

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE INFILTRACIÓN EN
LA LAGUNA CHURINCE, VALLE DE
CUATROCIENEGAS, COAHUILA.**

Por:

Adonis Fabián Tello

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el
Título de:

INGENIERO FORESTAL

Buenvista Saltillo, Coahuila, México.

Junio de 2008.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE INFILTRACIÓN EN
LA LAGUNA CHURINCE, VALLE DE
CUATROCIENEGAS, COAHUILA.**

Por:

ADONIS FABÍAN TELLO

TESIS PROFESIONAL

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO FORESTAL

Buenavista Saltillo, Coahuila, México.

Junio de 2008.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE INFILTRACIÓN EN
LA LAGUNA CHURINCE, VALLE DE
CUATROCIENEGAS, COAHUILA.**

Por:

ADONIS FABIÁN TELLO

TESIS

Que somete a consideración del H. Jurado examinador como requisito

parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobada por:

M. C. Luís Morales Quiñones

Presidente

Dr. José Duéñez Alanís

Sinodal

Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho

Sinodal

Dr. Mario E. Vásquez Badillo

Coordinador de la División de Agronomía

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

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE AGRONOMIA

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE INFILTRACION EN
LA LAGUNA CHURINCE, VALLE DE CUATRO
CIENEGAS, COAHUILA.**

Por:

ADONIS FABIAN TELLO

TESIS

Que somete a consideración del H. Jurado examinador como requisito

parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobada por:

Dr. José Duñez Alanís

Director de Tesis

M. C. Luís Morales Quiñones

Asesor

Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho

Asesor

Dr. Mario E. Vásquez Badillo

Coordinador de la División de Agronomía

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

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISION DE AGRONOMIA

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE INFILTRACION EN
LA LAGUNA CHURINCE, VALLE DE CUATRO
CIENEGAS, COAHUILA.**

Por:

ADONIS FABIAN TELLO

TESIS

Que somete a consideración del H. Jurado examinador como requisito

parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobada por:

Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho

Director de Tesis

M. C. Luís Morales Quiñones

Asesor

Dr. José Duéñez Alanís

Asesor

Dr. Mario E. Vásquez Badillo

Coordinador de la División de Agronomía

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

DEDICATORIA

A mis padres: Don Emilio y Doña Bella (Mis viejos).

A quienes les debo tanto, por regalarme el Don de la vida, que son la esencia de mí ser, por sus valiosos consejos, así como su confianza, palabras de aliento, por nunca perderme la Fe.

Dios los bendiga hoy y siempre.

A mi hermana Jezi (La flaca).

Por su valioso y decidido apoyo en las diferentes etapas de mi vida así como en mi formación profesional, por darme su tiempo cuando mas lo necesite y que es la mejor hermana que jamás ha tenido alguien.

A Leonardo (Leoncito).

Por ser mí primer hijo, que lo adoro, que es mi motivación mayor para seguir adelante.

A Ilsa (Peque).

Por regalarme tu tiempo y cariño en todo momento, por entrar en mi vida para enseñarme que ante la adversidad siempre debemos mirar la vida con entereza y que de lo malo hay que sacar lo bueno.

A Miguel Tello (Tío May).

Por compartir tantas cosas desde mi niñez hasta hoy.

A Roberto A. García (Tico).

Por inducirme a seguir estudiando y no perderme en el camino.

AGRADECIMIENTOS

A mi “Alma Terra Mater”, Universidad Autónoma Agraria

“Antonio Narro” por abrirme sus puertas y ser un profesional para mi familia, mi gente y para la sociedad en general por que en ella aprendí cosas importantes.

Al Dr. José Duéñez Alanís por su tiempo y paciencia en la culminación de esta etapa tan importante de mi formación profesional, por confiar en mi persona aun con mis limitaciones, por enseñarme a ser un profesional, pero sobre todo brindarme su amistad.

Al M.C. Luis Morales Quiñones Por su colaboración en este proyecto así como por su orientación para culminar este trabajo.

Al Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho Por darme la oportunidad de realizar es proyecto, así como por sus pertinentes y atinadas observaciones en la revisión del escrito.

A Jesús Héctor Cabrera Hernández (Don Chuy) por su ayuda en el trabajo de campo para la toma de datos.

Al asistente técnico Francisco de Asís García Méndez (Kikin) por su ayuda en el trabajo de campo para la toma de datos.

A mi compañero y amigo Oscar Salazar Hernández por brindarme su amistad en todo momento.

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

Biol. Silvia Guerrero Martínez por su apoyo y colaboración en el análisis de laboratorio de los datos de Campo

Biol. Socorro Mirales Vásquez por su apoyo y colaboración en el análisis de laboratorio de los datos de Campo.

Y de manera muy especial a todas y cada una de las personas que de alguna manera y en algún instante de mi carrera me ayudaron para ser lo que ahora soy.

GRACIAS DE VERDAD

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pagina
Dedicatoria	vi
Agradecimientos	vii
Índice de Figuras	ix
Índice Cuadros	x
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo General	3
Objetivo Específico	3
Hipótesis	3
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Infiltración	4
Técnicas para Estimar la Infiltración	5
Factores que Afectan la infiltración	5
Condiciones de Superficie	6
Características del Suelo	7
Condiciones Ambientales	7
Características del Fluido que Infiltra	8
Estudios Afines	9
MATERIALES Y MÉTODOS	12
Descripción del Área de Estudio	12
Localización Geográfica	12
Geología	12
Hidrología	13
Suelo	13
Clima	14
Vegetación	14
Metodología	16
Simulación de Lluvia	16
Intensidad de Lluvia	17
Estimación de la Tasa de Escurrimiento.	18
Estimación de la Tasa de Infiltración	18
Características del Suelo	18
Estimación de la Cobertura Vegetal	18
Estimación de Variables Hidrológicas del Escurrimiento	19
Análisis Estadístico	19
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
CONCLUSIONES	33
RESUMEN	34
LITERATURA CITADA	35

INDICE DE FIGURAS

	Pagina
Figura 1. Simulador de lluvia portátil de boquilla simple con alta intensidad (Wilcox <i>et al.</i> 1986).	17
Figura 2. Valores promedio de la tasa de infiltración (cm h^{-1}) estimada en el área de la Laguna Churince, Cuatrociénegas, Coahuila, México.	21
Figura 3. Valores promedio de las tasas de infiltración (cm h^{-1}) determinadas por localidad de estudio en el área de la Laguna Churince, Cuatrociénegas, Coahuila, México.	22
Figura 4. Valores promedio de las tasas de infiltración (cm h^{-1}) determinadas por Intensidad aplicada de estudio en el área de la Laguna Churince, Cuatrociénegas, Coahuila, México.	23
Figura 5. Valores promedio de las tasas de infiltración (cm h^{-1}) determinadas por cobertura del suelo de estudio en el área de la Laguna Churince, Cuatrociénegas, Coahuila, México.	23

Índice de Cuadros

	Pagina
Cuadro 1. Valores promedio de la tasa de infiltración (cm. h ⁻¹) obtenida de la aplicación diferencial de la intensidad de lluvia en los sitios de estudio del Valle de Cuatrociénegas, Coahuila.	24
Cuadro 2. Valores promedio de la tasa de infiltración (cm. h ⁻¹) obtenidos en los sitios ubicados hacia la parte superior e inferior de la poza Churince del Valle de Cuatrociénegas, Coahuila.	24
Cuadro 3. Valores promedio de la tasa de infiltración (cm h ⁻¹) en los sitios ubicados bajo cobertura y suelo desnudo en el Valle de Cuatrociénegas Coahuila.	25
Cuadro 4. Cobertura vegetal interna (%) estimada en los sitios de las pruebas de simulación de lluvia.	27
Cuadro 5. Cobertura vegetal externa (%) estimada en los sitios de las pruebas de simulación de lluvia.	28
Cuadro 6. Análisis de regresión lineal múltiple de la cobertura vegetal externa en los sitios de estudio y su valor determinístico y probabilidad de la relación con las tasas de infiltración a diferentes periodos de tiempo.	29
Cuadro 7. Variables hidrológicas determinadas en las pruebas de simulación de lluvia en el área de la Laguna Churince, Cuatrociénegas, Coahuila.	30
Cuadro 8. 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.	31

INTRODUCCIÓN

La entrada de agua al suelo es un proceso de gran importancia en el Ciclo Hidrológico. Su importancia del proceso de infiltración fue señalada por primera vez por Horton en 1933, quien considero fundamental estudiar la tasa a la cual el agua entra en el suelo, determinando con ello la disponibilidad que puede existir en suelo para satisfacer la humedad del suelo para la vegetación, la recarga de acuíferos, a los cauces, las perdidas por evaporación o el suministro a los escurrimientos subsuperficiales y subterráneos que abastecen a los manantiales.

En las diferentes regiones de México se distinguen diversidad de comunidades vegetales de bosques, selvas y zonas áridas donde el recurso agua desempeña un papel trascendente en el escenario de disponibilidad, abundante o escasa, y en muchos de ellos no se ha caracterizado con suficientes estudios las tasas de infiltración, lo cual es vital conocer la infiltración en los diversos ecosistemas.

El Valle de Cuatrociénegas, Coahuila fue decretada como Área Natural Protegida de Flora y Fauna mediante decreto que se publico en el diario oficial de la federación el día 7 de noviembre de 1994. 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.

El estado de Coahuila es considerado un territorio árido y semiárido. En el centro del estado se encuentra El Valle de Cuatrociénegas, 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 una ecoregión prioritaria para la conservación.

El Valle de Cuatrociénegas es caracterizado 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 región. Por ello, el monitoreo del agua es prioritario para la conservación de la ecoregión. El presente estudio es hecho para evaluar la tasa de infiltración en la Laguna Churince que es una de las de mayor tamaño y de mayor interés e impacto en el Valle de Cuatrociénegas, Coahuila, México.

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 afecta 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 interior del suelo. Por lo anterior, se han planteado los siguientes objetivos:

Objetivo General

Generar información en relación al proceso de infiltración en La Laguna Churince del Valle de Cuatrociénegas, Coahuila.

Objetivos Específicos

Determinar la tasa infiltración en la Laguna Churince del Valle de Cuatrociénegas, Coahuila.

Determinar las variables hidrológicas, suelo y vegetación que influyen en el proceso de infiltración en La Laguna Churince, del Valle de Cuatrociénegas, Coahuila.

Hipótesis

Ho: La entrada de agua al suelo en la Laguna Churince del Valle de Cuatrociénegas es influenciada por la vegetación.

Ha: La entrada de agua al suelo en La Laguna Churince del Valle de Cuatrociénegas no es influenciada por la vegetación.

REVISION DE LITERATURA

Infiltración

La infiltración es el proceso mediante el cual el agua penetra en el suelo, a través de aberturas y poros de tamaño variable. La vegetación, la matriz del suelo y las variables ambientales, determinan la cantidad de agua que puede penetrar al suelo en un momento dado. La relación entre la cantidad de agua disponible sobre la superficie del suelo (precipitación) y la tasa de infiltración es la que determina la cantidad de agua que penetra y la escorrentía directa que alimenta los cauces de las corrientes superficiales. (Selby, 1970).

Al penetrar el agua en el suelo, 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 flujo subsuperficial subterránea, saturando los poros del suelo. Muchos factores del suelo afectan la infiltración y el movimiento del agua dentro del mismo y su distribución durante y después de la infiltración. Al aplicar agua a determinada superficie de suelo, a una intensidad uniforme, con el tiempo se llega a un punto en que la tasa inicial de infiltración exceda la capacidad del suelo para absorber agua, el exceso se acumula sobre la superficie y fluye en dirección de la pendiente. (Vélez *et al*, 2002).

La capacidad de infiltración o infiltrabilidad del suelo es el flujo que el perfil del suelo puede absorber a través de su superficie, cuando es mantenido en contacto con el agua a la presión atmosférica y bajo una serie dada de condiciones. Mientras el suministro de agua disponible en la superficie del suelo sea menor que la infiltrabilidad, el agua se infiltra como es aportada y esta determina la tasa de infiltración, en este caso se dice que el proceso es controlado por el flujo o disponibilidad de agua. Una vez que el aporte excede la infiltrabilidad del suelo, la tasa de infiltración es determinada y el

proceso controlado por las características del perfil del suelo (Gurovich, 1985).

Técnicas para Estimar la Infiltración

Para medir la infiltración, existen varios métodos, entre ellos se tienen los de estudios de parcela, donde se encuentran los estudios mediante lisímetros, parcelas de inundación en áreas confinadas y los llamados mecanismos de aspersión (Wood y Blackburn, 1981) los más comunes son los métodos: a) cilindros infiltrómetros, b) simuladores de lluvia y c) bajo lluvia natural.

Método del cilindro o infiltrómetros. Este método se utiliza para determinar la tasa de infiltración en suelos en los que se establecerán métodos de riego, tales como acequias en contorno, bordes, tazas, aspersión y goteo.

Simuladores de lluvia. 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 escarmiento.

Factores que afectan la infiltración

En el proceso de infiltración, las variables que lo influyen son la entrada superficial, transmisión a través del suelo, capacidad de almacenamiento del suelo, características del medio permeable, y características del fluido. En la superficie del suelo puede estar cerrada por la acumulación de partículas que impidan, o retrasen la entrada de agua al suelo; en el interior del suelo, la transmisión del agua disminuye su tasa en la superficie debido a los distintos horizontes o estratos del perfil del suelo. La constante entrada de agua satura la porosidad del perfil, saturando con humedad los horizontes y su desplazamiento se reduce por la acumulación de humedad y es relacionada con el tamaño del poro y su distribución, el tipo de suelo, la textura, la

vegetación, la estructura y la densidad aparente de los suelo. Por otro lado, las características del fluido son afectadas por la contaminación del agua por partículas finas o coloides, la temperatura y viscosidad del fluido y la cantidad de sales disueltas.

Asimismo, 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).

Thurrow *et al.* (1986) citan que la cantidad de cubierta vegetal es de mayor importancia comparada con el tipo de vegetación, ya que afirman que la protección de la estructura del suelo al impacto de las gotas de lluvia es la primordial función de la cobertura vegetal en el proceso de infiltración.

Condiciones de Superficie

El mayor o menor grado de compacidad que presente la superficie del terreno, tendrá notable incidencia en la forma en que se efectúe la penetración del agua, y por lo tanto, en la capacidad de infiltración del suelo. En el caso de superficies desnudas, el suelo se halla expuesto al choque directo de las gotas de lluvia, lo que puede dar lugar a una compactación del mismo, con la consiguiente disminución de la infiltración. Los agregados de partículas son divididos por el agua, que arrastrará de este modo elementos más finos, con mayor posibilidad de penetrar hacia el interior y obturar los poros y grietas, impidiendo o retardando la infiltración. Así, un suelo con excelente drenaje, puede tener una capacidad de infiltración baja, como consecuencia de este “sellado” de la superficie y capas superiores. En cambio, cuando el suelo está cubierto por vegetación las plantas protegen de la compactación por impacto de la lluvia, retardándose además el recorrido

superficial del agua, que está así más tiempo expuesta a su posible infiltración, mientras que por su parte, las raíces de los vegetales abren conductos en el suelo que facilitan la penetración del agua. La pendiente del terreno influye en el sentido de mantener durante más o menos tiempo una lámina de agua de cierto espesor sobre él. En zonas con afloramientos rocosos, sin formación de suelo o siendo éste muy incipiente, la infiltración puede llegar a ser prácticamente nula. En los terrenos fracturados, la clase, orientación y tamaño de las fracturas, serán factores de primordial importancia.

Características del Suelo

La textura del suelo influye por sí y por su influencia en la estabilidad de la estructura, en forma tanto menor cuanto mayor sea la proporción de materiales finos que contenga. Un suelo con gran cantidad de limos y arcillas, está expuesto a la disgregación y arrastre de estos materiales por el agua, con el consiguiente llenado de poros más profundos. La estructura define el tamaño de los poros. La existencia de poros grandes reduce la tensión capilar, pero favorece directamente la entrada de agua. El calor específico del terreno influirá en su posibilidad de almacenamiento de calor, afectando a la temperatura del fluido que se infiltra, y por lo tanto, a su viscosidad. El aire que llena los poros libres del suelo, tiene que ser desalojado por el agua para ocupar su lugar, lo que reduce la intensidad de la infiltración, hasta que es desalojado totalmente

Condiciones Ambientales

La humedad inicial del suelo tiene una importancia capital 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 intensidad de infiltración. A medida que el suelo se humedece, las arcillas y coloides se hinchan por hidratación, cerrando los

vacíos y disminuyendo en consecuencia la capacidad de infiltración. Cuando un suelo tiene completa su capacidad de absorción de agua al comenzar la precipitación, resulta evidente que la cantidad de agua que admitirá será mucho menor.

En ocasiones, la temperatura del suelo puede ser suficientemente baja, como para provocar el congelamiento del agua recibida. La capa helada que se forma, puede considerarse prácticamente impermeable. No obstante, el agua de lluvia puede llegar a proporcionar calor suficiente para la fusión de esa primitiva capa y penetrar en el terreno.

Características del Fluido que Infiltra

En primer lugar, debe considerarse el espesor de la lámina de agua sobre el terreno, que favorece la infiltración. La turbidez del agua incide especialmente por los materiales finos en suspensión que contiene, los que penetran en el suelo y reducen por colmatación la permeabilidad, y por tanto, la intensidad de infiltración. El contenido de sales, en ocasiones favorece la formación de flóculos con los coloides del suelo, reduciendo en consecuencia, por el mismo motivo anterior, la intensidad de infiltración. En otros casos, puede ocurrir lo contrario, si se produce de floculación. La temperatura del agua afecta a su viscosidad, y en consecuencia, a la facilidad con que aquélla discurrirá por el suelo. Debido a esta causa, diversas mediciones efectuadas, han permitido comprobar intensidades de infiltración menores en invierno que en verano, a igualdad de las demás condiciones.

Estudios Afines

El proceso de infiltración determina la cantidad de humedad almacenada en el suelo que se encuentra disponible para las plantas y la recarga de acuíferos, por ello el conocimiento de este proceso es importante para el manejo eficiente del suelo y el agua (Hillel, 1971).

Rostagno (1989) comparo las tasas de infiltración en interespacios de arbustivas y bajo su cobertura foliar el noreste de la Patagonia, encontrando que la tasa de infiltración fue de 6.1 y 8.0 cm hr⁻¹ para suelos bajo arbustivas e interespacios, respectivamente, relacionándose la infiltración positivamente con la cobertura de hojarasca y negativamente la cobertura de grava de los sitios.

Gutiérrez *et al.* (1990) compararon la tasa de infiltración del Pastizal Mediano Abierto, del Pastizal Amacollado y del Matorral Microfilo del Rancho Los Ángeles de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro determinando que existen diferencia significativas entre el Pastizal Mediano Abierto y el Matorral Micrófilo, influenciadas por los factores de densidad aparente, cobertura de gramíneas y el porcentaje de suelo desnudo, el pastizal amacollado no representa diferencia significativa respecto a los otros tipos de vegetación.

Gutiérrez *et al.* (1990) realizaron un estudio para determinar los efectos del cambio de un matorral micrófilo inerte a un matorral halófito y un pastizal amacollado sobre las tasas de infiltración. Concluyen que transformar el matorral micrófilo inerte mejora las condiciones hidrológicas de los suelos, siendo esto último debido al suelo desnudo, biomasa de gramíneas y contenido de arcilla.

Wilcox *et al.* (1988) señalan que la mayoría de los investigadores han subestimado la pendiente del terreno la cual es una variable de mucha importancia; indican también que la cobertura de piedras está asociada negativamente con la infiltración de los suelos porque generalmente está asociada con escasa cobertura vegetal; no obstante, la cobertura de piedras puede en un momento dado ofrecer cierta protección al suelo, especialmente fragmentos mayores de 2.5 cm, por lo que en ocasiones es preferible tener esta condición que un suelo desnudo. Concluyen que las tasas de infiltración están relacionadas negativamente con el gradiente de pendiente, debido a que el interflujo se incrementa conforme aumenta el valor de la pendiente.

La densidad aparente relacionada con la porosidad influye en las tasas de infiltración; al respecto Meewig (1970), reporta que además de la cobertura vegetal y el mantillo la densidad aparente de los suelos el estado de agregación, el contenido inicial de humedad y la biomasa contribuyen con el 80 por ciento de la varianza en la cantidad de agua infiltrada en el suelo.

Trabajos de investigación realizados en Brasil también muestran que el porcentaje de cobertura del suelo con residuos vegetales es el factor más importante que influye sobre la infiltración de agua en el suelo (Roth, 1985). Mientras la infiltración fue prácticamente total cuando el suelo estaba 100% cubierto con residuos vegetales, se verificó un escurrimiento superficial de 75 a 80% del agua, de una lluvia de 60 mm h^{-1} en caso de suelo descubierto.

La SARH (1980) realizó un estudio el cual cubrió el Valle de Ocampo y la parte norte del Valle de Cuatrociénegas. En este estudio se definió un acuífero granular que rellena los valles y un acuífero calizo.

MATERIALES Y METODOS

Descripción del Área de Estudio

Localización geográfica. El Valle de Cuatrociénegas tiene una extensión de 84,347 ha y se encuentra ubicado al Oeste de la región Centro del Estado de Coahuila, a 80 Km de la ciudad de Monclova sobre la Carretera Federal No.30 Monclova-Torreón; colinda al Norte con el municipio de Ocampo al Oeste con los municipios de Lamadrid, Sacramento y Castaños, al Sur con los municipios de Ramos Arizpe y Parras, y al Oeste con los municipios de San Pedro y Sierra Mojada. Las coordenadas geográficas entre las cuales se encuentra el Valle de Cuatrociénegas son: 26°45'00" y 27°00'00" de latitud Norte y los 101°48'49" y 102°17'53" de longitud Oeste y (CEAS, 2002).

Geografía. Cuatrociénegas es un pequeño valle intermontano, ubicado en la parte central del Estado de Coahuila goza de una abundancia de agua superficial, característica poco común en sitios áridos. En el Mesozoico emergen las tierras de Coahuila y el mar se reduce 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. 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 (Minckley, 1969).

Geología En el Mesozoico emergen las tierras de Coahuila y el mar se reduce formando la península de Coahuila, los depósitos de yeso en la parte central de Coahuila, indican la línea costera y la recesión del mar. Actualmente, el Valle de Cuatrociénegas está en el límite de dos Provincias

Geológicas, el Golfo de Sabinas y la Plataforma de Coahuila, donde la Sierra de la Fragua sirve como parteaguas. 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. 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. La Cuenca Hidrológica del 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 han disminuido las áreas pantanosas y modificado el patrón de inundación del Valle (CNA1998).

Suelo. En la subprovincia dominan los suelos Litósoles asociados a suelos de Rendzinos, 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 lacustre 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 Yermósol, del tipo salino y/o yesoso, producto de la evaporación por las altas temperaturas (CEAS, 2002).

Clima. El clima en el área de estudio es árido , con una estación de lluvias de Mayo a Octubre, la precipitación pluvial media anual es menor de los 200 mm, en ocasiones presentándose lluvias considerables, durante el invierno el

viento persiste algunas veces por varios días; las temperaturas invernales pueden bajar de 0 °C en la noche cuando se presentan heladas y nevadas, siendo estas raras durante el día; en verano la temperatura del aire puede exceder los 44 °C durante el día y tener relativamente noches frescas (Minckley, 1969). De acuerdo con la clasificación climática de Koppen modificada por García (1969), se reportan para este valle los siguientes climas: BWhw' (x') (e'): muy seco semicálido, con invierno fresco, régimen de lluvias de verano, muy extremo, y BSoKw'' (x') (e'): seco, templado con veranos cálidos, régimen de lluvias en verano, extremo.

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 distribuidos en 114 familias, 456 géneros, 860 especies y 19 taxas intraespecíficos adicionales.

Los principales tipos de vegetación en al área son:

Matorral Desértico Micrófilo: Las especies representativas de este tipo de vegetación son: El mezquite (*Prosopis glandulosa*), la gobernadora (*Larrea tridentata*), la palma pita (*Yucca treculiana*), el gatuño (*Acacia spp.*), el guayacan (*Porlieria angustifolia*), el chaparro prieto (*Acacia rigidula*), nopal (*Opuntia spp.*) y el hojaseñ (*Flourenzia cernua*).

Matorral Desértico Rosetófilo: Las especies representantes de este tipo de vegetación son: la guapilla (*Hechtia glomerata*), el sotol (*Dasylyrion palmeri*), maguey (*Agave spp.*), el ocotillo (*Fouqueria splendens*), el peyote (*Lophophora williamsii*), nopal (*Opuntia spp.*) y *Stipa eminens*.

Vegetación Halófila: Las especies representativas de esta vegetación son: Saucedilla spp., *Atriplex sp.* *Prosopis glandulosa*, *Opuntia spp.* y *Echinocerus spp.* Cerca del pastizal halófilo se encuentra *Sporobolus airoides* y

Monanthochloe littoralis. En este tipo de vegetación, una peculiaridad es la dominancia de *Dasyilirion palmeri* (sotol) en los alrededores de la Laguna Churince.

Vegetación Gypsofilas de Dunas: Las especies representativas de la vegetación gypsofila sobre dunas son: palma (*Yucca treculeana*), mimbre (*Chilopsis linearis*), alamillo real (*Atriplex* spp) y pitamo real (*Ephedra trifurca*).

Vegetación Gypsofila sobre Yesos Consolidados: Las especies representativas de la vegetación gypsofila sobre yesos consolidados son: *Flaveria chloraefolia*, *Lycium* spp., *Nama* spp., *Dymaria lyropetala*, *Opuntia* spp., y *Echinocerus enneacanthus*.

Pastizal Halófilo: Las especies representativas del son *Distlichis spicata* y *Spartina spartinae* y *Sporobolus airoides*. Generalmente no se presentan juntos, pudiendo ocurrir también especies arbustivas halofitas como *Atriplex* ssp., *Sauceda* spp., *Prosopis glandulosa*, etc.

Mezquital: Las especies representativas de este tipo vegetación son *Prosopis glandulosa*, con una altura mayor de 4 m. En el estrato superior también es común encontrar a *Acacia greguii*, y en el inferior a *Sporobolus airoides*.

Matorral submontano: Las especies más representativas son: *Lycium berlandieri*, *Acacia berlandieri*, *Dasyilirion palmeri*, *Karwinskia humboldtiana*, *Rhus virens*, *Garrya ovata*, *Prunus serótina*, *Agave* spp. y *Opuntia* spp. (López, 1984).

Metodología

Simulación de Lluvia. El uso de simuladores de lluvia es un método recomendado para estimar los procesos de infiltración, escurrimiento y la pérdida de suelo (Wilcox *et al.*, 1986; Duéñez-Alanís y Návar, 2006). Las pruebas de simulación de lluvias se realizaron en dos fechas de muestreo, la primera durante el mes de Diciembre 2007 a la segunda en Abril de 2008. Se seleccionaron 10 sitios de estudio, dividiendo en dos localidades el área el estudio; esto es, ubicando diez sitios desde la poza Churince a la Laguna Churince y los otros diez sitios desde la colina de la Sierra San Marcos y Pinos hasta la poza Churince.

Se utilizó simultáneamente un par de simuladores de lluvia, 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. De manera alterna, los simuladores de boquilla pequeña y grande, se ubicaron bajo cobertura vegetal y en suelo desnudo y por localidad para obtener representatividad de las parcelas por sitios de estudio (Figura 1). Así, se realizaron diez simulaciones de lluvia por ubicación, respectivamente. El agua se aplicó sobre parcelas de 1444 cm^2 , ajustando la altura y centrando la boquilla-parcela a una altura de 1.52 m y tener una representatividad hasta el 36 % de la energía cinética de la lluvia (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 $\frac{1}{2}$ 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 35 min, midiendo el volumen del escurrimiento (I) a intervalos de 5 min.

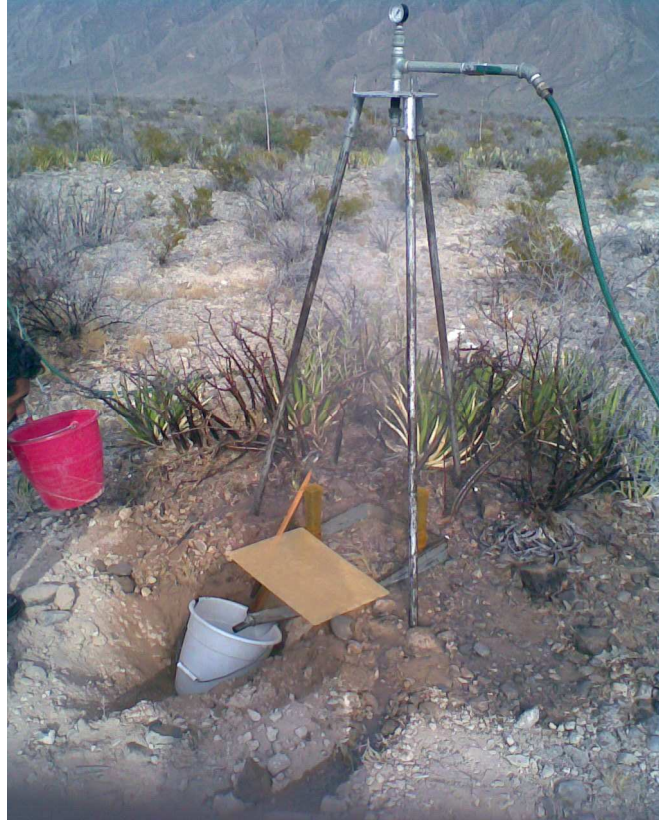


Figura 1. Simulador de lluvia portátil de boquilla simple con alta intensidad (Wilcox *et al.* 1986).

Intensidad de Lluvia

La Intensidad de Lluvia (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.

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 y 35 min, utilizando recipientes para su recolección y medidos con una probeta de 1000ml. El cálculo se realizó mediante la siguiente fórmula:

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

Estimación de la tasa de Infiltración

Las tasas de infiltración se estimaron por la diferencia de la intensidad de lluvia aplicada (cm hr⁻¹) y la tasa de escurrimiento (cm hr⁻¹) en cada periodo de cinco min, de la siguiente manera:

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

Características de Suelo

Al finalizar las pruebas de simulación de lluvia, se tomó una muestra de suelo para ser analizada en laboratorio las propiedades de cada muestra la densidad aparente (método de la parafina), la textura (método del hidrómetro de Bouyoucus) y el contenido materia orgánica (método de titulación).

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 transversal 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 Esguerrimiento

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 esguerrimiento y después de finalizada la prueba de simulación lluvia se midió el volumen de agua en tránsito (*m*).

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 factorial en dos niveles, 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 y del esguerrimiento que influyen las tasas de infiltración en cada periodo de tiempo se analizaron a través de una 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).

De esta forma, 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 una significancia estadística mayor al 0.5.

Asimismo, las variables de suelo y cobertura vegetal se sometieron a un análisis de regresión lineal múltiple con un nivel del cinco por ciento, de manera independiente en cada fecha de muestreo, para conocer las características más relacionadas a las tasas de infiltración.

RESULTADOS Y DISCUSION

La tasa promedio de infiltración (cm h^{-1}) en los sitios de estudio se muestra en la Figura 2. Estos valores son en general para toda el área comprendida para la Laguna Churince, la cual comprende las localidades arriba de la poza y hacia la Laguna, la intensidad moderada y alta, y bajo cobertura vegetal y en suelo desnudo.

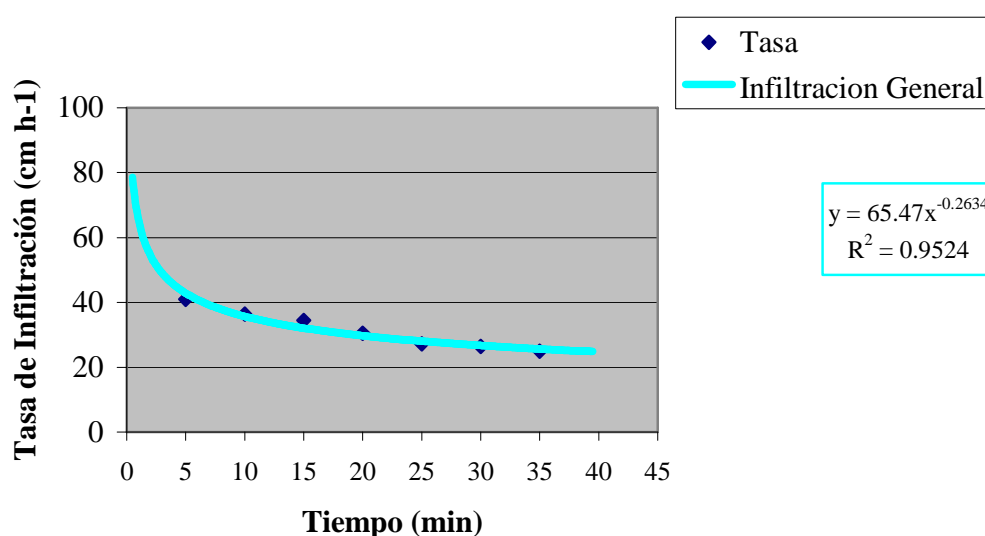


Figura 2. Valores promedio de la tasa de infiltración (cm h^{-1}) estimada en el área de la Laguna Churince, Cuatrociénegas, Coahuila, México.

Los valores promedio de las tasas de infiltración por intensidad, localidad y cobertura se presentan en las Figuras 3, 4 y 5, respectivamente.

Las tasas de infiltración por intensidad aplicada, moderada y alta, muestran mayores valores promedio cuando es aplicada una mayor intensidad; los valores promedio de las tasas de infiltración por intensidad aplicada, moderada y alta, en el área de la laguna no presentaron diferencias estadísticas significativas ($P > 0.5$) en cualquier período de tiempo (Cuadro

1). Esto es que, al existir mayor disponibilidad de agua sobre la superficie del suelo mayor entrada de agua por unidad de tiempo en el área de estudio. Esto es explicado por el principio de área variable origen de los flujos de agua en los cauces (Hibbert y Troendle; 1988). De acuerdo a lo anterior, la hidrología del agua existente en el Valle de Cuatrociénegas no es una respuesta a los excesos de agua o respuesta a los eventos de precipitación que rebasan las tasas de infiltración y producen escurrimientos, en otras palabras el concepto Hortoniano no es aplicado para la Laguna Churince y el Valle de Cuatrociénegas, Coahuila.

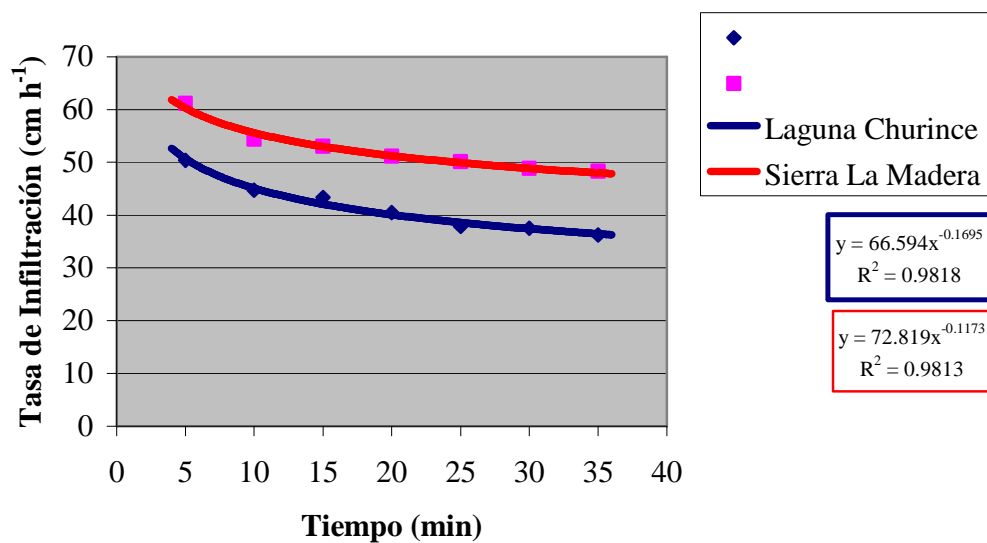


Figura 3. Valores promedio de las tasas de infiltración (cm h⁻¹) determinadas por localidad de estudio en el área de la Laguna Churince, Cuatrociénegas, Coahuila, México.

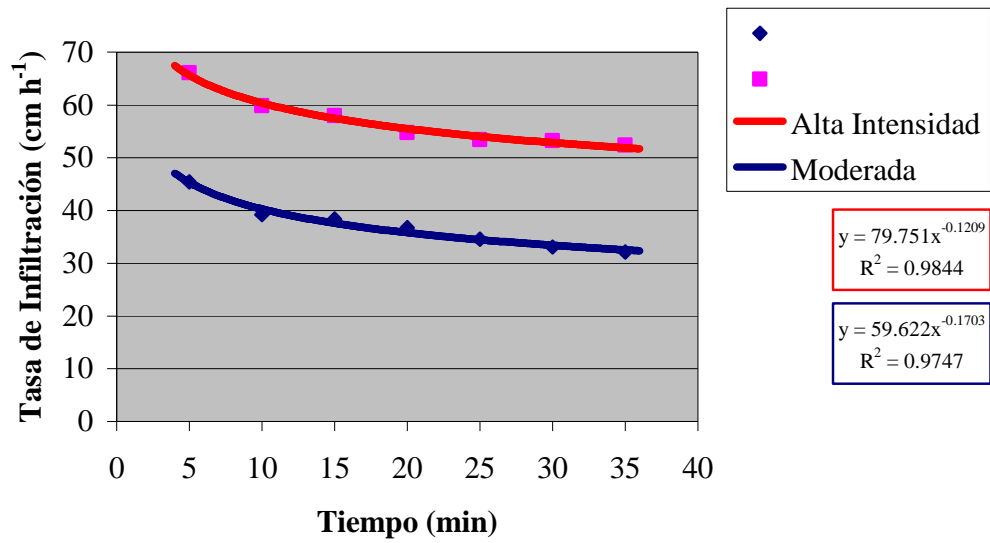


Figura 4. Valores promedio de las tasas de infiltración (cm h⁻¹) determinadas por Intensidad aplicada de estudio en el área de la Laguna Churince, Cuatrociénegas, Coahuila, México.

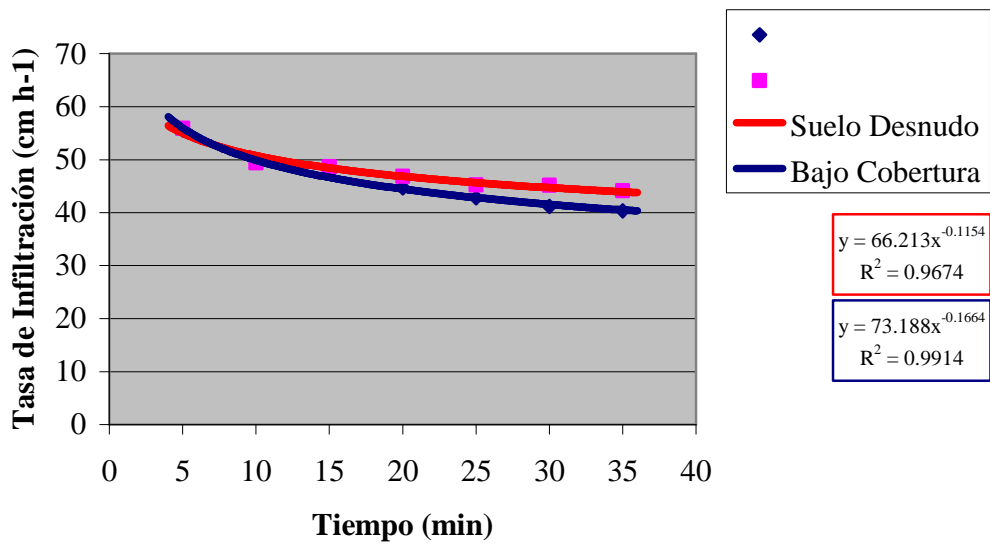


Figura 5. Valores promedio de las tasas de infiltración (cm h⁻¹) determinadas por cobertura del suelo de estudio en el área de la Laguna Churince, Cuatrociénegas, Coahuila, México.

Cuadro 1. Valores promedio de la tasa de infiltración (cm h^{-1}) obtenida de la aplicación diferencial de la intensidad de lluvia en los sitios de estudio del Valle de Cuatrociénegas, Coahuila.

Tiempo (min)	Moderada	Intensa
5	45.39 a	66.11 a
10	39.22 a	59.84 a
15	38.37 a	57.99 a
20	36.76 a	54.78 a
25	34.55 a	53.45 a
30	33.07 a	53.25 a
35	32.12 a	52.40 a

Los valores de las tasas promedio de infiltración (cm h^{-1}) por localidad, Sierra San Marcos y Pinos y Laguna Churince se presentan en el Cuadro 2. Los valores más altos de la tasa de infiltración se presentaron en la parte de la Laguna Churince. Sin embargo, el análisis estadístico de los datos no muestran diferencias estadísticas ($P > 0.5$) en cualquier período de tiempo. Esto es, en cualquier sitio del área de estudio se tendrá una infiltración muy similar a cualquier período de tiempo, por lo que la tasa de entrada de agua es un buen indicador en cualquier sitio que se estudie.

Cuadro 2. Valores promedio de la tasa de infiltración (cm h^{-1}) obtenidos en los sitios ubicados hacia la parte superior e inferior de la poza Churince del Valle de Cuatrociénegas, Coahuila.

Tiempo (min)	Sierra San Marcos y Pinos	Laguna Churince
5	50.36 a	61.14 a
10	44.68 a	54.38 a
15	43.35 a	53.00 a
20	40.44 a	51.11 a
25	37.86 a	50.14 a
30	37.50 a	48.82 a
35	36.23 a	48.29 a

Los resultados de las tasas promedio de infiltración (cm h⁻¹) por cobertura del suelo, bajo cobertura o suelo desnudo, se presentan en el Cuadro 3. Los valores promedio fueron muy similares, pero los más altos se obtuvieron en los sitios donde se colocaron las parcelas de simulación de lluvia sin cobertura vegetal o suelo desnudo. Al igual que en los valores promedio anteriormente señalados, las tasas de infiltración no tuvieron diferencias estadísticas significativas ($P > 0.5$). Estos resultados, conllevan a suponer que la proporción de agua que penetra al suelo es similar en cualquier posición o punto específico que se determine con o sin la presencia de vegetación, tanto en la parte de la Sierra San Marcos y Pinos como en el Valle, y depende de la disponibilidad de agua que se encuentra disponible sobre la superficie del suelo.

Cuadro 3. Valores promedio de la tasa de infiltración (cm h⁻¹) en los sitios ubicados bajo cobertura y suelo desnudo en el Valle de Cuatrociénegas, Coahuila.

Tiempo (min)	Bajo Cobertura	Suelo Desnudo
5	55.61 a	55.88 a
10	49.66 a	49.40 a
15	47.65 a	48.70 a
20	44.70 a	46.84 a
25	42.79 a	45.21 a
30	41.15 a	45.17 a
35	40.34 a	44.18 a

El análisis de regresión lineal múltiple para las características de cobertura vegetal dentro de la parcela y en su alrededor se muestran en los Cuadros 4 y 5, respectivamente.

El análisis de regresión realizado a la cobertura interna mostró relación con las tasas de infiltración a partir de los periodos de tiempo de 25, 30 y 35 min, pero solo con el modelo aplicado ($P = 0.0266$ y $r^2 = 0.72$, $P = 0.0437$ y $r^2 =$

0.69, y $P = 0.0410$ y $r^2 = 0.68$, respectivamente), es decir las coberturas de suelo interna no tienen relación significativa de manera independiente, sino interactiva en su conjunto, explicando la relación en promedio el 70 por ciento de los valores de entrada de agua al suelo en el área de la Laguna Churince del Valle de Cuatrociénegas.

En el análisis de regresión hecho a la cobertura externa mostró una relación significativa con las tasas de infiltración en los periodos de 5, 25, 30 y 35 min, $P = 0.487$ y $r^2 = 0.68$, $P = 0.0266$ y $r^2 = 0.72$, $P = 0.0437$ y $r^2 = 0.69$ y $r^2 = 0.68$, respectivamente), las variables relacionadas se muestran en el Cuadro 6. Se observa que la cobertura actúa de manera positiva y el suelo sin cubierta tiene efectos negativos. No obstante, no encontrar diferencias significativas en el análisis de varianza de las tasas de infiltración bajo cobertura y en suelo desnudo. Así, la cobertura explica aproximadamente el 70 por ciento de la infiltración en los suelos del área de la Laguna Churince.

Los datos de las variables hidrológicas determinados en los diferentes sitios en estudio se muestran en el Cuadro 7. 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 solo las características del final del escurrimiento y del goteo (Cuadro 8). 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 4. Cobertura vegetal interna (%) estimada en los sitios de las pruebas de simulación de lluvia.

Sitio de muestreo	Gramíneas	Arbustivas	Herbáceas	Hojarasca	Microflora	Pedregosidad	Rocas	Suelo Desnudo
1	0	0	0	0	0	0	0	100
2	0	0	0	0	0	0	0	100
3	10	0	40	25	5	0	0	20
4	25	0	5	20	0	0	0	50
5	0	0	0	15	0	40	0	45
6	0	0	15	10	0	35	0	40
7	0	0	0	0	0	25	25	50
8	5	0	5	0	0	30	15	45
9	0	0	0	0	0	0	0	20
10	0	0	1	2	6	0	0	11
11	0	0	0	0	0	0	0	20
12	0	0	0	0	0	0	0	20
13	0	0	0	0	5	0	0	15
14	0	0	1	1	1	0	0	17
15	0	2	1	0	0	8	9	0
16	0	0	0	16	1	0	3	0
17	0	0	0	15	0	2	3	0
18	0	0	1	4	1	13	1	0
19	0	0	0	7	2	11	0	0
20	0	0	0	0	1	17	2	0

Cuadro 5. Cobertura vegetal externa (%) estimada en los sitios de las pruebas de simulación de lluvia.

Sitio de muestreo	Gramíneas	Arbustivas	Herbáceas	Hojasca	Microflora	Pedregosidad	Rocas	Suelo Desnudo
1	1	0	0	0	0	0	0	99
2	1	0	0	0	0	0	0	99
3	16	0	19	20	0	0	0	45
4	16	0	19	20	0	0	0	45
5	0	23	7	18	0	16	18	18
6	0	23	7	18	0	16	18	18
7	0	5	17	5	15	20	12	26
8	0	5	17	5	15	20	12	26
9	0	7	1	3	12	0	4	73
10	0	7	1	3	12	0	4	73
11	0	0	8	11	35	1	1	44
12	0	0	8	11	35	1	1	44
13	0	0	9	7	13	0	7	64
14	0	0	9	7	13	0	7	64
15	0	7	6	12	4	47	23	1
16	0	7	6	12	4	47	23	1
17	0	9	8	9	4	46	19	5
18	0	9	8	9	4	46	19	5
19	0	0	14	14	1	64	3	4
20	0	0	14	14	1	64	3	4

Cuadro 6. 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	Microflora	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	113.342
			0.027	0.0314	0.0039	0.0193	0.031	0.0207	0.0273	0.0216	0.0312
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	-98.529
			0.0331		0.0027	0.0191	0.0267	0.0249	0.034	0.0263	0.0369
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	

Cuadro 7. Variables hidrológicas determinadas en las pruebas de simulación de lluvia en el área de la Laguna Churince, Cuatrociénegas, Coahuila.

Sitio	Agua	Inicio Goteo	Inicio	Final	Final Goteo	Volumen en Transito (l)
	Detención		escurrimiento	Escurrimiento		
Tiempo (seg.)						
1	12	163	163	2125	2139	0.148
2	12	25	57	2125	2185	0.380
3	39	267	317	2160	2257	0.012
4	19	46	64	2138	2170	0.080
5	24	53	57	2137	2186	0.250
6	8	19	24	2133	2186	0.410
7	53	63	75	2116	2153	0.080
8	22	29	44	2121	2169	0.150
9	95	156	270	2649	2708	0.135
10	44	85	85	2715	2729	0.380
11	52	210	455	2430	2518	0.138
12	12	42	42	2450	2500	0.350
13	8	47	48	2407	2430	0.158
14	24	47	47	2407	2437	0.078
15	130	210	224	2421	2471	0.109
16	20	90	92	2431	2459	0.160
17	16	90	90	2425	2487	0.212
18	23	517	547	2418	2476	0.082
19	18	154	199	2407	2457	0.050
20	6	60	60	2441	2488	0.189

Cuadro 8. 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 la intensidad de lluvia, localidad de la Sierra San Marcos y Pinos o de la Laguna Churince, y la cobertura vegetal no es una característica relevante en la determinación de la cantidad de agua que pueda penetrar al suelo por unidad de tiempo. Asimismo, el principio Hortoniano (el exceso de agua produce escurrimiento) no es aplicado para esta región, sino es dominado por el principio de área variable, donde los escurrimientos son generados por los flujos subterráneos. Esto ultimo, 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.

Asimismo, al no encontrar diferencias estadísticas significativas en la intensidad de lluvia aplicada a cualquier periodo de tiempo, es relacionado a los valores promedio altos de la intensidad de agua aplicada y el agua que está disponible sobre la superficie del suelo en cualquier localidad y posición con o sin cobertura vegetal, lo cual es explicado por las variables hidrológicas asociadas que marcan el corto tiempo de agua que fluye después de terminada los periodos de tiempo de las pruebas de simulación de lluvia y el agua puede penetrar a una tasa variable de acuerdo a la cantidad disponible en la superficie del suelo. Es decir, al aplicar con la boquilla de moderada intensidad es menor la cantidad de agua sobre la superficie del suelo y los valores promedio de la tasa de infiltración muestra menores valores. Igualmente, las características relacionadas de forma positiva son las características de cubierta vegetal y de manera negativa las características del suelos sin protección del suelo.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados, las conclusiones son:

Las tasas de infiltración no muestran diferencias estadísticas por la cantidad y disponibilidad de agua aplicada durante las pruebas de simulación de lluvia.

Las tasas de infiltración no tienen diferencias significativas en la parte de la Sierra San Marcos y Pinos y la Laguna Churince

Las tasas de infiltración no tienen diferencias significativas en las áreas con cobertura vegetal y en las áreas sin cubierta de plantas.

Las variables de cobertura vegetal se relacionan a las tasas de infiltración positivamente a la presencia de cobertura de arbustos y herbáceas y de manera negativa las variables de poca hojarasca, presencia de microflora, pedregosidad, rocas y suelo sin vegetación.

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.

El agua en el Valle de Cuatrociénegas y en particular a la Laguna Churince es explicada por el principio de fuente de área variable.

El agua en la Laguna Churince y en el abasto de las pozas tiene su origen en los valles aledaños.

RESUMEN

En el Centro del Estado de Coahuila se encuentra el municipio de Cuatrociénegas, el cual se caracteriza por tener un valle rico en especies endémicas de flora y fauna, siendo considerado como un área natural protegida y como sitio y ecoregión prioritario para la conservación. La existencia de esta riqueza de flora y fauna se asocia a la presencia de pozas, pero en los últimos años han tenido un abatimiento. El presente estudio se realizó en el sistema Churince del Valle de Cuatrociénegas, durante los meses de diciembre 2007 y abril de 2008. El área se dividió en dos localidades experimentales, siendo el área del Valle y la parte colindante de La Sierra de la Fragua y Pinos. Los objetivos del estudio fueron analizar el proceso de infiltración y determinar las variables hidrológicas y vegetación que influyen en las tasas de infiltración en el sistema Churince del Valle de Cuatrociénegas. Para lograr los objetivos se utilizaron dos simuladores con diferente boquilla para aplicar intensidad moderada y alta. El agua se aplicó sobre parcelas de 1444 cm^2 , la intensidad de lluvia fue estimada mediante pluviómetros en periodos de cinco min. La tasa de escurrimiento se estimó del volumen de escurrimiento recolectado y el área de la parcela. La tasa de infiltración se determinó por la diferencia de intensidad de la lluvia y la tasa de escurrimiento. Se midieron las características de la cobertura del suelo y variables hidrológicas del escurrimiento. Los datos de la tasa de infiltración se analizaron con un diseño completamente al azar con arreglo factorial de dos niveles, siendo estos por: localidad, intensidad de lluvia aplicada y bajo y sin cobertura vegetal. Para los factores vegetación y escurrimiento se analizaron a través de una regresión múltiple y correlación lineal, respectivamente. Los resultados obtenidos indican que no existen diferencias estadísticas en las tasas de infiltración entre localidades, intensidad aplicada y cobertura. Las variables de cobertura del suelo por arbustivas y herbáceas positivamente a las tasas de infiltración, y negativamente la poca hojarasca y la presencia de microflora, pedregosidad, rocas y suelo desnudo. El análisis de las variables hidrológicas indica la disponibilidad de agua y altos valores de la tasa de infiltración.

LITERATURA CITADA

- Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento (CEAS), Coahuila. 2002. Estudio geohidrológico en Cuatrociénegas, Coahuila. Gobierno de 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 (4): 28-29.
- García, E. 1969. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática Köppen 2da. ed. UNAM. México, D. F. 246 p.
- Gurovich, L. 1985. Fundamentos y diseño de sistema de riego. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (CIICA). San José, Costa Rica. Capítulo 6. pp. 143-168.
- Gutiérrez C. J., S. Beltrán L., J. G. Medina T. y J. A. Díaz G. J. 1990. Efecto de tres tipos de vegetación sobre la infiltración y la producción de sedimentos en el rancho los Ángeles, Coahuila. México 82 p.
- Gutiérrez C., J.; S. Beltrán L. y A. Zárate L. 1990. Efecto de los tipos de vegetación y suelo sobre la infiltrabilidad y la producción de sedimentos en el sureste de Coahuila. *Revista Agraria Técnico Científica*. 6 (1): 51-65.
- Hibbert, A. R. and C. A. Troendle. 1988. Streamflow generation by variable source area. *In*: W. T. Swank and D. A. Crossley Jr. (eds). *Forest hydrology and ecology at Coweeta*. Ecological Studies. Springer-Verlag, New York Inc. USA. 66: 111-127.

- Hillel, J. D. 1971 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.
- López, S. H. 1984. Aportación al conocimiento de la vegetación y ecología del Valle de Cuatrociénegas. Tesis Profesional. Facultad de Biología, UANL. Monterrey, N. L. Mexico. 154 p.
- Meewig R. O. 1970 .Infiltration and erosion as influenced by vegetation and soils in Northern Uta. J. Range Management. 23: 185-188.
- 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 Mexico, 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.
- Rostagno, C. M. 1989. Infiltration and sediment production as affected by soil surface conditions in a shrubland of Patagonia, Argentina. J. Range Management. 42: 382-385.
- Roth, C.H., 1985: Infiltrabilität von Latossolo-Roxo-Böden in Nordparaná, Brasilien, in Feldversuchen zur Erosionskontrolle mit verschiedenen Bodenbearbeitungs-systemen und Rotationen. Göttinger Bodenkundliche Berichte, 83: 1-104.

- Selby, M. J., 1970. Hillslope materials and process. Oxford University Press. Oxford. England. 41 p.
- Steel, D. G. y J. H. Torrie. 1988. Bioestadística, principios y procedimientos. Editorial McGraw Hill. México, D. F. 662 p.
- Thurow, T. L., W. H. Blackburn and C. A. Taylor. 1986. Hydrologic characteristics of vegetation types as affected by livestock grazing systems. J. Range Manage. 39 (6):505-508.
- Vélez, M., Vélez., J. 2002. Infiltración. Universidad Nacional de Colombia. doi: <http://poseidon.unalmed.edu.co/materias/hidrologia.html>
- Wilcox B.P., M. K. Wood and J. M. Tromble .1988. Factors influencing infiltrability of semiarid mountain slope. J. Range Management. 41(3): 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.