y en las malas, por que de una o de otra manera nos apoyamos y así juntos saliéramos triunfadores, esforzándonos y poniéndole mucho empeño a nuestros estudios.

## INDICE

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	iii
INDICE.....	v
INDICE DE FIGURAS.....	vi
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo General.....	2
Objetivos Específicos.....	2
Hipótesis.....	2
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
MATERIALES Y MÉTODOS.....	5
Localización del área de estudio.....	5
Geología y Fisiografía.....	5
Hidrología.....	6
Edafología.....	6
Clima.....	7
Vegetación.....	7
Metodología.....	8
Simulación de Lluvia.....	8
Localidades de estudio.....	8
Aplicación de Humedad al Suelo.....	9
Estimación de Escurrimiento – Infiltración.....	9
Diseño del Estudio.....	10
Características de suelo.....	11
Características de la vegetación.....	11
Estimación de Variables Hidrológicas del Escurrimiento.....	12
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	14
CONCLUSIONES.....	21
LITERATURA CITADA.....	22
RESUMEN.....	24

## INDICE DE FIGURAS

	Pagina
Figura 1 Infiltrabilidad ( $\text{cm h}^{-1}$ ) promedio en la Laguna Churince con diferente intensidad de lluvia aplicada sobre suelo seco.....	14
Figura 2 Infiltrabilidad promedio ( $\text{cm h}^{-1}$ ) en la Laguna Churince, Cuatrociénegas con diferente tiempo de humedecimiento (3,6 y 24 horas) y suelo seco, en simulaciones con intensidad Moderad.....	15



## INDICE DE CUADROS

		pagina
Cuadros 1	Cobertura vegetal externa promedio (%) estimada en los sitios de las pruebas de simulación de lluvia.....	16
Cuadro 2	Análisis de regresión lineal múltiple de la cobertura vegetal externa en los sitios de estudios y su valor determinísticos y probabilidad de la relación con las tasas de infiltración a diferentes periodos de tiempo.....	16
Cuadro 3	Variables hidrológicas promedio determinadas en las pruebas de simulación de lluvia en el área de la Laguna Churince, Cuatrociénegas, Coahuila.....	18
Cuadro 4	Valores determinísticos y probabilidad de la asociación de las variables hidrológicas y las tasas de infiltración en el área de la Laguna Churince, Cuatrociénegas, Coahuila.....	18

**PALABRAS CLAVE:** Infiltrabilidad, humedad, simulación de lluvia, características de suelo, variables hidrológicas

## INTRODUCCIÓN

El Valle de Cuatrociénegas, Coahuila fue decretado como Área Natural Protegida de Flora y Fauna mediante decreto que se publicó en el diario oficial de la federación el 7 de noviembre de 1994. Es considerado como el humedal más importante del Desierto Chihuahuense y de México. La Comisión Nacional para la Biodiversidad (CONABIO), por su endemismo de especies de flora y fauna, lo considera sitio prioritario para la conservación, y el Fondo Mundial para la Naturaleza lo clasifica como una ecoregión prioritaria para la conservación. La superficie del área protegida es de 84,374 ha, donde se incluye los ambientes acuáticos como son los manantiales o pozas, arroyos permanentes y áreas inundadas o lagunas formadas por la acumulación del agua de las pozas. Su formación se remonta al Mesozoico, al emerger las tierras se formó la Península de Coahuila, creando grandes depósitos de yeso y suelos alcalinos y rodeando al valle de montañas. Minckley (1992) menciona que en las fracturas sobre la Sierra San Marcos y Pinos, la lluvia recarga el agua freática, atravesando las formaciones La Peña y Cupido, emergiendo en el Valle como manantiales o pozas. El Valle de Cuatrociénegas se caracteriza por una gran variedad de especies endémicas, cuya existencia se asocia con la presencia de manantiales o pozas térmicas y salubres. En años recientes este importante valle ha tenido un abatimiento del recurso agua, que es fundamental para la vegetación y fauna que caracteriza a esta ecoregión.

**Objetivo General**

Analizar la infiltrabilidad bajo diferentes antecedentes de humedad en La Laguna Churince del Valle de Cuatrociénegas, Coahuila, México.

**Objetivos Específicos**

Evaluar el proceso de infiltración en dos posiciones fisiográficas en el Valle de Cuatrociénegas, Coahuila.

Determinar la tendencia del proceso de infiltración con la aplicación de humedad al suelo con 3, 6 y 24 hr previo a las pruebas de infiltración.

Analizar los factores de suelo, vegetación e hídricas que se relacionan a la infiltrabilidad del suelo en el Valle de Cuatrociénegas, Coahuila.

**Hipótesis**

1-La tasa de infiltración es diferente en el Valle de Cuatrociénegas comparado con debido a la posición fisiográfica.

2-El proceso de infiltración en el Valle de Cuatrociénegas, Coahuila es afectado negativamente por el antecedente de humedad.

3-Los factores de suelo y vegetación se relacionan positivamente a la tasa de infiltración.

## REVISIÓN DE LITERATURA

El estudio y monitoreo del agua en el sistema de la Laguna Churince es importante dada la gran dependencia de los organismos y paisajes, siendo afectado en el balance de los flujos de los escurrimientos superficiales y subsuperficiales que abastecen los cauces, las pozas y los niveles de agua a la Laguna. Recientemente, organismos federales y no gubernamentales han intensificado los estudios sobre las especies endémicas y la hidrología del área, al considerar que en los valles aledaños, la extracción de agua de acuíferos es considerado el factor que afectó el recurso agua a través de la conectividad entre acuíferos entre valles aledaños (El Hundido y Jabalíes). Existen estudios hidrológicos realizados en el Valle de Cuatrociénegas, la mayor parte de ellos enfocados a medir el gasto de agua en los cauces y pozos artesianos y del manto libre, calidad del agua, piezometría, agua subterránea y limnología. Sin embargo, es necesario fundamentar el comportamiento del agua en la superficie al momento de entrar al suelo.

Las condiciones edáficas, climáticas y topográficas además de las características de vegetación, son factores que determinan el proceso de infiltración, ya que el tipo de vegetación y la cubierta vegetal modifican la relación suelo-planta del sitio, influenciando el patrón de las tasas de infiltración (Wood y Blackburn, 1981). El mayor o menor grado de compactación o

formación de costras de la superficie del terreno, tiene una incidencia en la penetración del agua, y por lo tanto, en la infiltración. En el caso de superficies desnudas, el suelo se halla expuesto al choque directo de las gotas de lluvia, con lo cual los agregados de partículas son dispersados por el agua en elementos más finos, con mayor posibilidad de penetrar hacia el interior y obturar los poros y grietas, por lo que un suelo con excelente drenaje, puede tener una baja infiltración, como consecuencia de la compactación, encostramiento y sellado de la superficie y capas superiores. La humedad inicial del suelo tiene una importancia en el proceso. Cuando el suelo se halla seco al comienzo de la lluvia, se crea una fuerte capilaridad al humedecerse las capas superiores, efecto que se suma al de gravedad, incrementando la infiltración (Troeh *et al.*, 1980). A medida que el suelo se humedece, las arcillas y coloides se hinchan por hidratación, cerrando los vacíos y disminuyendo, en consecuencia, la entrada de agua en la superficie. Cuando un suelo se satura de humedad al comenzar un evento de lluvia, la cantidad de agua que admitirá será mucho menor. El contenido de sales, en ocasiones favorece la formación de flóculos con los coloides del suelo, reduciendo la tasa de infiltración (Troeh *et al.*, 1980).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Localización del área de estudio**

El valle de Cuatrociénegas tiene una extensión de 84,347 ha. Se encuentra ubicado al Oeste de la región centro del Estado de Coahuila. Las coordenadas geográficas entre las cuales se encuentra este valle son: 26°45' y 27°00' **N** y a los 101°48'49" y 102°17'53" **W** (CEAS, 2002).

### **Geología y Fisiografía**

Es un pequeño valle intermontano, el cual cuenta con abundancia de agua superficial, característica poco común en sitios áridos. En el Mesozoico emergieron las tierras de Coahuila y el mar se redujo formando la península de Coahuila; los depósitos de yeso en la parte central de Coahuila, indican la línea costera y la recesión del mar. El Valle está rodeado por altas montañas resultado de plegamientos, algunos de ellos, especialmente la Sierra de San Marcos y Pinos, presenta una gran cantidad de fracturas que posiblemente sean las que le permiten la recarga de los manantiales (Minckley, 1992). En esta Sierra, el agua de lluvia atraviesa la formación La Peña hasta llegar a la formación Cupido, donde existen fracturas en el material arcillosos que promueven que el agua tienda a salir (CEAS, 2002).

## **Hidrología**

El valle de Cuatrociénegas se encuentra en la Región Hidrológica No.24 Bravo-Conchos, dentro de la cuenca "D" Presa Falcón-Río Salado y en la subcuenca "g" Río Salado de Nadadores. El sistema hidrológico superficial del Valle de Cuatrociénegas se mantuvo aislado, debido a que formaba una cuenca cerrada. Pero con la fundación de la ciudad de Cuatrociénegas en 1800, se inician las modificaciones del humedal para uso agrícola. La canalización de algunos manantiales de mayor producción de agua ha disminuido las áreas pantanosas y modificado el patrón de inundación del Valle (CNA, 1998).

## **Edafología**

En la subprovincia dominan los suelos Litósoles asociados a suelos de Rendzinas, Regosoles. En bajadas de algunas sierras dominan suelos Xerosoles y Regosoles calcáreos. Las llanuras al sur de la provincia dominan los suelos Xerosoles háplicos y cálcicos. Se encuentran también suelos lacustres o aluviales muy alcalinos, de tipo Solonchack órtico. El Valle se presenta suelos de tipo aluvial, resultado del acarreo hacia las partes más bajas, como son suelos Solonchack, Xerosol, Regosol y Yermosol, del tipo salino y/o yesoso, producto de la evaporación por las altas temperaturas (CEAS, 2002).

## **Clima**

El clima es árido, con lluvias de mayo a octubre, la ppm es menor de los 200 mm, las temperaturas invernales pueden ser inferiores a 0 °C con heladas y nevadas, siendo raras durante el día; en verano la temperatura del aire puede exceder los 44 °C y tener noches frescas (Minckley, 1992). De acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificada por García (1973), se reportan climas: BWhw' (x') (e'): muy seco semicálido, con invierno fresco, régimen de lluvias de verano, muy extremoso, y BSoKw'' (x') (e'): seco, templado con veranos cálidos, régimen de lluvias en verano, extremoso.

## **Vegetación**

El Valle de Cuatrociénegas soporta una flora muy rica y de las más variadas del Desierto Chihuahuense, incluye, de acuerdo a Pinkava (1984), 879 taxas diferentes distribuidas en 114 familias, 456 géneros, 860 especies y 19 taxas intraespecíficas adicionales. Los principales tipos de vegetación en esta área son: Matorral Desértico Micrófilo, Matorral Desértico Rosetófilo, Vegetación Halófito, Vegetación Gypsofilas de Dunas, Vegetación Gypsofila, Mezquital, Pastizal Halófilo y Matorral submontano.

*Simulación de lluvia. Las pruebas de simulación se realizaron en abril de 2008 en 20 sitios y en marzo de 2009 en 24 sitios, humedeciendo 8 parcelas 3, 6 y 24 horas previas al inicio de las pruebas. Se analizó el efecto de la humedad previo a la aplicación del agua. Se utilizó simultáneamente un par de simuladores de*



lluvia, similares al descrito por Wilcox *et al.* (1986), con diferente tamaño de boquilla de aspersión para producir alta y moderada intensidad de lluvia.

## **Metodología**

### **Simulación de lluvia**

El uso de simuladores de lluvia es un método recomendado para estimar los procesos de infiltración y escurrimiento por sus características de portatibilidad, rapidez y manejo en diversas condiciones topográficas (Wilcox *et al.*, 1986; Duéñez-Alanís y Návar, 2005). Existen diversos tipos de simuladores, los más comunes son de roció, 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 ésta de discos o boquillas de aspersión. Dichos simuladores fueron construidos para su empleo en este trabajo.

### **Localidades de estudio**

Se seleccionaron dos localidades de estudio para conocer la influencia que pueda tener el pie de monte en la entrada de agua al suelo. Las localidades fueron: Pie de Monte y Valle en la Laguna Churince del Valle de Cuatrociénegas, Coahuila.

### **Aplicación de Humedad al Suelo.**

Con la finalidad de estudiar el efecto de la humedad en el proceso de infiltración para el Valle de Cuatrocienegas se aplicaron 50 lt m<sup>-2</sup> de agua 3, 6 y 12 hr previo al inicio de las pruebas de simulación de lluvia.

### **Estimación de Escurrimiento – Infiltración.**

**Escurrimiento.** A partir del volumen de agua recolectado del exceso de agua producido durante la simulación de lluvia en cada repetición se estimaran las tasas de escurrimiento en los intervalos de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 min, utilizando para su medición una probeta de 1000 ml. El cálculo se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Tasa de escurrimiento (cm hr}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Volumen escurrido (l) } \cdot 12 \text{ periodos}}{\text{Área de la parcela (cm}^2\text{)} \cdot 1 \text{ hr}}$$

**Infiltración.** Con el uso de un par de simuladores de lluvia se aplicó lluvia a una intensidad determinada de acuerdo a los eventos máximos y más frecuentes de precipitación de la región, con el fin de provocar el escurrimiento superficial y tener mayor intensidad que la infiltrabilidad de los suelos. Las parcelas donde se aplicó la lluvia fueron de 0.144 m<sup>2</sup>. El exceso de agua generado durante la simulación se colectó en recipientes durante 40 min, en periodos de cinco min, para su posterior medición en volumen y transformación en lámina (Hann 1977, Duéñez-Alanís y Návar, 2005).

La infiltrabilidad se estimó por la diferencia de la intensidad de lluvia aplicada ( $\text{cm hr}^{-1}$ ) y la tasa de escurrimiento ( $\text{cm hr}^{-1}$ ) en cada periodo de cinco min, de la siguiente manera:

$$\text{Infiltrabilidad (cm h}^{-1}\text{)} = \text{Intensidad de Lluvia (cm h}^{-1}\text{)} - \text{Tasa de escurrimiento (cm h}^{-1}\text{)}$$

### **Diseño del Estudio.**

De manera alterna, los simuladores con intensidad alta y moderada, se ubicaron bajo cobertura vegetal y en interespacios de vegetación y por ubicación fisiográfica para obtener representatividad de las parcelas por sitios de estudio. El agua se aplicó sobre microparcels de  $1444 \text{ cm}^2$ . 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. 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. La intensidad de lluvia ( $\text{cm hr}^{-1}$ ) fue estimada en forma directa mediante la lectura de la precipitación (cm) registrada en los pluviómetros en cada periodo de tiempo, obteniendo así la intensidad promedio por la lectura en los pluviómetros en cada periodo de cinco min y su relación a una hora. A partir del volumen de agua ( $I$ ) recolectado en cada parcela donde se simuló la lluvia, se estimó la tasa de escurrimiento a intervalos de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40

min, para lo cual se usó una probeta de 1000 ml. El cálculo se realizó entre el volumen recolectado y el área de la parcela por los periodos de tiempo en una hora. Las tasas de infiltración se estimaron por la diferencia de la intensidad de lluvia aplicada ( $\text{cm hr}^{-1}$ ) y la tasa de escurrimiento ( $\text{cm hr}^{-1}$ ) en cada periodo de cinco min.

### **Características de suelo.**

En los sitios donde se estimó la infiltración y el escurrimiento se colectó una muestra de suelo de los primeros 10 cm. De dicha muestra se estimó el contenido de humedad por el método gravimétrico con una balanza portátil; en laboratorio se determinara la textura por el método de Hidrómetro de Bouyoucus y, la materia orgánica por el método de titulación y la densidad aparente por el método de la parafina.

### **Características de la vegetación**

La determinación de las características de cobertura de la vegetación se realizó fuera y dentro de las parcelas de simulación de lluvia. La cobertura externa del suelo se determinó en dos transectos de línea utilizando la metodología del marco de puntos modificada, ubicadas de manera perpendicular y paralela a la pendiente del terreno. La cobertura interna se midió dentro de cada parcela de simulación de manera diagonal. En ambas mediciones se estimó principalmente la cobertura de gramíneas, arbustos, hierbas, micróflora, pedregosidad, material orgánico, 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 (*I*).

*Diseño Estadístico.* Para cumplir con los objetivos planteados, los datos de los tratamientos con diferente antecedente de humedad (0, 3, 6 y 24 hr) la tasa de infiltración para cada periodo de tiempo fueron analizados en un diseño completamente al azar con arreglo factorial en dos niveles de manera independiente, siendo cada uno por: localidad, intensidad de lluvia aplicada y bajo y sin cobertura vegetal. 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 Correlación y Regresión Lineal Múltiple.* Para determinar los factores de suelo, vegetación e hidrológicas del escurrimiento que influyen las tasas de infiltración en cada periodo de tiempo se se llevaron a cabo análisis de correlación y regresión lineal múltiple. Previo al análisis, se procedió a transformar los porcentajes de cobertura vegetal a valores estándares para

asumir una distribución normal mediante la raíz del valor porcentual mas 0.5  
(Steel y Torrie, 1985).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la infiltración en la Laguna Churince bajo o fuera de la cobertura vegetal y en el valle o ladera de la Sierra no presentan diferencias en la entrada de agua a cualquier período de tiempo. Al analizar los datos de infiltración con moderada y alta intensidad aplicada cuando el suelo se encontraba seco no mostró diferencia ( $P > 0.05$ ; Figura 1). Esta semejanza en los valores promedio en las tasas de infiltración en los diferentes periodos de tiempo es dado por la disponibilidad de agua en la superficie del suelo, lo cual permite que el agua penetre (Duñez y Nívar, 2006).

La infiltrabilidad promedio ( $\text{cm h}^{-1}$ ) en los sitios de estudio humedecidos, en general para toda el área comprendida para la Laguna Churince, la cual comprende las localidades arriba de la poza y hacia la Laguna y bajo cobertura vegetal y en suelo desnudo, se muestra en la Figura 2. En estos sitios, el suelo mostró diferencias ( $P < 0.01$ ) desde los 5 hasta los 35 minutos de iniciada las pruebas de simulación de lluvia en los sitios con aplicación de alta intensidad de lluvia, pero no al aplicar una moderada intensidad. Esto es atribuido a la formación en la superficie del suelo de costras de sales provenientes del movimiento capilar y osmótico hacia arriba del agua, por las altas temperaturas de la región y las altas tasas de evaporación, dado el nivel freático que se encuentra a pocos centímetros y el material origen de los suelos (Troeh *et al.*, 1980).

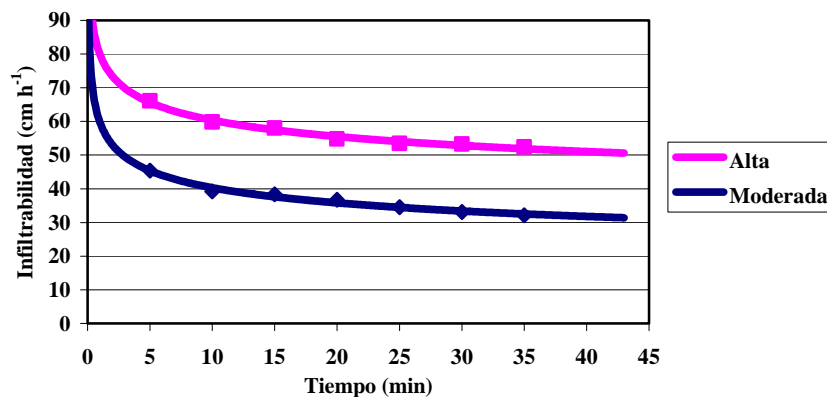


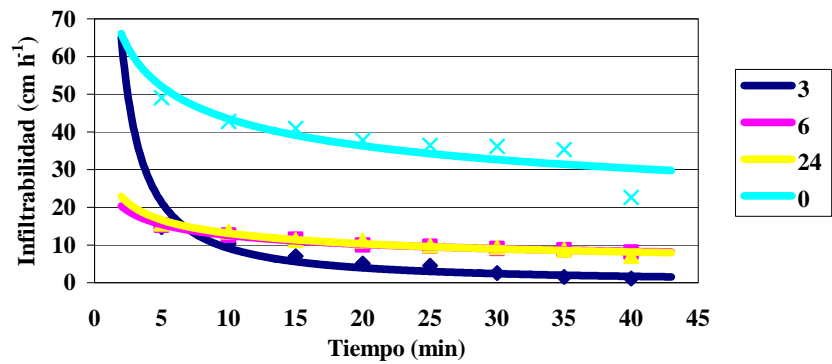
Figura 1. Infiltrabilidad (cm h<sup>-1</sup>) promedio en La Laguna Churince con diferente intensidad de lluvia aplicada sobre suelo seco.

También, de manera independiente las características de suelo, vegetación e hidrológicas no mostraron influencia estadística con el proceso de infiltración. En este sentido, la infiltrabilidad en el área de estudio es atribuida al potencial matricial del suelo, dado por la presencia de material origen del suelo en la región y al alto contenido de arena que forma una alta porosidad y baja densidad aparente del suelo. En este sentido, el análisis de regresión múltiple de la cobertura vegetal, sólo la cobertura externa (Cuadro 1) mostró una relación significativa con las tasas de infiltración en los periodos de 5, 25, 30 y 35 min,  $P = 0.05$  y  $r^2 = 0.68$ ,  $P = 0.03$  y  $r^2 = 0.72$ ,  $P = 0.04$  y  $r^2 = 0.69$  y  $P = 0.04$  y  $r^2 = 0.68$ , respectivamente), las variables relacionadas se muestran en el Cuadro 2. Se observó que la cobertura vegetal (arbustivas y herbáceas) actúa de manera positiva y el suelo sin vegetación tiene efectos negativos. No



obstante no se detectaron diferencias en las tasas de infiltración bajo cobertura y en suelo desnudo. Así, la cobertura explicó el 70 por ciento de la infiltración en los suelos del área de la Laguna Churince.

a) Antecedente de humedad en sitios con Moderada Intensidad



b) Antecedente de humedad en sitios con alta intensidad

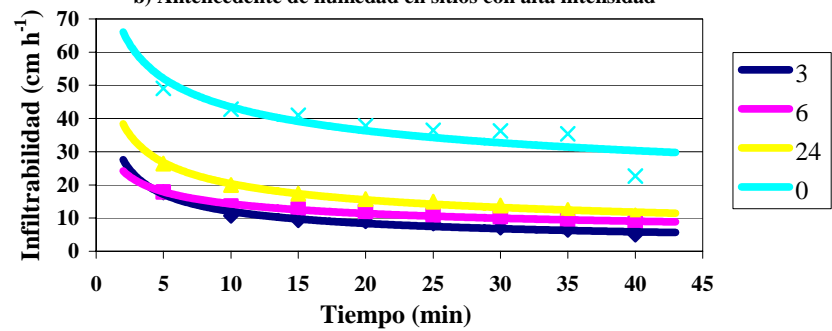


Figura 2. Infiltrabilidad promedio (cm h<sup>-1</sup>) en La Laguna Churince, Cuatrociénegas con diferente tiempo de humedecimiento (3, 6 y 24 horas) y suelo seco, en simulaciones con intensidad a) moderada y b) alta intensidad de lluvia.

Cuadro 1. Cobertura vegetal externa promedio (%) estimada en los sitios de las pruebas de simulación de lluvia.

muestreo	Gramíneas	Arbustivas	Herbáceas	Hojarasca	Costra	Pedregosidad	Rocas	Suelo Desnudo
3	6.8	4.6	9	11.6	0	3.2	3.6	61.2
6	0	9.4	8.6	6.8	10.8	11.2	10	43.2
24	0	1.4	8	9.6	20	9.8	7.8	43.4
0	0	5	10	11.6	2.8	53.4	13.4	3.8

Cuadro 2. Análisis de regresión lineal múltiple de la cobertura vegetal externa en los sitios de estudio y su valor determinísticos y probabilidad de la relación con las tasas de infiltración a diferentes periodos de tiempo.

Tiempo (min)	Probabilidad del Modelo	Valor de $r^2$	Valor determinísticos y probabilidad de las variables de la cobertura vegetal externa								
			Intercepto	Gramíneas	Arbustivas	herbáceas	Hojarasca	Costras	Pedregosidad	Rocas	Suelo Desnudo
5	0.0487	0.68	1434.66	-80.612	36.41	67.108	-99.384	-43.298	-104.764	-60.13	-113.34
			0.027	0.0314	0.0039	0.0193	0.031	0.0207	0.0273	0.0216	0.031
10	0.0883										
15	0.0713										
20	0.0538										
25	0.0266	0.72	1238.77		34.815	60.804	-92.846	-37.624	-90.116	-52.09	-98.53
			0.0331		0.0027	0.0191	0.0267	0.0249	0.034	0.0263	0.037
30	0.0437	0.69	1213.117		34.109	60.012	-91.555	-36.624	-88.353	-50.97	
			0.0472		0.0047	0.0276	0.0378	0.0374	0.0482	0.0385	
35	0.041	0.68	1204		34.499	60.351	-91.125	-36.748		-50.91	
			0.5		0.0048	0.029	0.0413	0.039		0.0415	

Los datos de las variables hidrológicas determinados en los diferentes sitios en estudio se muestran en el Cuadro 3. En el análisis de correlación de las variables hidrológicas y las tasas de infiltración las características más asociadas a las tasas de infiltración en los periodos de tiempo 5, 10, 15, 20, 25, 30 y 35 min fueron el tiempo final del escurrimiento y del goteo y el volumen de agua en tránsito. A partir del minuto 20 y hasta los 35 min sólo las características del final del escurrimiento y del goteo (Cuadro 4). De acuerdo a los resultados los periodos de tiempo finales del escurrimiento y del goteo (seg) fueron muy cortos; esto explica que la entrada de agua al suelo es muy alta dada las características de los suelos, por lo cual, en los sitios de estudio, la cantidad y disponibilidad del agua en la superficie aplicada a cualquier intensidad, localidad y bajo cobertura o suelo desnudo penetra al suelo, mostrando valores de acuerdo a la aplicación del agua durante las pruebas de simulación de lluvia.

Cuadro 3. Variables hidrológicas promedio determinadas en las pruebas de simulación de lluvia en el área de la Laguna Churince, Cuatrociénegas, Coahuila.

Sitios con humedad	Agua Detención	Inicio Goteo	Inicio	Final	Final Goteo	Volumen en Transito (l)
			escurrimiento	Escurrimiento		
Tiempo (seg.)						
3	21.2	110.8	131.6	2137	2187.4	0.174
6	44.4	70.4	99.6	2346.8	2389	0.231
24	45.2	111.2	163.2	2423	2471.2	0.166
0	16.6	182.2	197.6	2424.4	2473.2	0.138

Cuadro 4. Valores determinísticos y probabilidad de la asociación de las variables hidrológicas y las tasas de infiltración en el área de la Laguna Churince, Cuatrociénegas, Coahuila.

Tiempo (min)	Detención	Inicio Goteo	Inicio Escurrimiento	Final Escurrimiento	Final Goteo	Volumen en Transito
5		0.9284 (0.0001)	0.993 (0.0001)	-0.566 (0.0093)	-0.563 (0.0097)	0.526 (0.0171)
10				-0.53 (0.0161)	-0.52 (0.0185)	0.509 (0.0218)
15				-0.5555 (0.011)	-0.548 (0.0123)	0.482 (0.0312)
20				-0.58 (0.0073)	-0.576 (0.0078)	
25				-0.587 (0.0065)	-0.584 (0.0068)	
30				-0.584 (0.0068)	-0.582 (0.0071)	
35				-0.585 (0.0067)	-0.582 (0.007)	

De acuerdo a los resultados, a cualquier intensidad de lluvia, localidad de la Sierra San Marcos y Pinos o de la Laguna Churince, y la cobertura vegetal no fueron características relevantes en la determinación de la cantidad de agua que pueda penetrar al suelo por unidad de tiempo. El principio Hortoniano (el exceso de agua produce escurrimiento) no aplica para esta región, sino es dominado por el principio de área parcial variable, donde los escurrimientos son generados por los flujos subterráneos. Esto último, tiene la implicación que las actividades o uso del suelo no son aun un factor que afecte el proceso de infiltración en el área de estudio, sino que la fuente variable de agua existente en el Valle de Cuatrociénegas es alimentada de los valles de su entorno y posiblemente de partes más lejanas. Esto es señalado, en el principio lógico que la cantidad de precipitación media anual y la extensión territorial del Valle de Cuatrociénegas no es suficiente para el gasto de agua que sale del valle hacia las áreas agrícolas de los municipios aledaños.

## CONCLUSIONES

a) las tasas de infiltración no mostraron diferencias estadísticas por la cantidad y disponibilidad de agua aplicada durante las pruebas de simulación de lluvia; b) no hay diferencias significativas en la parte de la Sierra San Marcos y Pinos y La Laguna Churince; c) no se detectaron diferencias significativas en las áreas con cobertura vegetal y en las áreas sin cubierta de plantas; d) las tasas de infiltración se relacionan positivamente a la presencia de cobertura de arbustos y herbáceas y de manera negativa las variables de poca hojarasca, presencia de micróflora, pedregosidad, rocas y suelo sin vegetación; e) las variables hidrológicas asociadas a las tasas de infiltración son el tiempo final del escurrimiento y del goteo que denotan que el agua disponible sobre la superficie del suelo penetra con altos valores de infiltración; f) el agua en el Valle de Cuatrociénegas y en particular a la Laguna Churince es explicada por el principio de área parcial variable; g) el agua en la Laguna Churince y en el abasto de las pozas tiene su origen en los valles aledaños.

## LITERATURA CITADA

- Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento (CEAS), Coahuila. 2002. Estudio geohidrológico en Cuatrociénegas, Coahuila. Coahuila. México. 23 p.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 1998. Estudio Geohidrológico Teórico del Valle de Cuatrociénegas, Coahuila. Comisión Nacional del Agua Delegación Estatal Coahuila, México. 32 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 Cocytod. Durango. 6 : 28-29.
- García, E. 1969. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática Koppen 2da. ed. UNAM. México, D. F. 246 p.
- Hillel, J. D. 1982. Soil physical principles. Academic Press, Inc. USA. 275 p.
- Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1980. Estudio geohidrológico en la zona Cuatrociénegas-Ocampo, Coahuila. Subdirección Geohidrología y de Zonas Áridas, México. 23 p.
- Minckley W.L 1992. Three decades near Cuatrociénegas, Mexico: Photographic documentation and a plea for area conservation. Limnology and Aquatic Biology of the Southwest. 26: 89-118.
- Pieper, R. D. 1973. Measurement techniques for herbaceous and shrubby vegetation. New México State University Press. Las Cruces, New México, USA. 148 p.

- Pinkava, D. J. 1981. Vegetation and flora of Cuatrociénegas Región Coahuila, México. IV Summary, endemism and corrected catalogue. Journal of the Arizona Nevada Academy of Science. 19(1): 247p.
- Steel, D. G. y J. H. Torrie. 1988. Bioestadística, principios y procedimientos. Editorial McGraw Hill. México, D. F. 662 p.
- Troeh, F. R., J.A. Hobbs and R. L. Donahue. 1980. Soil and water conservation for productivity and environmental protection. Prentice-Halls, Inc. N. J., USA. 718 p.
- Wilcox B. P., M. K. Wood and J. M. Tromble .1988. Factors influencing infiltrability of semiarid mountain slope. J. Range Management. 41: 197-206.
- Wood, M. K., and W. H. Blackburn. 1981. Grazing systems: Their influence on infiltration rates in the rolling plain of Texas J. Range Management. 34: 331-335.



## RESUMEN

### INFILTRACIÓN BAJO DIFERENTES ANTECEDENTES DE HUMEDAD EN CUATROCIÉNEGAS, COAHUILA

El Área Natural del Valle de Cuatrociénegas se caracteriza por abundante agua que emerge de pozas. Este humedal, posee especies de flora y fauna endémicas. En los últimos años, el recurso agua ha sido un tema prioritario para la región dada la disminución de cuerpos de agua, principalmente La Laguna Churince. La finalidad del estudio es analizar la infiltración bajo diferentes condiciones de humedad antecedente. La infiltrabilidad fue estimada por simulación de lluvia. Se humedeció el suelo 3, 6 y 24 h, previo a las pruebas de simulación ( $50 \text{ l m}^{-2}$ ). El área en estudio no presenta diferencias estadísticas en la entrada de agua bajo o fuera de la vegetación y en el valle o ladera de la Sierra. Los resultados muestran que cuando el suelo está seco, la infiltrabilidad no presenta diferencias estadísticas, pero al humedecerse el suelo exhiben alta significancia desde los 5 min hasta 35 min; además, sus valores son más altos, seguidos por los sitios con 24, 6 y 3 h, en sitios donde se aplicó una moderada y alta intensidad de lluvia ( $18.8$  y  $41.7 \text{ cmh}^{-1}$ , respectivamente). Las variables hidrológicas y de vegetación no muestran relación con la infiltración. La presencia de suelos alcalinos tiene gran influencia en el potencial capilar y osmótico del movimiento de agua y ejerce gran influencia en la presencia de humedad en las partes superiores, lo cual promueve altas tasas de evaporación

y la formación de costras superficiales, que al inicio reduce la infiltración y al humedecerse se disuelven y alcanzan una infiltración constante rápidamente.

Palabras clave: Infiltrabilidad, Intensidad de Lluvia, Área Protegida, Laguna Churince.