

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Evaluación de la Infiltración Final y la Producción de Sedimentos en Cinco Tipos de Vegetación, Bajo Tres Intensidades de Lluvia, en la Microcuenca “Los Ángeles”  
Saltillo, Coahuila

Por:

**ALBAITSEL AMPARO DOMÍNGUEZ AGUILERA**

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO FORESTAL

Evaluación de la Infiltración Final y la Producción de Sedimentos en Cinco Tipos de Vegetación, Bajo Tres Simulaciones de Intensidad de Lluvia, en la Microcuenca "Los Ángeles" Saltillo, Coahuila.

Por:


**ALBAITSEL AMPARO DOMÍNGUEZ AGUILERA**

Tesis

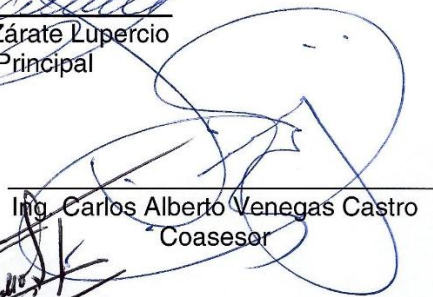
Presentada como requisito para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
Dr. Alejandro Zárate Lupericio  
Asesor Principal

  
Dr. José Duéñez Alanís  
Coasesor

  
Ing. Carlos Alberto Venegas Castro  
Coasesor

  
Dr. Gabriel Gallegos Morales  
Coordinador de la División de Agronomía

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio 2019

## **Agradecimientos**

Al **Dr. Alejandro Zarate Lupercio** por el apoyo y el tiempo invertido para la realización del presente trabajo, de igual manera por sus enseñanzas a través del trayecto de la carrera.

Al **Dr. José Duñez Alanís** por la colaboración en el presente estudio, por su apoyo y por la orientación brindada.

Al **Ing. Carlos Alberto Venegas Castro**, por el apoyo, tiempo y esfuerzo que invirtió para este trabajo, así como también por los consejos y el aliento a la culminación del mismo.

A **don Pablo**, encargado del Rancho Ganadero Experimental “Los Ángeles”, por sus atenciones, amistad y apoyo brindado en el tiempo de la estancia en el rancho para el levantamiento de datos.

A **don chino y don Víctor**, por el tiempo dedicado para la explicación de la utilización de los simuladores, así como por la orientación.

A **Jesús Pérez Ortiz** por su amistad y por el apoyo incondicional para la contribución del levantamiento de datos para la elaboración del presente trabajo.

A mis compañeros **Juan Manuel Cortés Rivas, Ottoniel Cortés Cortés, Bianey Rodas de León. Judith Flores y Silverio Martínez** ya que me tendieron la mano en el levantamiento de datos para la realización del presente estudio.

## **Dedicatoria**

En memoria de mi hermana  
**DALIA GUADALUPE MARTÍNEZ DOMÍNGUEZ**

En honor a mi madre, **Enriqueta Domínguez Aguilera**, por siempre estarme alentando a superarme, por cada una de las noches de desvelo y por cada día de trabajo invertido para culminar mi carrera.

Por las palabras de aliento y el esfuerzo dedicado de **José Almaguer Alejandro**.

A mi amiga incondicional y confidente **Ana Cristina Rodríguez Ipiña**, porque sin su apoyo e impulso no hubiera logrado tal sueño.

A cada uno de mis familiares que durante el trayecto de mi carrera me apoyaron y me brindaron palabras de aliento, confiando y creyendo en mí.

## RESUMEN

El presente estudio fue realizado en la Microcuenca “Los Ángeles”, ubicada al sur del Rancho Ganadero Experimental Los Ángeles, el cual, tuvo como objetivo determinar las tasas de infiltración final y cuantificar la producción de sedimentos en cinco tipos de vegetación, además identificar las variables de suelo y vegetación que influyen en mayor grado en el proceso de la infiltración.

Los tratamientos del estudio fueron cinco tipos de vegetación, Bosque, Pastizal, Matorral Desértico Micrófilo, Matorral Desértico Submontano y Agricultura, de acuerdo a la carta temática de Uso de Suelo y Vegetación actualizada del INEGI (1975), en los cuales se utilizaron tres simuladores al descrito por Wilcox *et al* (1986), modificado por Duñez (1993), para aplicar intensidades de lluvia de 283.30 mm/hora, 331.60 mm/hora y 383.30 mm/hora, sobre parcelas de 160 cm<sup>2</sup>; realizando cinco simulaciones con tres intensidades distintas por cada tipo de vegetación.

Las tasas de infiltración se calcularon como la diferencia de la tasa de aplicación menos la tasa de escurrimiento obtenida en cada una de las pruebas; para posteriormente con el Modelo de Kostiakov calcular la tasa de infiltración y la infiltración acumulada. Los resultados obtenidos indican que hay diferencias significativas entre las distintas intensidades aplicadas y entre los cinco tipos de vegetación, mas no en su interacción.

Las diferencias presentes en los tipos de vegetación se deben a las características del tipo de vegetación, así como a las características físicas del suelo, en cuanto a los simuladores por la cantidad de agua que aplica cada uno. De las variables de suelo y vegetación que se levantaron en campo y que se estudiaron en el presente estudio las que más influyeron en la tasa de infiltración fueron el contenido de arena, limo, cobertura de pedregosidad, rocas, contenido de mantillo orgánico y herbáceo, así como el contenido de humedad.

Por lo tanto, la importancia del tipo de vegetación en los procesos hidrológicos es de vital importancia como un factor regulador en el proceso hidrológico.

**Palabras clave:** Infiltración Final, Producción de Sedimentos, Intensidad de Lluvia, Cobertura Vegetal, Atributos del Suelo.

### **Abstract**

The present study was conducted at the "Los Ángeles" Microbasin, located south of the Los Angeles Experimental Cattle Ranch, which aimed to determine the final infiltration rates and quantify the production of sediments in five vegetation types, as well as identify the variables of soil and vegetation that influence in a greater degree the infiltration process.

The treatments of the study were five types of vegetation, Forest, Grassland, Desert Mycrophile Scrubland, Submontane Desert Scrub and Agriculture, according to the thematic letter of Land Use and Updated Vegetation of the INEGI (1975), in which three simulators were used to that described by Wilcox et al (1986), modified by Duéñez (1993), to apply rainfall intensities of 283.30 mm / hour, 331.60 mm / hour and 383.30 mm / hour, on plots of 160 cm<sup>2</sup>; performing five simulations with three different intensities for each type of vegetation.

Infiltration rates were calculated as the difference of the application rate minus the runoff rate obtained in each of the tests; for later with the Kostiakov Model calculate the infiltration rate and the accumulated infiltration. The results obtained indicate that there are significant differences between the different intensities applied and between the five vegetation types, but not in their interaction.

The differences present in the types of vegetation are due to the characteristics of the vegetation type as well as to the physical characteristics of the soil, in terms of the simulators for the amount of water that each one applies. Of the variables of soil and vegetation that were raised in the field and studied in the present study, those that most influenced the infiltration rate were the content of sand, silt, stony cover, rocks, content of organic and herbaceous mulch, as well as the moisture content

Therefore, the importance of vegetation type in hydrological processes is of vital importance as a regulating factor in the hydrological process.

**Key words:** final infiltration, sediment production, rainfall intensity, vegetation cover, soil attributes.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	CAPITULO INTRODUCCIÓN.....	1
I.1	Justificación .....	2
I.2	Objetivo General .....	3
I.3	Objetivos Específicos.....	3
I.4	Hipótesis .....	3
II.	CAPITULO REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
II.1	Infiltración .....	4
II.1.1	Métodos para medir la Infiltración. ....	5
II.1.1.1	Métodos indirectos.....	5
II.1.1.2	Métodos Directos.....	6
II.1.2	Tipos de Simuladores .....	7
II.1.3	Características deseables para la simulación de lluvia.....	8
II.1.4	Ventajas y desventajas de los simuladores de lluvia. ....	8
II.1.4.1	Ventajas.....	8
II.1.4.2	Desventajas.....	8
II.2	Estudios de Infiltración.....	10
II.3	Producción de Sedimentos .....	12
II.4	Estudios de Producción de Sedimentos .....	13
III.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	15
III.1	Localización.....	15
III.2	Clima.....	16
III.3	Geología .....	17
III.4	Suelo.....	18
III.5	Hidrología .....	20

III.6 Hidrología Subterránea.....	20
III.7 Vegetación.....	20
III.8 Área de Estudio .....	21
III.9 Descripción del simulador.....	22
IV. CAPITULO METODOLOGÍA.....	24
IV.1 Simulación de lluvia.....	24
IV.2 Calibración de los Simuladores .....	25
IV.3 Sitios de muestreo.....	25
IV.4 Estimación de la tasa de escurrimiento.....	26
IV.5 Estimación de infiltración.....	27
IV.6 Tasa de Infiltración .....	27
IV.7 Infiltración Final .....	28
IV.8 Tiempo teórico para llegar a la infiltración básica.....	28
IV.9 Estimación de los sedimentos.....	28
IV.10 Estimación de Factor Suelo.....	28
IV.10.1 Contenido de humedad.....	28
IV.10.2 Pendiente .....	29
IV.10.3 Textura.....	29
IV.10 Análisis Estadístico.....	31
IV.10.1 Descripción de tratamientos.....	31
IV.10.2 Diseño Estadístico.....	31
IV.10.3 Pruebas de Medias .....	31
IV.10.4 Análisis de Correlación y Regresión Múltiple .....	32
V. CAPITULO RESULTADOS .....	33
V.1 Análisis de Varianza en tipos de Vegetación.....	33



V.2 Prueba de Medias .....	33
V.2.1 Prueba de Tukey .....	34
V.2.2 Prueba de Fisher.....	36
V.3 Modelo de Infiltración .....	37
V.4 Infiltración Final .....	40
V.5 Producción de Sedimentos.....	41
V.6 Análisis de varianza sedimentos .....	41
V.7 Prueba de Medias .....	42
V.7.1 Prueba de Tukey .....	42
V.7.2 Prueba de Fisher.....	44
.V.8 Infiltración Básica .....	45
V.9 Regresión Lineal Múltiple “Stepwise” .....	47
VI.    CAPITULO DISCUSIÓN .....	49
VII.   CAPITULO CONCLUSIONES.....	52
VIII.  Literatura Citada.....	54
IX.    Anexos .....	56
X.1 Formato de simulación de lluvia .....	56
X.2 Tasas de Infiltración .....	57
IX.2.1 Bosque.....	57
X.2.2 Pastizal.....	58
X.2.3 Agricultura .....	60
X 2.4 Matorral Desértico Submontano.....	61
X 2.5 Matorral Desértico Micrófilo.....	63
X.3 Clase textural .....	65

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 4.1.- Información de vegetación recabada en los sitios de muestreo.....	26
Cuadro 4.2.- Variables dependientes utilizadas en el análisis de regresión lineal múltiple “Stepwise.” .....	32
Cuadro 5.1.- Análisis de varianza en un diseño estadístico Factorial 3*5 completamente al azar considerando las tres intensidades de simulación como experimento y los tipos de vegetación como tratamientos. ....	33
Cuadro5.2.- Valores medios de la infiltración final (cm/hora) y su significancia estadística en la prueba de Tukey de los experimentos. ....	34
Cuadro 5.3.- Valores medios de la infiltración final (cm/hora) y su significancia estadística en la prueba de Tukey de los tratamientos. ....	35
Cuadro 5.4.- Valores medios de la infiltración final (cm/hora) y su significancia estadística en la prueba de Fisher de los tratamientos. ....	36
Cuadro 5.5.- Ecuaciones de las tasas de infiltración obtenidas para el tipo de vegetación de Bosque.....	37
Cuadro 5.6.- Ecuaciones de las tasas de infiltración obtenidas para el tipo de vegetación de Pastizal. ....	38
Cuadro 5.7.- Ecuaciones de las tasas de infiltración obtenidas para el tipo de vegetación de Agricultura.....	38
Cuadro 5.8.- Ecuaciones de las tasas de infiltración obtenidas para el tipo de vegetación de Matorral Desértico Subinermé .....	39
Cuadro 5.9.- Ecuaciones de las tasas de infiltración obtenidas para el tipo de vegetación de Matorral Desértico Micrófilo. ....	39
Cuadro 5.10.- Análisis de varianza en un diseño estadístico Factorial 3*5 completamente al azar considerando las tres intensidades de simulación como experimento y la producción de sedimentos como tratamientos.....	41
Cuadro 5.11.- Valores medios de la infiltración final (cm/hora) y su significancia estadística en la prueba de Tukey del experimento. ....	42
Cuadro 5.12.- Valores medios de la producción de sedimentos (kg/ha) y su significancia estadística en la prueba de Tukey de los tratamientos.....	43

Cuadro 5.13.- Valores medios de la producción de sedimentos (kg/ha) y su significancia estadística en la prueba de Fisher de los tratamientos.....	44
Cuadro 5.14.- Tiempo necesario al que se obtiene la Infiltración Final con la intensidad de simulación 1 .....	46
Cuadro 5.15.- Tiempo necesario al que se obtiene la Infiltración Final con la intensidad de simulación 2 .....	46
Cuadro 5.16.- Tiempo necesario al que se obtiene la Infiltración Final con la intensidad de simulación 3 .....	47
Cuadro 5.17.- Valores del coeficiente de determinación de las variables cualitativas que influyen en la infiltración final en los diferentes grupos de vegetación. ....	47
Cuadro 5.18.- Valores del Coeficiente de determinación que influyen en la infiltración en los intervalos de tiempo de 3, 18 y 33 minutos. ....	48

## **INDICE DE ANEXOS**

Cuadro 5.1.- Tasas de infiltración en cm/hora con la intensidad de simulación 1. ....	57
Cuadro 5.2.- Tasas de infiltración en cm/hora con la intensidad de simulación 2. ....	57
Cuadro 5.3.- Tasas de infiltración en cm/hora con la intensidad de simulación 3. ....	58
Cuadro 5.4.- Tasas de infiltración en cm/hora con la intensidad de simulación 1. ....	58
Cuadro 5.5.- Tasas de infiltración en cm/hora con la intensidad de simulación 2. ....	59
Cuadro 5.6.- Tasas de infiltración en cm/hora con la intensidad de simulación 3. ....	59
Cuadro 5.7.- Tasas de infiltración en cm/hora con la intensidad de simulación 1. ....	60
Cuadro 5.8.- Tasas de infiltración en cm/hora con la intensidad de simulación 2. ....	60
Cuadro 5.9.- Tasas de infiltración en cm/hora con la intensidad de simulación 3. ....	61
Cuadro 5.10.- Tasas de infiltración en cm/hora con la intensidad de simulación 1. ...	61
Cuadro 5.11.- Tasas de infiltración en cm/hora con la intensidad de simulación 2. ...	62
Cuadro 5.12.- Tasas de infiltración en cm/hora con la intensidad de simulación 3. ...	62
Cuadro 5.13.- Tasas de infiltración en cm/hora con la intensidad de simulación 1. ...	63
Cuadro 5.14.- Tasas de infiltración en cm/hora con la intensidad de simulación 2. ...	63
Cuadro 5.15.- Tasas de infiltración en cm/hora con la intensidad de simulación 3. ...	64
Cuadro 5.16.- Clase textural en los sitios de muestreo. ....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS-GRÁFICAS

Figura 3.1.- Área de Estudio de la Microcuenca “Los Ángeles”, Saltillo, Coahuila.....	16
Figura 3.2.- Climograma correspondiente a la estación Carneros (05081) SMN. ....	17
Figura 3.3.- Geología de la Microcuenca “Los Ángeles”, Saltillo, Coahuila.....	18
Figura 3.4.- Edafología en la Microcuenca “Los Ángeles”, Saltillo, Coahuila .....	19
Figura 3.5.- Vegetación en la Microcuenca “Los Ángeles”, Saltillo, Coahuila .....	21
Figura 3.6.- Simulador portátil y de boquilla simple utilizado en el área de estudio. ...	23
Figura 4.1.- Triángulo textural el cual se basa en el sistema que aplica el USDA según el tamaño de las partículas.....	30
Figura 5.1. Valores medios de la infiltración final (cm/hora) y su significancia estadística de los experimentos. ....	34
Figura 5.2. Valores medios de la infiltración final (cm/hora) y su significancia estadística de los tratamientos.....	36
Figura 5.3.-Medias de Infiltración Final (cm/hora) estimada con cada uno de los tratamientos aplicados en la Microcuenca “Los Ángeles”, Saltillo, Coahuila.....	40
Figura 5.4. Valores medios de la producción de sedimentos (cm/hora) y su significancia estadística de los experimentos.....	42
Figura 5.5. Valores medios de la producción de sedimentos (cm/hora) y su significancia estadística de los tratamientos.....	44
Figura 5.6.-Medias de Producción de Sedimentos (cm/hora) estimada con cada uno de los tratamientos.....	45

## I. CAPITULO INTRODUCCIÓN

El agua es la sustancia más abundante de la tierra, es el principal constituyente de todos los seres vivos y es una fuerza importante que constantemente está cambiando la superficie terrestre. También es un factor clave en la climatización de nuestro planeta, la cual, permite la existencia humana y tiene influencia en el progreso de la civilización (Chow, T.V. *et al*, 1994).

El agua no es un elemento aislado de la naturaleza, sino que se encuentra en un delicado equilibrio con otros recursos, especialmente suelo, vegetación y atmósfera, lo que implica que cualquier modificación o intervención en uno de ellos, repercutirá en mayor o menor grado, favorable o desfavorablemente en los demás (Duarte y Díaz, 2001).

Esta importancia no solamente tiene que ver con las funciones metabólicas, que el agua desarrolla en las plantas y animales (estructurales, transporte de solutos, turgencia celular, participación en reacciones y ciclos, etc.), sino también con sus características dinámicas en estos procesos metabólicos. La velocidad con que se puede pasar de una situación de disponibilidad plena hacia una situación de escasez de agua, es mayor que en el caso de los nutrientes esenciales. Por ejemplo, un suelo no pasa de rico en nutrientes a una condición de deficiente en pocos días, pero la disponibilidad de agua si (FAO, 2013).

Si bien, el recurso hídrico es uno de los recursos considerado como renovable, dependiendo de su tasa de renovación interanual y de su aprovechamiento, luego entonces, puede volverse no renovable; aunque no es menos cierto que el incrementado e indiscriminado uso que el hombre le da, trae como consecuencia del mismo, un acelerado deterioro en la calidad del mismo y a veces cambios en la distribución temporal y espacial, con consecuencias no siempre previstas (Duarte y Díaz, 2001).

Un aspecto fundamental radica en la modificación del ciclo hidrológico, con lo cual se puede provocar la generación de mayores volúmenes de escurrimiento que se

presentan de manera más intempestiva, disminución del volumen de recarga hacia cuerpos de agua subterráneos, erosión y pérdida de suelo, aumento de la temperatura del suelo, modificación del régimen local de lluvias, etcétera (Peñaloza, 2009).

Los impactos que se originan con la alteración del recurso hídrico es afectado principalmente por el cambio de uso de suelo, generando disminución en la posibilidad de la recarga subterránea y la incrementación de producción de azolves; por lo tanto, el conocimiento de la capacidad de infiltración es indispensable para el cálculo del balance de agua en el suelo, siendo su utilidad principal desde el punto de vista agrohidrológico, el poder determinar la efectividad bioambiental de las precipitaciones (Troha, 1978).

El proceso de infiltración y la producción de sedimentos tienen un efecto muy importante en los ecosistemas, en primera instancia; la infiltración define la posibilidad de la disponibilidad de agua para la cubierta vegetal, en consecuencia, la producción de sedimentos, es causa de pérdida de nutrientes que pueden utilizar las plantas. Ambos procesos se ven afectados por una gran cantidad de factores relacionados con características de la precipitación, condiciones de cubierta vegetal y propiedades del suelo (Gutiérrez Castillo, 1990).

## **I.1 Justificación**

Debido a la dependencia del agua subterránea en la parte sureste del Estado de Coahuila, la mejor estrategia para la seguridad hidrológica es que el agua se infiltre precisamente donde cae, ya que el agua no es abundante en esta región, dado a las condiciones de precipitación, los niveles de evaporación y transpiración derivados por las altas temperaturas que prevalecen en la zona, por lo anterior el problema en estas zonas puede extenderse y agudizarse. Por lo tanto, conocer el comportamiento hidrológico en el área de estudio bajo distintos tipos de vegetación debe ser una prioridad, ya que esto permitirá mejorar técnicas de manejo en el mismo para un manejo óptimo del suelo y por ende del agua.

## **I.2 Objetivo General**

Determinar las tasas de infiltración final y cuantificar la producción de sedimentos en cinco tipos de vegetación, utilizando tres intensidades diferentes de simulación de lluvia. También evaluar el efecto de diferentes factores de la cubierta vegetal y del suelo en la Microcuenca “Los Ángeles”.

## **I.3 Objetivos Específicos**

- Analizar la influencia de los factores del tipo de vegetación y factores del suelo que influyen en las tasas de infiltración.
- Analizar la influencia de los tipos de vegetación y las características del suelo que contribuyen en la producción de sedimentos.

## **I.4 Hipótesis**

- Las tasas de Infiltración no difieren significativamente en los tipos de vegetación.
- La producción de sedimentos no difiere significativamente por el tipo de vegetación.
- Los factores del suelo y la vegetación influyen diferencialmente en la infiltración y la producción de sedimentos.

## II. CAPITULO REVISIÓN DE LITERATURA

### II.1 Infiltración

La infiltración es el proceso por el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia 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 agua subterránea, saturando los espacios vacíos (Heras, 1970).

El movimiento del agua, a través de la superficie del suelo y hacia adentro del mismo, producido por la acción de las fuerzas gravitacionales y capilares; juega un papel de primer orden en la relación lluvia-escurrimiento, el cual, la capacidad de infiltración dependerá de un gran número de factores, entre los cuales destacan la textura del suelo, el contenido de humedad inicial, el contenido de humedad de saturación, cobertura vegetal, uso del suelo, aire atrapado, la compactación así como la temperatura, sus cambios y diferencias (Aparicio, 2007).

Breña y Jacobo (2006) mencionan que para la infiltración es necesario conocer algunos factores cuyas características más importantes se describen a continuación:

- Lámina de agua dispuesta en la superficie del terreno: La infiltración depende del valor de la lámina de agua, así como del tiempo que permanezca en esa misma condición.
- Pendiente de la superficie y rugosidad. Si la pendiente de la superficie es considerable, se desarrollará el flujo superficial sobre el terreno impidiendo que la lámina de agua sobre el suelo alcance los valores que se esperan cuando las pendientes son pequeñas. La rugosidad de la superficie influirá en la velocidad que puede alcanzar el escurrimiento superficial sobre el terreno: a mayor rugosidad, el escurrimiento será más lento y la oportunidad de infiltración aumenta; si la superficie está menos accidentada, el escurrimiento será más rápido, disminuyendo la capacidad de infiltración.



Heras (1970) coincide con Breña y Jacobo (2006) que la lámina de agua dispuesta y la pendiente, así como la rugosidad afectan la cantidad máxima de agua que se puede absorber por unidad de superficie y por unidad de tiempo.

Por otra parte, Moore *et al*, (1979), conjunta una serie de grupos de características para el aumento de la tasa de infiltración, los cuáles se presentan a continuación:

- Cobertura (Hojarasca y piedras): los porcentajes de hojarasca, así como las piedras y la grava son factores relevantes para el aumento de la infiltración.
- Características físicas del suelo: Costra superficial, cantidad de material grueso sobre la superficie del suelo, densidad aparente y roca madre.
- Características químicas del suelo: porcentaje de material orgánico y material generador.
- Factores bióticos: cobertura vegetal aérea y etapa sucesional de la vegetación.
- Topografía del área: Pendiente, exposición y altitud.

En forma resumida la infiltración es un proceso de gran importancia para los manejadores de recursos y los productores directamente, ya que estos son los que dependen directamente de la infiltración

### **II.1.1 Métodos para medir la Infiltración.**

Los métodos para medir la infiltración se pueden agrupar en métodos directos e indirectos, los cuáles se describen a continuación.

#### **II.1.1.1 Métodos indirectos**

Benito *et al* (2003), mencionan que las aplicaciones de los Métodos indirectos para determinar la capacidad de infiltración se basan considerando cuencas perfectamente controladas, con datos precisos de precipitación, evaporación y escorrentía.

### **II.1.1.2. Métodos Directos**

Los autores anteriores (Benito *et al*, 2003) indican que los métodos directos valoran la cantidad de agua infiltrada sobre una superficie de suelo, agrupando como los principales métodos para cuantificar la infiltración en áreas determinadas, los siguientes:

➤ Lisímetros.

Los lisímetros son depósitos introducidos en el suelo de paredes verticales, abierto en su parte superior para ser rellenado con suelo del terreno que se quiere estudiar. La superficie del suelo estará sometida a los agentes atmosféricos y recibiendo las precipitaciones naturales, las cuales estas serán medidas, al igual que la humedad y la temperatura del suelo a diferentes profundidades; de igual manera se podrá obtener el drenaje y la evapotranspiración (en caso de existir vegetación); pudiendo conocer con este aparato el volumen de agua que queda en el suelo, así como la cantidad de agua que se pierde por evapotranspiración y drenaje.

➤ Infiltrómetros

Los Infiltrómetros son anillos concéntricos de metal, los cuales se clavan en el suelo a una profundidad variable a los cuales se les agrega una cierta cantidad de agua para observar el tiempo que se tarda en infiltrarse. Los principales inconvenientes de este método es que el suelo se modifica al clavar el tubo, por lo que la medición variará de acuerdo a la modificación realizada inicialmente al insertar el tubo y al estado de humedad inicial existente al momento de la prueba.

➤ Simuladores de lluvia.

Los simuladores de lluvia son instrumentos de investigación diseñados para aplicar agua de forma similar a los episodios de precipitación naturales. Son útiles para obtener datos de erosión, infiltración, escorrentía superficial y transporte de sedimentos. No obstante, las características de la lluvia natural deben ser simuladas de forma adecuada, los datos obtenidos deben ser analizados cuidadosamente y se

debe efectuar una buena interpretación de los resultados para obtener información fiable en las condiciones para las que ha sido aplicable la lluvia.

Estas herramientas tienen el fin de aplicar el agua en forma constante reproduciendo lo más fielmente el acontecer de la precipitación. Permiten el control de la intensidad y tamaño de las gotas emulando a la lluvia las características de la lluvia, así se espera una energía de impacto similar, permitiendo que los efectos sean comparables.

Son variados los tipos de simuladores existentes, las características del simulador a utilizar son dependiente del tamaño del área de estudio, la cantidad de agua necesaria y el tipo de lluvia que se quiere simular.

### **II.1.2 Tipos de Simuladores**

Hoy en día existen instrumentos para estimar la infiltración tanto en campo como el laboratorio, los cuales permiten realizar estimaciones en condiciones controladas aun fuera de la época de lluvias, efectuando simulaciones con las características de lluvia de la región, pudiendo hacer el estudio en cualquier momento.

Los simuladores de lluvia se han utilizado con distintos objetivos desde los años 30; su utilidad ha revertido en la diversificación en dimensiones, tipos de formadores de gotas, estructuras, características de la lluvia, etc., tanto aquellos simuladores desarrollados tipo goteadores como los de tipo pulverizador. Las simulaciones de lluvia permiten tener acceso a una base de datos de gran calidad en un tiempo relativamente corto por lo tanto la elección de un determinado tipo de simulador depende de parámetros de la precipitación como tamaño de gota, velocidad de impacto, intensidad de los eventos a simular, así como de los objetivos del proyecto (Sánchez, 1999).

Las mejores técnicas para producir lluvia artificial para estudios hidrológicos y de erosión, pueden ser agrupadas en dos grandes categorías:

- Aquellas que utilizan aspersores mediante los cuales se aplica el agua con cierta velocidad inducida mediante presión.
- Las que utilizan tubos pequeños en los cuales se forma la gota y cuya velocidad inicial es cero (formadores de gota).

### **II.1.3 Características deseables para la simulación de lluvia.**

- Tamaño de gota: las gotas naturales de lluvia varían desde tamaños insignificantes, como los de la niebla, hasta un máximo de 6 o 7 mm de diámetro.
- Distribución del tamaño de gota: varía de acuerdo a las precipitaciones; las precipitaciones ciclónicas en los climas templados están compuestas por gotas de tamaños medianas o pequeñas, mientras que en los climas tropicales de gran intensidad tienen una proporción mayor de gotas grandes.
- Velocidad de caída: la velocidad terminal es función del tamaño de la gota y aumenta hasta un máximo cercano a los 9 m/s para las gotas mayores.
- Energía cinética: la energía de la lluvia es la suma de las energías cinéticas de las gotas individuales y es función del tamaño y de la velocidad de cada una de las gotas precipitadas.

### **II.1.4 Ventajas y desventajas de los simuladores de lluvia.**

#### **II.1.4.1 Ventajas.**

- Capacidad de tomar numerosas mediciones y la repetición de ensayos rápidamente sin tener que esperar las precipitaciones naturales.
- Posibilidad de trabajar con precipitaciones constantes, controladas, eliminando de ese modo la variabilidad de la lluvia natural.
- Posibilidad de comparación de ensayos.
- Reproducción del muestreo en condiciones comparables o diferentes.

#### **II.1.4.2. Desventajas.**

- Los problemas que se presentan a la hora de comparar datos entre lluvia simulada y real, se deben al desconocimiento, en la mayoría de los casos, de los

parámetros de la lluvia a simular como: los diámetros medios, la energía cinética, la distribución espacial, la velocidad, entre otros.

- Es barato y sencillo utilizar un simulador sobre una parcela de ensayo de unos pocos metros cuadrados, pero para cubrir grandes parcelas de campo, como parcelas agrícolas, son caros y voluminosos.
- Las mediciones a partir de pruebas con simuladores efectuadas en pequeñas parcelas no pueden extrapolarse a superficies más extensas, es preferible limitarlas a comparaciones.

Por otra parte, los simuladores goteadores presentan de por sí, una serie de desventajas añadidas debido a su diseño, entre los que destacan los siguientes:

- En general, los simuladores goteadores tienen un fácil control sobre determinadas características de la lluvia, como puede ser la variación en el tamaño de la gota, pero, por el contrario, presentan deficiencias en cuanto a la altura.
- La lluvia simulada no alcanza la energía cinética de la lluvia natural; esto explica la reducida utilización en trabajos de campo de los simuladores goteadores.
- El impacto de los simuladores goteadores se produce siempre en el mismo punto, perdiendo así una de las características de la lluvia natural, la estocasticidad.
- Los ensayos de estos simuladores se vuelven difíciles en su operación, debido a que el depósito de agua elevado, necesariamente montado a gran altura y un elevado requerimiento de agua.
- Las gotas producidas en casi todos estos tipos de simuladores, son del mismo tamaño.

Los experimentos con lluvia simulada difieren respecto a los métodos rudimentarios, tanto en la complicación técnica, así como en el contexto general del experimento (Cerdeira, 1999).

## II.2 Estudios de Infiltración

Incrementar y conocer el efecto de la Infiltración en el proceso hidrológico es un objetivo primordial, por lo que en un estudio realizado por Gutiérrez C. J., *et al*, (1990), con el objetivo de determinar el efecto de los tipos de suelo y vegetación sobre la infiltrabilidad en el Rancho Los Ángeles de la UAAAN, establecieron sitios de muestreo en tres tipos de pastizales y en tres tipos de suelos distintos; obteniendo como resultados que la mayor infiltrabilidad se presenta en el pastizal mediano abierto, concluyendo con lo anterior que el tipo de vegetación influye más en la infiltración que las características del suelo.

Aoki y Sereno (2006), estudiaron la infiltración en suelos bajo bosque nativo y monocultivo de soja, labranza convencional en sentido perpendicular a la pendiente, este último localizado topográficamente en la parte más baja de la cuenca con una situación de alta humedad, mientras que el bosque nativo se encontraba en un área intermedia con baja humedad.

Los autores encontraron valores de infiltración diferenciados, a favor de la zona intermedia, a pesar de la pendiente; este hecho lo atribuyen al contenido significativamente mayor de materia orgánica en el Bosque Nativo, lo que redundaría en una mejor y más estable estructura. Por otra parte, los menores valores de índice de agregación del suelo en los sitios bajo monocultivo, se deben al manejo que provoca el descenso de los tenores húmicos y disminuyen el equilibrio entre macro y micro poros, llevando a una pulverización de los materiales por desagregación. Evidentemente en la microcuenca el efecto del impacto de la gota de lluvia, sumado al humedecimiento y estallido de los agregados durante el humedecimiento, produce un taponamiento de los poros superficiales que provoca una disminución más rápida de la velocidad de infiltración comparado con el suelo del bosque nativo.

Gutiérrez y Luna (1989), determinaron las tasas de infiltración en cinco sitios con diferentes edades de una plantación forestal con fines de conservación que forma parte de los terrenos de la UAAAN. Los resultados muestrales señalan que las mejores infiltraciones se encontraron en arbolado de mayor edad, aclarando que la

infiltración no presenta relación con la edad de la plantación; los mismos resultados señalan que la cubierta del suelo y el porcentaje de suelo desnudo son los factores que determinan los procesos en estudio. Además, la infiltrabilidad en los suelos del área de estudio es definida, en principio, por la cobertura de la vegetación, la cubierta total de gramíneas, herbáceas, arbustos, hojarasca y micro flora, condiciones en las que se presentan una relación positiva en la infiltración.

Sfeir, A., M. *et al*, (2005), con el fin de verificar si la producción agropecuaria y el uso de la tierra está afectando significativamente la infiltración, realizaron en la provincia de Buenos Aires, Argentina, sitios de ensayo para evaluar en diferentes situaciones de uso y manejo de los suelos representativos de la zona la capacidad de infiltración. Los resultados arrojan que hay condiciones más favorables bajo siembra directa que bajo labranza tradicional y dentro de siembra directa, en lotes no pastoreados en comparación con los pastoreados, concluyendo que la infiltración básica muestra una importante dependencia de la cobertura vegetal.

Iriarte A., *et al*, (2000), con el fin de determinar las propiedades hídricas en suelos laboreados en contraste de suelos no laboreados, llevaron a cabo simulaciones de lluvia, partiendo las pruebas en suelo seco. Los resultados arrojaron que en todos los casos la tasa de infiltración decrece en función del logaritmo del tiempo de experimentación, hasta alcanzar un valor constante o tasa de infiltración final que puede ser diferente para cada intensidad de lluvia. La acumulación de agua en la superficie del suelo, textura, estructura y Pedregosidad superficial, son los parámetros que fundamentalmente regulan la tasa de infiltración final para cada intensidad de lluvia. En los suelos laboreados, en relación a los no laboreados, se incrementan las tasas de infiltración final pero también se incrementa considerablemente la sedimentación, concluyendo que la Pedregosidad del suelo favorece la infiltración y reduce la sedimentación.

Dunne, T., W. Zhang and B. F. Aubry (1991). Estimaron las tasas de infiltración efectiva en áreas de laderas de pastizales, con parcelas de longitud corta y parcelas

con longitud larga, obteniendo que la infiltración dependa de la longitud de la pendiente.

McGinty, W.A., F.E. Siemens and L.B. Merrill, (1979), evaluaron las tasas de infiltración en un pasto con sistema de pastoreo de rotación diferida de 4 pastos, concluyendo que la tasa de infiltración es significativamente influenciada por la biomasa de la planta, la densidad aparente y la profundidad del suelo.

### **II.3 Producción de Sedimentos**

Se da el nombre genérico de sedimentos a las partículas procedentes de las rocas o suelos que son acarreadas por el agua y el viento. Todos estos materiales, después de cierto acarreo, finalmente son depositados a lo largo de los propios cauces, en lagos o lagunas, en el mar y en las partes bajas de la cuenca, principalmente en la planicie, lo que da origen a la formación de esta y a su levantamiento (García y Maza, 1988).

Pérez y Márquez (2017) definen sedimento como un depósito de materia sólida en la superficie terrestre transportado por cualquier agente natural (aire, agua, gravedad) en condiciones normales de la superficie, cuyo origen depende, en gran medida, de las condiciones físicas y químicas presentes en la transición suelo-atmósfera y suelo-agua.

La FAO (2013) determina que el movimiento de los sedimentos en las corrientes y ríos presenta en tres formas:

- Sedimentos en suspensión, que están constituidos por las partículas más finas mantenidas en suspensión por los remolinos de la corriente y sólo se asientan cuando la velocidad de la corriente disminuye cuando el lecho se hace más liso o la corriente descarga en un pozo o lago.
- Las partículas sólidas, que son partículas de mayor tamaño, las cuales son arrastradas a lo largo del lecho de la corriente y se designan con el nombre de arrastre de fondo.



- Saltación, son partículas que se mueven aguas abajo dando rebotes o saltos, a veces tocando el fondo y a veces avanzando en suspensión hasta que vuelven a caer al fondo. Este movimiento es una parte muy importante del proceso de transporte por el viento; en la corriente líquida la altura de los saltos es tan reducida que no se distinguen realmente del arrastre de fondo.

García y Maza (1988) mencionan que las fuentes de sedimentos pueden deberse a factores naturales y artificiales, clasificando las acciones naturales las siguientes:

- Erosión de la Superficie del terreno ya sea en por erosión eólica, erosión hídrica y/o ambas en conjunto
- Erosión del cauce natural y sus tributarios.
- Movimientos naturales del terreno.

Por otra parte, dada la actividad del hombre en el medio que lo rodea, en las fuentes de sedimentos artificiales se clasifican las siguientes:

- Destrucción de la vegetación.
- Explotación de minas y canteras.
- Desechos urbanos e industriales.

El efecto de estos materiales en suspensión en el fluido, obstruyen los poros del suelo, disminuyendo apreciablemente la infiltración a través de la superficie.

#### **II.4 Estudios de Producción de Sedimentos**

Gutiérrez y Luna (1989) encontraron que la concentración media de sedimentos en la Reforestación de Zapalinamé, presentó diferencias estadísticas entre el área de mayor edad y el área de edad media. Las diferencias en pérdidas de suelo, expresadas a través de la producción de sedimentos, se puede explicar por las variaciones en la cubierta del suelo, ya que las propiedades internas del mismo como la textura, densidad aparente, estructura, materia orgánica, fueron similares en los tratamientos mientras que la cubierta de hojarasca y la cubierta de biomasa en pie representan relación inversa con la pérdida de suelo.

Con el fin de determinar la producción de sedimentos en el Rancho Los Ángeles de la UAAAN, Gutiérrez Castillo, J., *et al* (1990), realizaron el estudio en diferentes tipos de vegetación y tipos de suelo presentes en el área, concluyendo que diferencias de infiltración se deben por la poca cubierta basal y aérea presentada por el matorral Micrófilo lo cual deja descubierto al suelo y susceptible para ser arrastrado por el escurrimiento, a diferencia de la mayor cobertura basal exhibida por los pastizales.

Andreazzini *et al* (2014), estimaron la producción de sedimentos en una cuenca para distintos escenarios, concluyendo que los aspectos litológico-geomorfológico tienen una marcada influencia en la producción de sedimentos, mostrando que en general la cobertura vegetal es una variable de alta sensibilidad y que su pérdida incide diferencialmente según el contexto afectado.

Santiago J. L., *et al* (2003), evaluaron la influencia de la degradación de la cubierta vegetal en la generación de sedimentos y en su composición. Las áreas de estudio fueron dos zonas, la primera de ellas en una zona deforestada con un 19% de pendiente y la segunda corresponde a un bosque protegido de coníferas con un 24% de pendiente. La pérdida de suelo para la zona deforestada fue elevada, debido a la falta de cubierta vegetal, a medida que se fue desarrollando la cubierta vegetal en esta zona las pérdidas de suelo disminuyeron considerablemente, aunque se mantuvieron siempre mucho más altas que en la parcela forestal.

Fernández., *et al* (1996), con el fin de destacar, mediante el uso de un simulador de lluvias, las relaciones entre precipitaciones, infiltración y producción de sedimentos seleccionaron 3 tipos de cobertura: suelo desnudo, suelo pedregoso y suelo con vegetación. Los resultados arrojados muestran que las tasas de sedimentos transportados están directamente relacionadas con el coeficiente de esorrentía, la localización topográfica, pendiente, porcentaje de restos vegetales que cubren el suelo y la fracción arcillosa.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### III.1 Localización.

El presente estudio se realizó en terrenos de condición natural con pastoreo extensivo en condiciones de ladera y llanura. A de acotar el espacio de trabajo en un área congruente con la distribución de los recursos naturales presentes, así como con la dinámica del escurrimiento y por lo tanto de la infiltración, se ubicó y delimitó una cuenca hidrográfica en las inmediaciones del Rancho Los Ángeles de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, esta cuenca engloba el área de estudio y por sus dimensiones es considerada como una microcuenca como la define el IMTA consistente en una área piloto representativa de regiones con condiciones similares, de este modo se estableció la Microcuenca “Los Ángeles” como unidad básica del estudio.

La Microcuenca “Los Ángeles”, la cual se localiza a 50 km al sur de la Ciudad de Saltillo, Coahuila; para llegar al área se deben recorrer 34 km sobre la Carretera Federal 54, en el tramo Saltillo- Concepción del Oro y posteriormente al llegar al entronque que dirige hacia el ejido la Hedionda Grande tomar por el camino principal hacia el oriente 16 km, hasta llegar a la altura del Rancho Ganadero Experimental “Los Ángeles”, de la UAAAN.

La superficie de La Microcuenca “Los Ángeles” es de 2,806.15 ha y se ubica entre las coordenadas 25° 08´ a 25° 05´ Latitud Norte y 100°58´ a 100° 59´ Longitud Oeste. (Figura 3.1).

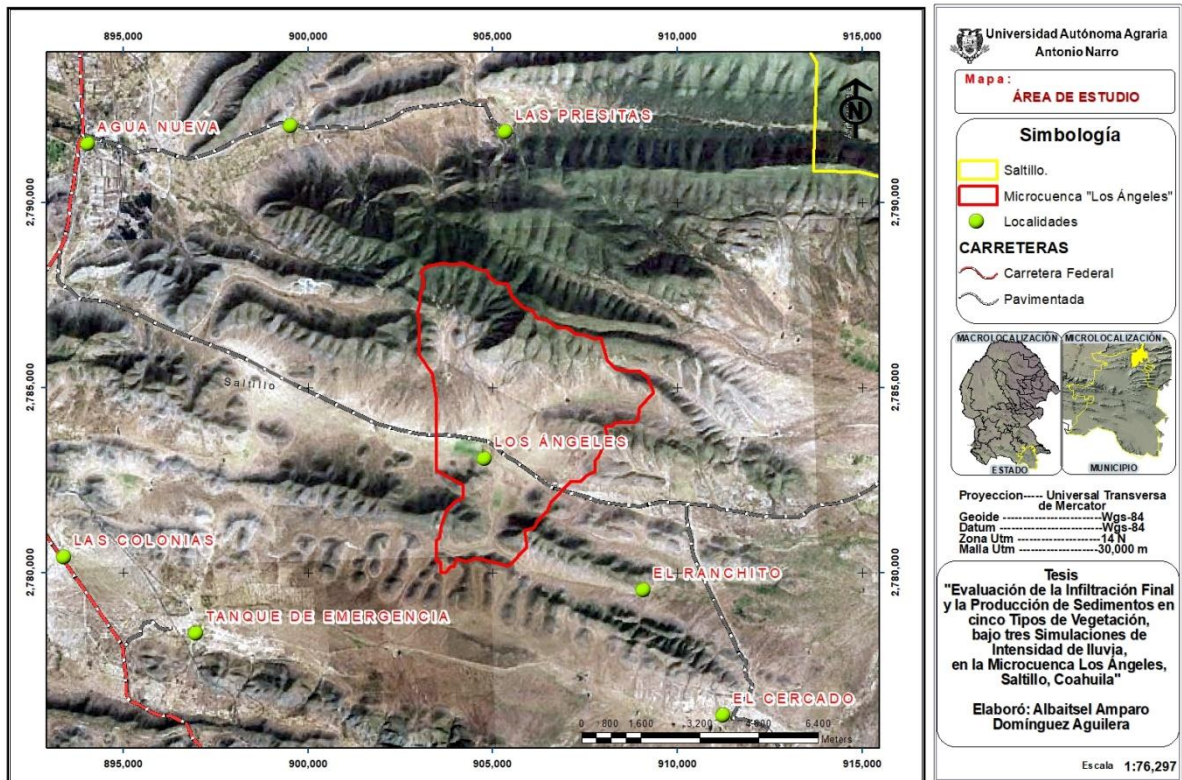


Figura 3.1.- Área de Estudio de la Microcuenca "Los Ángeles", Saltillo, Coahuila.

### III.2 Clima

De acuerdo a la clasificación de climas de Köppen adaptada a la condiciones de la República Mexicana por Enriqueta García; en el área de estudio predomina el clima clasificado como  $BS_{1kw}$ (e') describiéndose como un tipo de clima semiárido con veranos frescos.

La temperatura media anual de la zona varía entre 14°C y 20°C en la planicie y flancos de las sierras y disminuye hasta 10°C en las partes altas de la Sierra. El

El periodo húmedo se presenta de mayo a principios de octubre, habiendo un lapso de humedad nuevamente en el mes de enero. Por otra parte, el periodo seco se presenta en el mes de febrero a finales de abril, así como a principios de octubre a diciembre (Figura 3.2).

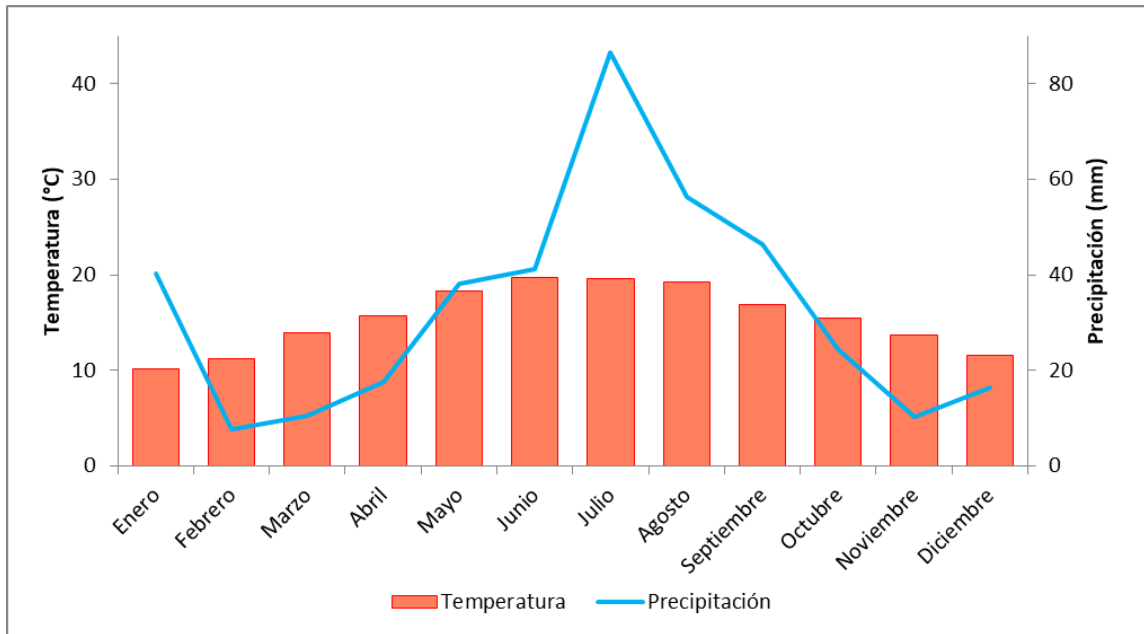


Figura 3.2.- Climograma correspondiente a al estación Carneros (05081) SMN.

### III.3 Geología

La microcuenca “Los Ángeles” se localiza en una zona de rocas sedimentarias; en las partes altas se puede encontrar un tipo de roca caliza, la cual se caracteriza por ser una formación de carbonato de calcio, estas formaciones datan de la era geológica Cretácico inferior.

En las partes de pie de monte y valle se puede encontrar un tipo de roca Aluvión, este tipo de roca está formada por sedimentos arrastrados por corrientes de agua de la partes altas, las cuáles quedan depositados en las partes bajas del terreno, de igual manera en la parte oriente de la microcuenca se puede encontrar un tipo de roca Lutita y conglomerado, las cuales están constituidas por partículas de arcilla, limo y gravas, consecuencia del arrastre de las partes altas; este tipo de rocas proceden de la era geológica Cuaternario y Cretácico superior (Figura 3.3).

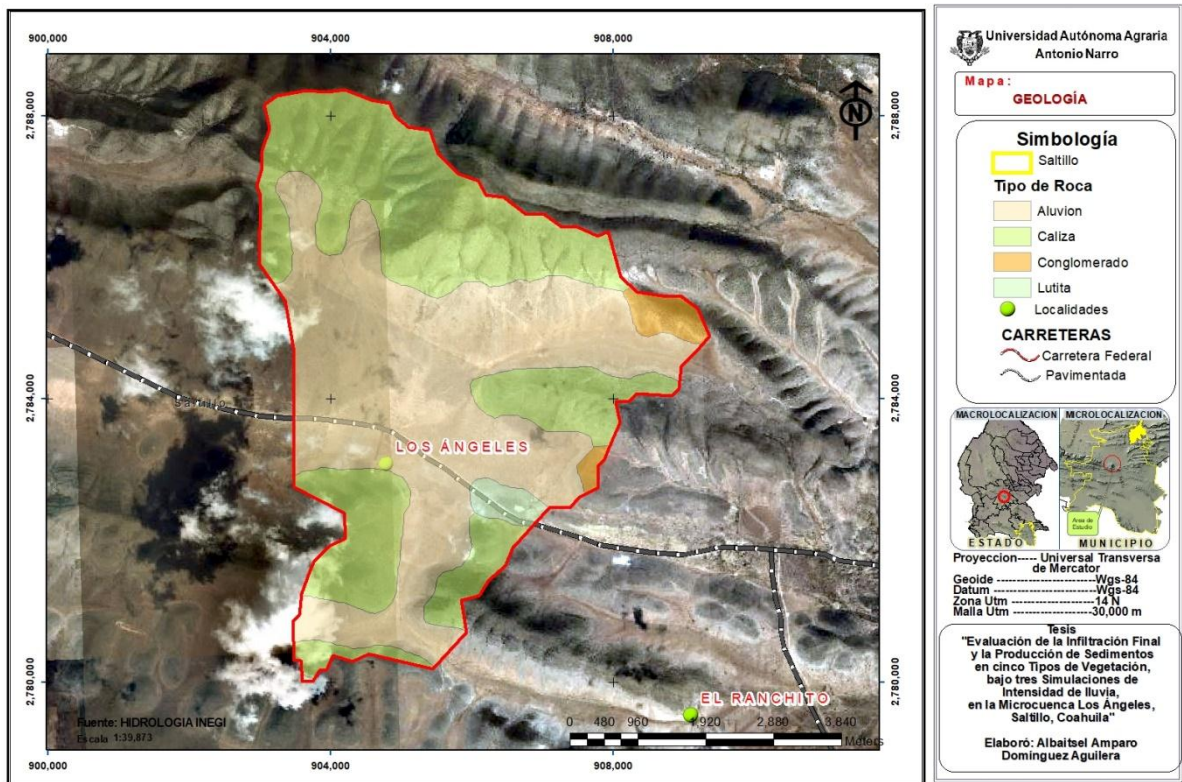


Figura 3.3.- Geología de la Microcuenca “Los Ángeles”, Saltillo, Coahuila.

### III.4 Suelo

La Microcuenca “Los Ángeles” se caracteriza por poseer en las partes elevadas, como laderas y parte aguas, suelos Litosol, este tipo de suelo se caracteriza por ser somero, pedregoso y pobre de materia orgánica y con una clase textural media, no tienen horizontes desarrollados y sus propiedades derivan de la roca madre, cuenta con una fase física petrocálcica, es decir, cuenta con acumulaciones de caliche en el subsuelo proveniente de las rocas sedimentarias.

En la posición de pie de monte los suelos se caracteriza se la acumulación de materia orgánica, tanto superficial como incorporada en al suelo, por lo que se les considera más fértiles que el Litosol ubicado en las laderas, la acumulación de materiales por deposición permite un desarrollo el vertical del suelo, pero sin distinguir horizontes de diagnóstico; tiene una clase textural media y puede tener concreciones de caliche en los primeros 50 cm de profundidad, a lo que se conoce como una fase física petrocálcica. Estos se clasifican como Rendzina y aun que

guardan muchas características del material primigenio su color tiende a ser menos claro por la humedad y el contenido de materia orgánica.

Las tierras bajas, que forman el valle son de suelos profundos con perfiles y horizontes bien definidos, característicos de vegetación de tipo pastizal, las zonas de menor humedad con suelos de tonos café y pardo rojizo claro son Feozem, al extremo oriente de la microcuenca domina el Castañozem, característicos de zonas menos áridas, de clima más templado, por lo que su perfil conserva humedad durante mayores periodos del año, también ostentan vegetación tipo pastizal normalmente con mayores coberturas. Ambos tipos de suelo son de origen aluvial, donde por su ubicación y pendiente baja, tiende a la acumulación de arcillas por lo que su textura es fina, asimismo presentan fases físicas petrocálcicas de profundidad, es decir, concreciones de caliche a más de un metro de profundidad (Figura 3.4).

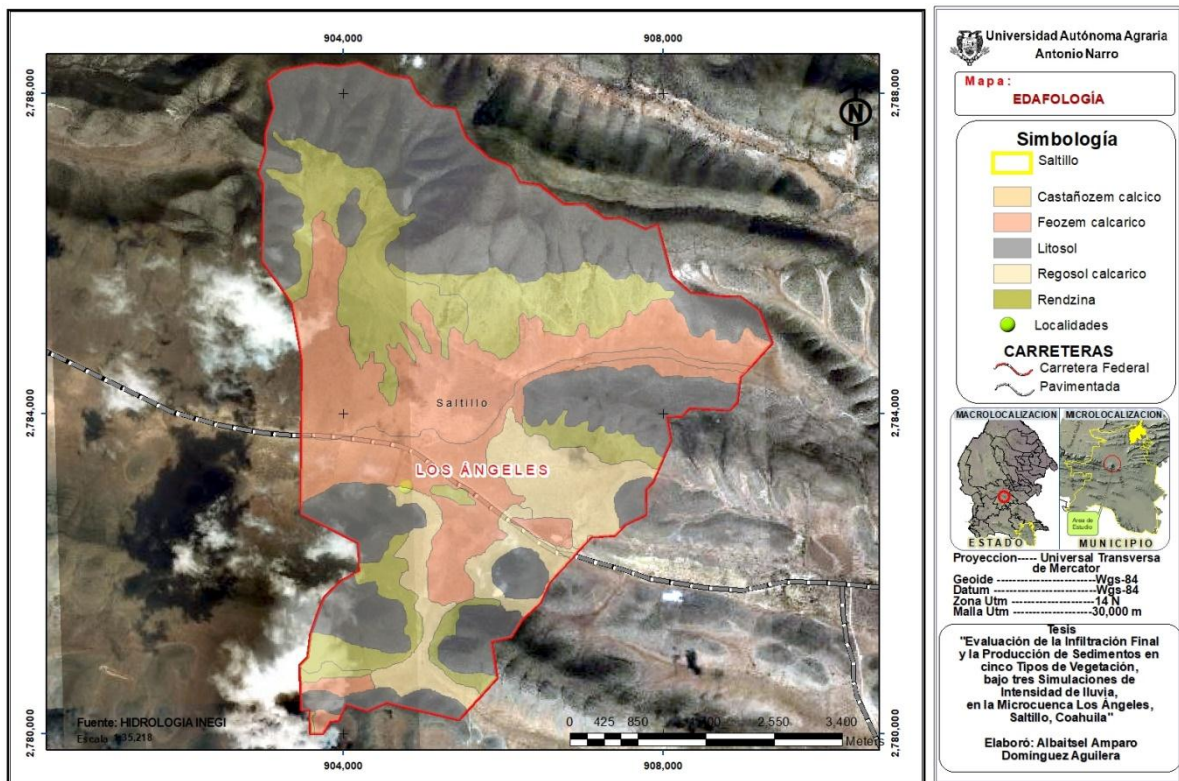


Figura 3.4.- Edafología en la Microcuenca “Los Ángeles”, Saltillo, Coahuila

### **III.5 Hidrología**

La Microcuenca Los Ángeles forma parte de la Región Hidrológica Bravo-Conchos (RH24), dicha Región es vertiente del golfo de México y Cuencas cerradas del Norte.

La región hidrológica 24 comprende seis cuencas, de las cuáles el área de estudio está inmersa en la Cuenca R. Bravo-San Juan (RH24B) y en la Subcuenca R. San Miguel (RH24Be); la cual se localiza en forma parcial en el sureste del estado y colinda con la Región Hidrológica 37 y la Región Hidrológica 36 (Comisión Nacional de Aguas 2018).

Las corrientes de agua de la microcuenca son de primer y segundo orden, todos ellos intermitentes con escorrentías efímeras, estas corrientes desaparecen en tierras bajas, el caudal se evapora e infiltra perdiendo continuidad en su cauce.

### **III.6 Hidrología Subterránea**

El manto freático del área pertenece al Acuífero Saltillo Sur, en el cual no existen corrientes subterráneas que afloren hacia la superficie; actualmente el acuífero se encuentra en una condición de sobreexplotación y sin disponibilidad de acuerdo a la Comisión Nacional del Agua (2018).

### **III.7 Vegetación**

La Microcuenca “Los Ángeles” de acuerdo a la carta temática de Uso de Suelo y Vegetación (Figura 3.5) escala 1: 50,000 elaborada por el INEGI (1975), se distinguen los tipos de Vegetación siguientes:

En las partes altas de la microcuenca se pueden encontrar un tipo de vegetación de Bosque en manchones dispersos, con arbolado de edad joven y porte entre los 8 y 10 m de altura, principalmente está compuesto con especies de *Pinus cembroides*.

En las partes de pie de monte se puede encontrar Matorral Submontano y Matorral Micrófilo en asociación con chaparral y en algunas zonas en combinación con nopal.



En el valle se pueden distinguir dos tipos de pastizales; pastizal nativo y pastizal amacollado, asociado con izotal en algunas partes.

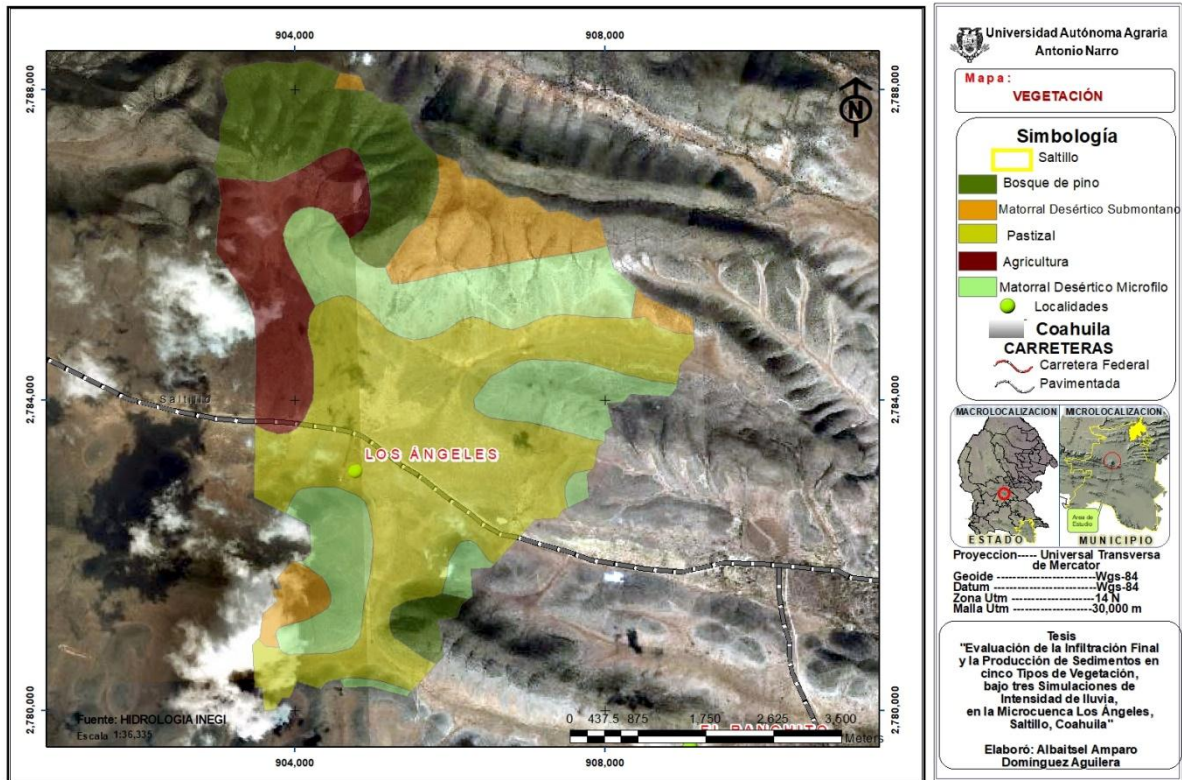


Figura 3.5.- Vegetación en la Microcuenca “Los Ángeles”, Saltillo, Coahuila

### III.8 Área de Estudio

La selección del área de estudio se basó en la delimitación de las Microcuencas inmersas en la Subcuenca R. San Miguel (RH24Be); en la cual se sobrepuso la carta de Uso de Suelo y Vegetación G14C43 y G14C44 (INEGI, 1975) para distinguir los grupos de vegetación dominantes en el área obteniendo 5 grupos de vegetación principales, los cuales fueron:

Matorral Desértico Micrófilo, Matorral Desértico Submontano, Pastizal, Bosque y se tomó en cuenta áreas en abandono de Agricultura; las cinco unidades de vegetación seleccionadas se consideraron como los tratamientos del presente estudio, en las cuales de manera selectiva se tomaron 5 unidades de muestreo por cada tipo de vegetación, para de esta manera considerar estas como las repeticiones por tratamiento.

Cabe mencionar que para cada unidad de vegetación se aplicó un diseño de muestreo selectivo ya que por las condiciones topográficas y los requerimientos de materiales (principalmente agua y equipo para hacer funcionar los simuladores) no se podía acceder fácilmente a sitios con pendientes pronunciadas.

### **III.9 Descripción del simulador**

Se utilizaron de forma simultanea 3 simuladores portátiles construidos en base al modelo de Wilcox *et al* (1986), modificado por Duéñez (1993), para su uso en zonas templadas y áridas de México. (Figura 3.6).

Los simuladores constan de un rociador de cabeza, el cual está montado en una placa triangular de acero de 30 cm por 30 cm; el rociador consta de un manómetro de baja presión ( $2\text{kg/cm}^2$ ) el centro esta insertado y soldado un niple de 3/4 de pulgada (1.94 cm) de diámetro y 3 cm de largo, cuatro coples de 3/4 de pulgada (1.94 cm) dos con 5 cm de largo y dos de 20 cm de largo, un codo y una conexión T de 3/4 de pulgada (1.94 cm); en la parte inferior de la placa de acero se encuentran tres semitubos de acero.

El tripie de soporte del ensamblaje consta de tres tubos de 150 cm de largo, con 1.27 cm de diámetro los cuales se insertan en los tres tubos cromados los cuales tienen un diámetro de 1 pulgada (2.54 cm); la altura se ajusta con los tubos de tripie.

La cortina contra el viento está formada por dos maderas rectangulares; dichas maderas son enganchadas a las varillas de la placa siendo fijada previamente al ras del suelo para evitar el efecto del viento, dejando una entrada para el monitoreo de la presión y el control del flujo de agua en el rociador de cabeza.

La concentración de agua se llevó en un tinaco de 1000 litros; la distribución del agua se realizó con apoyo de una bomba eléctrica de agua de 1/2 Hp de Potencia, la cual, a su vez, para su funcionamiento fue alimentada por una planta de luz de 1200w.

Los simuladores se conectaron a la bomba por medio de mangueras de 30 metros de longitud de 3/4 de pulgada.



Figura 3.6.- Simulador portátil y de boquilla simple utilizado en el área de estudio.

## **IV. CAPITULO METODOLOGÍA.**

### **IV.1 Simulación de lluvia**

Se utilizaron tres simuladores al instante por cada sitio de muestreo, para cada prueba se realizó lo siguiente:

En primera instancia se insertaba en el suelo la parcela de estudio, la cual era de un material metálico con unas dimensiones de 40cm\*40cm (largo y alto), para poder levantar la información de cubierta vegetal y extraer las muestras de suelo, posterior al levantamiento de datos en la parte inferior de la parcela se realizaba una canaleta de 30cm\*30cm para recolectar los escurrimientos generados por el equipo.

Para armar los simuladores de lluvia se colocaba en la parte superior el rociador de cabeza, para ir insertando en los semitubos que se encuentran en la parte inferior del rociador los tubos de soporte, para cuando estuviera armado nivelarlo con una plomada.

Una vez armado el simulador se colocaba una madera de acuerdo a la dirección del viento dominante, esta evitaba el efecto del viento sobre la prueba. Teniendo instalado el equipo. procedía a realizar la conexión de mangueras de los simuladores de lluvia hacia la bomba de agua y de la bomba hacia el tinaco de agua, para ya al estar conectado, en la parte inferior donde se encontraba la parcela cubrir con un plástico para evitar que al momento de regular la intensidad de lluvia esta incidiera sobre la parcela.

Las intensidades aplicadas fueron de 28.33 cm/hr, 33.16 cm/hr y 38.33 cm/hr respectivamente durando cada evento de simulación 33 minutos, ya que a este tiempo es cuando la capacidad de infiltración llega al punto máximo y no hay penetración del agua, generando que la acumulación de agua se cumule en la superficie del suelo, elevando rápidamente la esorrentía (Kirkby, 1978); el formato utilizado se presenta en el Anexo X.1.

## IV.2 Calibración de los Simuladores

La calibración de los simuladores tiene como fin principal regularizar la intensidad de lluvia (cantidad de agua por unidad de tiempo) a aplicar en las parcelas de estudio, así como el de verificar la condición general del equipo para un funcionamiento correcto.

Para la calibración se instaló cada uno de los simuladores, ubicando en la parte inferior de la boquilla de aspersion un recipiente de plástico de 40 cm \* 30cm \*10 cm (largo, ancho y alto, respectivamente), para realizar una prueba de simulación de lluvia, colectando el volumen generado en 3 minutos y medio de probetas de 1000 ml y 100ml para lograr una precisión a 1 ml.

Para el cálculo de la intensidad de lluvia a partir del volumen captado, se utilizó el factor K, el cual de acuerdo al área de la base del recipiente (1200cm<sup>2</sup>), indica cual es la lámina necesaria para coleccionar 1 litro de agua, lo que equivale a 1000cm<sup>3</sup>.

$$\text{Factor } K = \frac{1000 \text{ cm}^3}{1200 \text{ cm}^2} = 0.8333 \text{ cm} = 8.33\text{mm}$$

Con el valor del factor K y el volumen medido se procedió a calcular la precipitación en milímetros por hora, utilizando una constante de 20 para extrapolar la lluvia captada en 3 minutos a una hora, resultando la ecuación siguiente:

$$\text{mm/hora} = (\text{Volumen de recolección en litros})(8.33\text{mm})(20)$$

## IV.3 Sitios de muestreo

En cada sitio de muestreo se enterraban en el suelo las parcelas metálicas de muestreo, las cuales, tenían una dimensión de cuarenta centímetros por cuarenta centímetros; al instalar las parcelas se levantaba la información de la cobertura existente dentro de la parcela de acuerdo al método de puntos de contacto descrita por (Pieper, 1973), metodología que consiste en verificar la ausencia o presencia de cobertura de acuerdo a la proyección vertical de las partes aéreas de la planta sobre el suelo, para con el número total de observaciones estimar el porcentaje de

cobertura para cada factor observado, teniendo en total 64 contactos, los cuáles eran señalados en el cuadro siguiente por medio de palomas.

Cuadro 4.1.- Información de vegetación recabada en los sitios de muestreo.

<b>Cobertura Interna</b>
Gramíneas
Herbáceas
Arbustivas
Hojarasca
Pedregosidad
Gravas
Suelo desnudo
Mantillo

Posteriormente al contar con la información de cobertura se recolectaba una muestra de suelo, el cuál era extraído de la lateral de la parcela de estudio para tener las condiciones más igualitarias posibles, así como para también no modificar las condiciones de la parcela.

Finalmente, cuando se terminaba de coleccionar la información se procedía a armar los simuladores de lluvia.

#### **IV.4 Estimación de la tasa de escurrimiento.**

El volumen de escurrimiento se colecto al 1, 3, 5, 8, 13, 18, 23, 28 y 33 minutos, utilizando recipientes de 8 litros de capacidad para acopiar el volumen generado y posteriormente vaciarlo en probetas de 1000 ml para verificar el volumen colectado.

La tasa de escurrimiento (cm/hora) fue calculada a partir del volumen de escurrimiento colectado de la siguiente manera:

$$\text{Tasa de escurrimiento al 1, 3,5 y 8 minutos} = \frac{\text{Volumen de Escurrimiento (cm}^3\text{)}}{\text{Area de la parcela en (cm}^2\text{)}} * \frac{60}{20}$$

Los cuatro intervalos de tiempo posteriores a los anteriores se calcularon de la siguiente manera debido a que el tiempo de la colecta de los escurrimientos no fue gradual.

$$\text{Tasa de escurrimiento a 13, 18, 23,28 y 33 minutos} = \frac{\text{Volumen de Escurrimiento (cm}^3\text{)}}{\text{Area de la parcela en (cm}^2\text{)}} * \frac{60}{12}$$

#### **IV.5 Estimación de infiltración**

La tasa de infiltración se determinó por la diferencia de la intensidad de lluvia aplicada en (cm/hora) y la tasa de escurrimiento en los periodos de tiempo establecidos.

$$\text{Infiltración} = \text{Intensidad de Lluvia} - \text{Tasa de Escurrimiento.}$$

#### **IV.6 Tasa de Infiltración**

Para la determinación de Infiltración Final se utilizó el modelo de Kostiakov, el cual de acuerdo a Torres (1984) parte de los valores de lámina infiltrada acumulada de la siguiente manera:

$$I = KT^n$$

Donde:

I = Infiltración Final en cm/hora

T= Tiempo acumulado en minutos

K y n= Parámetros a estimar

Tomando en cuenta los valores de los parámetros obtenidos con el modelo y con los intervalos de tiempo establecidos en el estudio; los datos de Infiltración fueron sometidos a un análisis de regresión, utilizando los valores obtenidos en el modelo de regresión exponencial.

Donde:

$$Y = aX^b$$

X= Tiempo acumulado

$$a = K \quad \text{y} \quad b = n$$

## **IV.7 Infiltración Final**

El valor de Infiltración Final significa que a medida que el suelo se va saturando y la velocidad de infiltración se acerca al valor de conductividad hidráulica del suelo (o la permeabilidad), los valores dejan de representar el fenómeno de la infiltración (Steer y Torrie, 1985)

Para esto se calculó por medio de la siguiente formula:

$$\text{Infiltración Final} = K \left( \frac{60}{1 + \left(\frac{10}{9}\right)^{1/N}} \right)^n$$

## **IV.8 Tiempo teórico para llegar a la infiltración básica.**

La velocidad de infiltración (I) tiende a hacerse constante en el tiempo. A esa velocidad se la llama "Infiltración básica" (I<sub>b</sub>), o sea que el pasaje el agua en el suelo entra en régimen. Por ello el tiempo teórico para llegar a la infiltración básica es importante para algunos métodos y está en función de la siguiente formula:

$$\text{Tiempo teórico para la infiltración básica} = \left( \frac{60}{1 + \left(\frac{10}{9}\right)^{1/N}} \right)^n$$

## **IV.9 Estimación de los sedimentos.**

En cada periodo de recolección de escurrimientos después de la medición de estos, se separaron los sedimentos disueltos en el agua con papel filtro, estos filtros se secaron en laboratorio para ser secados en estufa a una temperatura de 105°C por 24 horas.

## **IV.10 Estimación de Factor Suelo**

### **IV.10.1 Contenido de humedad.**

Antes de cada prueba de simulación en la proximidad de la parcela se tomó una muestra de suelo de 51 cm<sup>3</sup> con un anillo de metal, muestra que en gabinete fue



pesada y después secada en estufa a 65°C por 72 horas, con esta información se estimó el contenido de humedad de suelo (%) y la densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>) por la relación del peso seco y el volumen extraído, de acuerdo a lo siguiente:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso Humedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} (100)$$

$$\text{Densidad aparente} = \frac{\text{Peso seco}(gr)}{\text{Volumen}(cm^3)}$$

#### **IV.10.2 Pendiente**

El porcentaje de pendiente fue determinado en el sitio de muestreo por medio de un clinómetro, obteniendo este parámetro de manera directa.

#### **IV.10.3 Textura**

Para la determinación de la clase textural se realizó mediante la Metodología de Sedimentación; la sedimentación de sólidos está gobernada por la Ley de Stokes, que indica que las partículas sedimentan fácilmente cuando mayor es: su diámetro, su peso específico comparado con el del líquido y cuando menor es la viscosidad del líquido.

La metodología consiste en pesar 150 gramos de suelo, dicho material se coloca en un vaso de precipitado con 100 ml de agua destilada; la mezcla se calienta por 10 minutos, para posteriormente agregar 50 ml de peróxido de hidrógeno, el cual se debe agitar continuamente por 15 minutos, para dejar que el calor y la sustancia quemem la materia orgánica.

Al término del proceso anterior la mezcla se coloca en una probeta y se le adiciona 150 ml de agua destilada para dejar reposar el suelo para que asiente las partículas por dos horas; una vez asentado el suelo se toman lecturas del volumen de cada una de los agregados primarios (arena, limo y arcilla).

Conocidos los volúmenes individuales se calcula la porción relativa de cada una para que con el uso del triángulo de textura (Figura 3.7) determinar la textura de cada una de las muestras (Rucks, L. *et al*/ García, F., 2004)

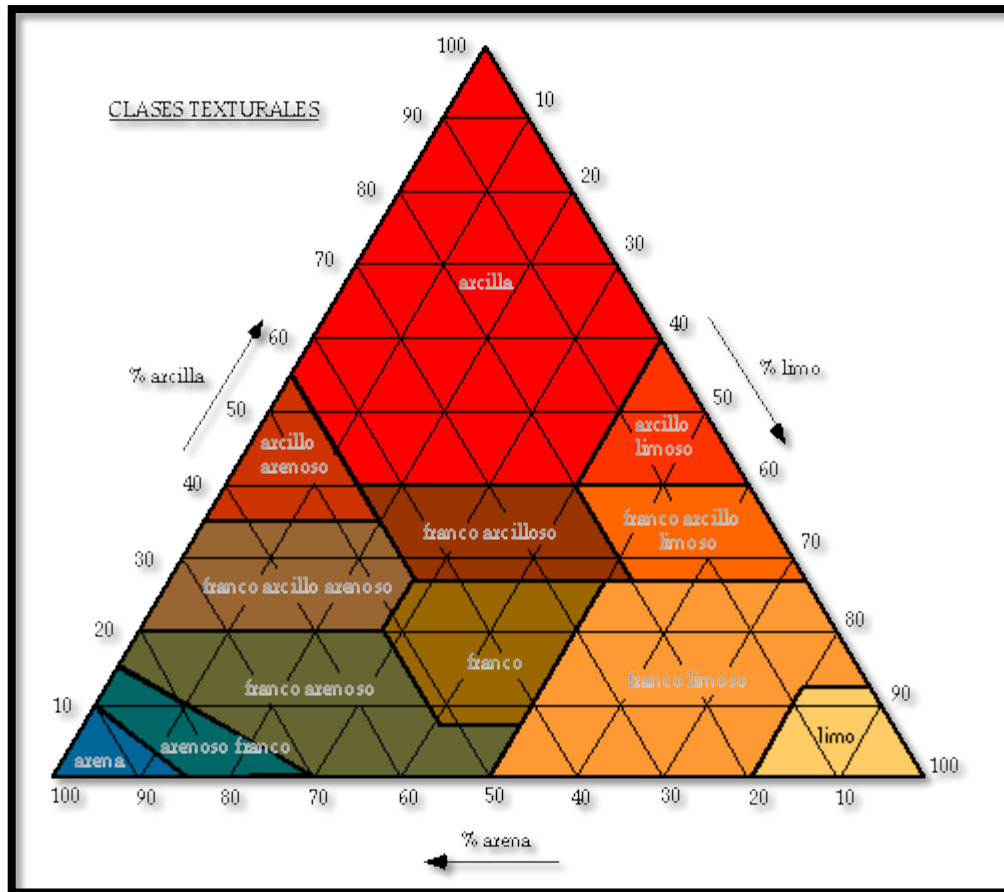


Figura 4.1.- Triángulo textural el cuál se basa en el sistema que aplica el USDA según el tamaño de las partículas.

## **IV.10 Análisis Estadístico**

### **IV.10.1 Descripción de tratamientos**

Para cumplir con los objetivos establecidos en el presente estudio y para evaluar los efectos de los diferentes tipos de vegetación en los valores de Infiltración Final se establecieron dos tratamientos, utilizando como Factor A los tipos de vegetación presentes en el área de estudio y como Factor B las intensidades de lluvia simuladas, con lo cual los tratamientos quedaron de la siguiente manera:

<b>Vegetación</b>	Bosque
	Pastizal
	Agricultura
	Matorral Desértico Micrófilo
	Matorral Desértico Submontano

<b>Intensidades de Lluvia</b>	Simulación 1	28.33 cm/hora
	Simulación 2	33.16 cm/hora
	Simulación 3	38.33 cm/hora

### **IV.10.2 Diseño Estadístico**

En el presente estudio se utilizó un análisis de varianza en un diseño Factorial 3\*5 completamente al azar, para evaluar el efecto de las diferentes unidades de vegetación en los valores de infiltración final y producción de sedimentos.

### **IV.10.3 Pruebas de Medias**

Con los datos de análisis de varianza se realizaron las pruebas de significancia de las diferencias o las comparaciones entre las medias de los tratamientos; utilizando el Método de Tukey y el Método de Fisher.

El método de Tukey y Fisher es empleado para hacer todas las comparaciones múltiples posibles con indefinidos tratamientos. El procedimiento consiste en calcular un valor teórico común o diferencia mínima significativa (Reyes, 1980).

#### **IV.10.4 Análisis de Correlación y Regresión Múltiple**

Con el fin de determinar los factores de suelo y vegetación que influyen en mayor grado sobre la infiltración Final y en periodos de tiempo de 3, 18 y 33 minutos, se utilizó el método de regresión lineal múltiple conocido como StepWise, para dicho proceso las variables de cubierta vegetal tomada en cada uno de los sitios expresadas en porcentaje se transformaron a valores angulares, esto para asumir una distribución normal y las variables expresadas en gramos se transformaron a logaritmos vulgares de acuerdo a Steel y Torrie (1985).

Cuadro 4.2.- Variables dependientes utilizadas en el análisis de regresión lineal múltiple "Stepwise."

<b>Variable</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidad</b>
Concentración de Sedimentos	CS	Kg/ha
Infiltración Final	IF	Cm/hora
Pendiente	P	%
Humedad del Suelo	HS	%
Contenido de Arena	CA	%
Contenido de Limo	CL	%
Contenido de Arcilla	CAr	%
Cobertura de Gramíneas	CG	%
Cobertura de Herbácea	CHe	%
Cobertura de Hojarasca	CHo	%
Cobertura de Pedregosidad	CP	%
Cobertura de Gravas	CG	%
Cobertura de Suelo Desnudo	CSD	%
Contenido de Mantillo Orgánico	CMo	%
Densidad Aparente	DA	gr
Contenido de Humedad	CH	%

## V. CAPITULO RESULTADOS

### V.1 Análisis de Varianza en tipos de Vegetación

La hipótesis nula establece que todas las medias de la población (medias de los niveles de los factores) son iguales mientras que la hipótesis alternativa establece que al menos una es diferente.

Cuadro 5.1.- Análisis de varianza en un diseño estadístico Factorial 3\*5 completamente al azar considerando las tres intensidades de simulación como experimento y los tipos de vegetación como tratamientos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajustado.</b>	<b>MC Ajustado.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Modelo	14	463.01	33.07	2.82	0.003
Lineal	6	36+7.81	61.30	5.23	0.000
Intensidades	2	155.38	77.69	6.63	0.003
Vegetación	4	212.44	53.11	4.53	0.003
Interacciones de 2 términos	8	95.19	11.90	1.02	0.434
Intensidad*Vegetación	8	95.19	11.90	1.02	0.434
Error	60	702.97	11.72		
Total	74	1165.97			

El análisis de varianza arroja que hay diferencias entre las tres intensidades de simulación y entre los tipos de vegetación, sin embargo, la interacción entre vegetación e intensidad de simulación no hay diferencias significativas.

Para información detallada sobre las diferencias entre las tres intensidades de simulación obtenidas y entre los diferentes tipos de vegetación se utilizó el método de comparaciones múltiples de Tukey y Fisher.

### V.2 Prueba de Medias

El análisis de medias tiene como fin probar la igualdad de las medias poblacionales. Si una media se encuentra fuera de los límites de decisión, existe evidencia de que la media de los niveles del factor representado por ese punto es significativamente diferente a la media general.

## V.2.1 Prueba de Tukey

### Resultados de Intensidades de Simulación.

Con los resultados del método de comparación de Tukey, se puede observar que las intensidades de simulación uno (28.33 cm/hora) y dos (33.16 cm/hora), no difieren en la infiltración en los tipos de vegetación, es decir, la penetración del agua hacia el suelo es similar, en comparación de la Intensidad tres (38.33 cm/hora), la cual es la que tuvo mayor grado de infiltración; pero analizando las infiltraciones de acuerdo a las tres distintas intensidades aplicadas se puede inferir que la intensidad de simulación dos presenta una línea de tendencia de infiltración uniforme por cada tipo de vegetación.

Cuadro 5.2.- Valores medios de la infiltración final (cm/hora) y su significancia estadística en la prueba de Tukey de los experimentos.

Intensidad	N	Media	Agrupación
3	25	26.8285	A
1	25	24.0016	B
2	25	23.5904	B

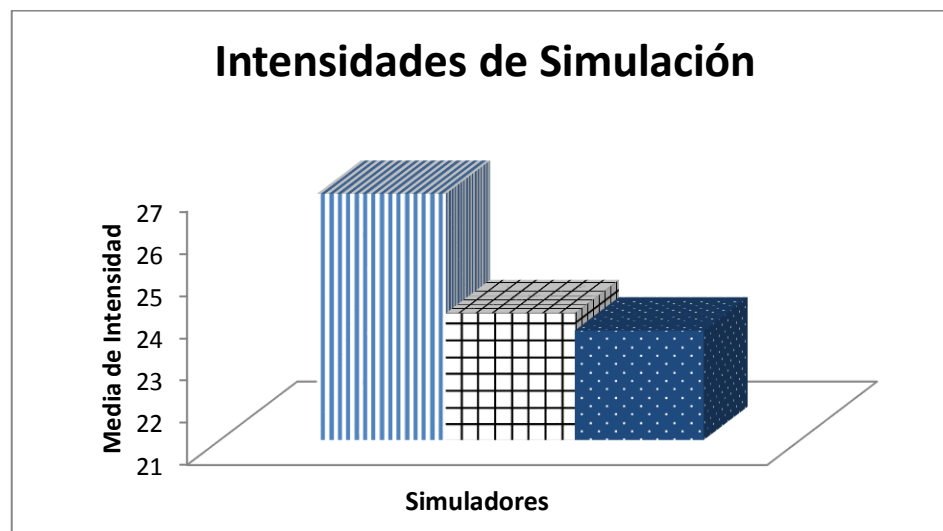


Figura 5.1. Valores medios de la infiltración final (cm/hora) y su significancia estadística de los experimentos.

## Resultados de Tipos de vegetación

Con el método de comparación de Tukey los resultados que arroja respecto a los grupos de vegetación son que la capacidad de infiltración en el bosque es significativamente superior a los cuatro grupos de vegetación existentes en el área de estudio, sin embargo, la infiltración en el pastizal y el matorral desértico Submontano son estadísticamente iguales pero mayores a matorral desértico Micrófilo y agricultura.

Por sus condiciones el Bosque, el pastizal y los matorrales son un tipo de vegetación que cuentan con mayor protección de cobertura, lo cual disminuye la cantidad de suelo desnudo; favoreciendo a que haya una capacidad de infiltración alta, además las raíces de estas coberturas aumentan los espacios en lo subsuperficial del suelo, lo cual permite que el agua sea retenida por más tiempo y permitir la permeabilidad, dando oportunidad a que haya mayor captación de dicho recurso.

Por otra parte, la agricultura es una actividad cuyas prácticas culturales modifica las propiedades físicas del suelo, causando que se pierda estructura y conformación de este, lo anterior más aunado la ausencia de la cubierta vegetal genera a que aumente la velocidad del agua en la superficie, disminuyendo la posibilidad de infiltración.

Cuadro 5.3.- Valores medios de la infiltración final (cm/hora) y su significancia estadística en la prueba de Tukey de los tratamientos.

<b>Vegetación</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>	
Bosque	15	27.6816	A	
Pastizal	15	25.5537	A	B
MDS	15	24.2886	A	B
MDM	15	23.6129		B
Agricultura	15	22.8974		B

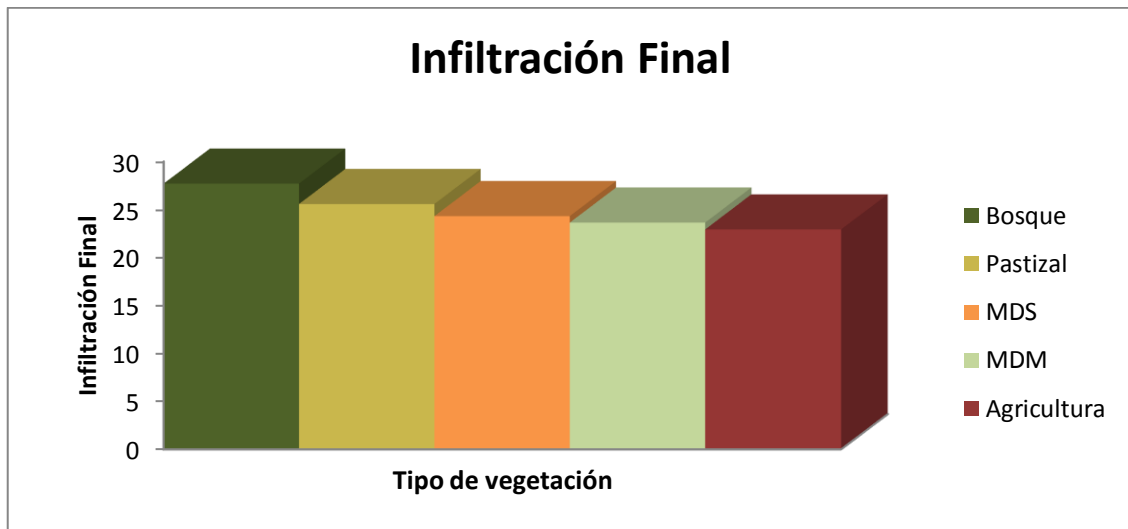


Figura 5.2. Valores medios de la infiltración final (cm/hora) y su significancia estadística de los tratamientos.

## V.2.2 Prueba de Fisher

### Resultados de Tipos de vegetación

Las pruebas de medias con el método de Fisher en los grupos de vegetación, señalan que estadísticamente la infiltración es mayor en el Bosque, mientras que el Pastizal, Matorral Desértico Micrófilo y Matorral Desértico Submontano estadísticamente tienen capacidad de infiltración igual pero superior a la Agricultura.

Las diferencias son similares a la prueba de Tukey, las cuáles se explican en el apartado anterior.

Cuadro 5.4.- Valores medios de la infiltración final (cm/hora) y su significancia estadística en la prueba de Fisher de los tratamientos.

Vegetación	N	Media	Agrupación		
Bosque	15	27.6816	A		
Pastizal	15	25.5537	A	B	
MDS	15	24.2886		B	C
MDM	15	23.6129		B	C
Agricultura	15	22.8974			C



### V.3 Modelo de Infiltración

La infiltración estimada en cada uno de las unidades de vegetación obtenidas en campo se muestra en el anexo 1.

Los resultados obtenidos con el modelo exponencial de Kostiakov, así como su correspondiente valor de correlación muestral (r), cuadrado medio del error y valor de F calculado, obtenidos con el modelo de regresión lineal se presentan en los siguientes cuadros, diferenciándolos por tipo de vegetación.

Cuadro 5.5.- Ecuaciones de las tasas de infiltración obtenidas para el tipo de vegetación de Bosque.

Intensidad	Sitio	Modelo	r	CME	FC	
1	1	$I = 28.312x^{-0.025}$	0.6724	0.0002	12.31	**
	2	$I = 27.807x^{-0.069}$	0.4954	0.0023	5.88	*
	3	$I = 28.218x^{0.001}$	0.0887	0.0000	0.59	NS
	4	$I = 29.553x^{-0.058}$	0.8294	0.0099	29.18	**
	5	$I = 29.726x^{-0.069}$	0.6546	0.0017	11.32	**
2	1	$I = 31.497x^{-0.046}$	0.2821	0.0018	2.35	NS
	2	$I = 32.002x^{-0.09}$	0.2818	0.0069	2.35	NS
	3	$I = 32.186x^{-0.076}$	0.5107	0.0027	6.26	*
	4	$I = 32.973x^{-0.091}$	0.8006	0.0034	83.73	**
	5	$I = 35.071x^{-0.235}$	0.7682	0.0238	9.03	*
3	1	$I = 39.106x^{-0.102}$	0.8483	0.0032	29.54	**
	2	$I = 39.384x^{-0.113}$	0.8793	0.0038	38.92	**
	3	$I = 39.342x^{-0.162}$	0.8531	0.0070	29.04	**
	4	$I = 39.667x^{-0.12}$	0.8426	0.0048	54.25	**
	5	$I = 39.857x^{-0.146}$	0.8897	0.0063	50.95	**

NS: No Significativo

\*Significativo

\*\*Altamente significativo

Cuadro 5.6.- Ecuaciones de las tasas de infiltración obtenidas para el tipo de vegetación de Pastizal.

Intensidad	Sitio	Modelo	r	CME	FC	
1	1	$I = 28.715x^{-0.063}$	0.6973	0.0013	9.21	*
	2	$I = 29.024x^{-0.056}$	0.927	0.0008	55.92	**
	3	$I = 26.981x^{-0.024}$	0.1253	0.0013	9.57	*
	4	$I = 28.506x^{-0.02}$	0.5881	0.0002	6.82	*
	5	$I = 28.67x^{-0.022}$	0.9065	0.0001	46.69	**
2	1	$I = 33.864x^{-0.044}$	0.7772	0.0005	13.95	*
	2	$I = 32.978x^{-0.091}$	0.7951	0.0027	19.39	**
	3	$I = 31.746x^{-0.073}$	0.3062	0.0048	2.64	NS
	4	$I = 33.207x^{-0.143}$	0.7424	0.0098	21.31	**
	5	$I = 32.572x^{-0.115}$	0.7231	0.0060	21.32	**
3	1	$I = 38.467x^{-0.015}$	0.8255	0.0006	18.92	**
	2	$I = 37.822x^{-0.135}$	0.831	0.0066	26.31	**
	3	$I = 38.226x^{-0.047}$	0.7739	0.0009	26.01	**
	4	$I = 37.917x^{-0.078}$	0.6733	0.0027	10.87	*
	5	$I = 38.319x^{-0.107}$	0.8944	0.0042	38.29	**

NS: No Significativo

\*Significativo

\*\*Altamente significativo

Cuadro 5.7.- Ecuaciones de las tasas de infiltración obtenidas para el tipo de vegetación de Agricultura.

Intensidad	Sitio	Modelo	r	CME	FC	
1	1	$I = 28.855x^{-0.041}$	0.7038	0.0006	16.63	**
	2	$I = 29.275x^{-0.057}$	0.7128	0.0012	17.42	**
	3	$I = 28.761x^{-0.063}$	0.8102	0.0012	29.87	**
	4	$I = 29.067x^{-0.073}$	0.7118	0.0021	23.68	**
	5	$I = 29.213x^{-0.126}$	0.8908	0.0011	19.67	**
2	1	$I = 34.48x^{-0.103}$	0.8137	0.0033	30.57	**
	2	$I = 33.166x^{-0.068}$	0.8616	0.0014	45.20	**
	3	$I = 32.567x^{-0.115}$	0.5645	0.0065	8.23	*
	4	$I = 32.851x^{-0.112}$	0.819	0.0044	36.27	**
	5	$I = 31.275x^{-0.057}$	0.8127	0.0019	39.76	**
3	1	$I = 39.099x^{-0.109}$	0.8096	0.0037	29.75	**
	2	$I = 37.928x^{-0.119}$	0.8271	0.0047	33.03	**
	3	$I = 39.212x^{-0.126}$	0.8808	0.0046	51.72	**
	4	$I = 39.839x^{-0.247}$	0.8032	0.0070	25.13	**
	5	$I = 38.166x^{-0.068}$	0.8726	0.0018	48.70	**

\*Significativo

\*\*Altamente significativo

Cuadro 5.8.- Ecuaciones de las tasas de infiltración obtenidas para el tipo de vegetación de Matorral Desértico Subinerme

Intensidad	Sitio	Modelo	r	CME	FC	
1	1	$I = 28.058x^{-0.063}$	0.814	0.0012	30.63	**
	2	$I = 28.983x^{-0.071}$	0.7827	0.0014	18	**
	3	$I = 29.185x^{-0.065}$	0.8237	0.0013	32.69	**
	4	$I = 28.405x^{-0.044}$	0.5682	0.0008	9.21	**
	5	$I = 29.675x^{-0.087}$	0.8868	0.0021	54.81	*
2	1	$I = 33.373x^{-0.111}$	0.7584	0.0037	15.69	*
	2	$I = 34.701x^{-0.096}$	0.7292	0.0029	13.43	*
	3	$I = 33.907x^{-0.116}$	0.7902	0.0039	18.83	**
	4	$I = 33.604x^{-0.106}$	0.832	0.0037	22.51	**
	5	$I = 33.3x^{-0.104}$	0.7671	0.0038	21.59	**
3	1	$I = 38.593x^{-0.061}$	0.8571	0.0010	29.99	**
	2	$I = 38.78x^{-0.066}$	0.8256	0.0012	23.67	**
	3	$I = 39.437x^{-0.123}$	0.8473	0.0040	27.74	**
	4	$I = 39.129x^{-0.051}$	0.9323	0.0007	47.68	**
	5	$I = 38.913x^{-0.147}$	0.8706	0.0062	30.26	**

\*Significativo

\*\*Altamente significativo

Cuadro 5.9.- Ecuaciones de las tasas de infiltración obtenidas para el tipo de vegetación de Matorral Desértico Micrófilo.

Intensidad	Sitio	Modelo	r	CME	FC	
1	1	$I = 28.312x^{-0.025}$	0.6724	0.0002	12.31	*
	2	$I = 27.807x^{-0.069}$	0.4954	0.0023	5.88	*
	3	$I = 28.218x^{0.001}$	0.0887	0.0001	0.58	NS
	4	$I = 29.553x^{-0.058}$	0.8294	0.0009	29.18	**
	5	$I = 29.726x^{-0.069}$	0.6546	0.0017	11.37	**
2	1	$I = 31.497x^{-0.046}$	0.2821	0.0018	2.35	NS
	2	$I = 32.002x^{-0.09}$	0.2818	0.0069	2.35	NS
	3	$I = 32.186x^{-0.076}$	0.5107	0.0027	6.26	*
	4	$I = 32.973x^{-0.091}$	0.8006	0.0034	83.73	**
	5	$I = 35.071x^{-0.235}$	0.7682	0.0238	9.03	*
3	1	$I = 39.106x^{-0.102}$	0.8483	0.0030	33.53	**
	2	$I = 39.384x^{-0.113}$	0.8793	0.0035	43.71	**
	3	$I = 39.342x^{-0.162}$	0.8531	0.0070	29.04	**
	4	$I = 39.667x^{-0.12}$	0.8426	0.0049	75.35	**
	5	$I = 39.857x^{-0.146}$	0.8897	0.0058	48.37	**

NS: No Significativo

\*Significativo

\*\*Altamente significativo

De acuerdo al valor crítico de F, se considera significativo cuando este es menor de 0.05 y altamente significativo cuando son valores menores de 0.01.

En los cinco tipos de vegetación solamente en siete sitios de muestreo no existe evidencia suficiente para rechazar la hipótesis de nulidad, la cual establece la no dependencia de X con respecto a Y (no hay regresión); por lo que se puede concluir que no existe correlación para estos sitios, sin embargo en el resto de los sitios de muestreo el valor de Fc y el Coeficiente de Correlación Muestral (r), fueron significativos al nivel de probabilidad del 0.05, mientras que para algunos sitios fue altamente significativo con un nivel de probabilidad de 0.01.

#### V.4 Infiltración Final

En la figura siguiente se observa el comportamiento de la infiltración final por cada tipo vegetación, con su respectiva intensidad.

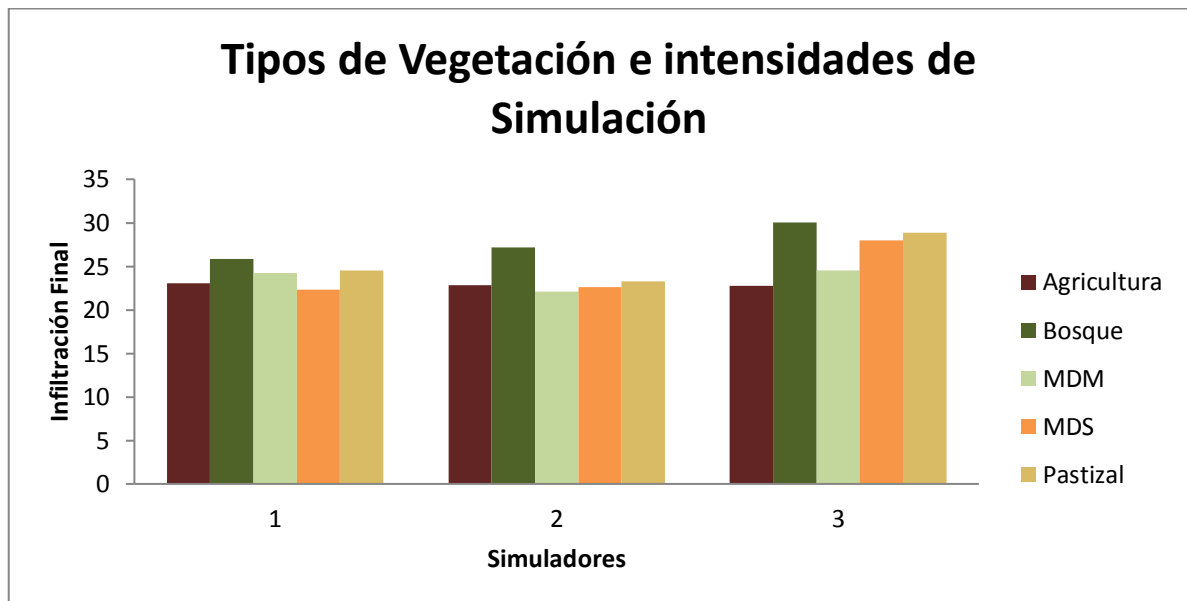


Figura 5.3.-Medias de Infiltración Final (cm/hora) estimada con cada uno de los tratamientos aplicados en la Microcuenca “Los Ángeles”, Saltillo, Coahuila.

Como se puede observar en la figura anterior se reflejan los resultados obtenidos, es decir, estadísticamente son similares la intensidad 1 ( $28.33 \text{ cm hr}^{-1}$ ) e intensidad 2

(33.16 cm hr<sup>-1</sup>) en comparación de la intensidad 3 (38.33 cm hr<sup>-1</sup>); por lo que a mayor dispersión de agua mayor capacidad de infiltración.

En cuanto a los tipos de vegetación el que sobresale de los demás es el bosque y el pastizal, tal y como lo arrojan los análisis estadísticos, mientras que el que presenta menor capacidad infiltración es la agricultura en las tres intensidades aplicadas.

## V.5 Producción de Sedimentos.

## V.6 Análisis de varianza sedimentos

Cuadro 5.10.- Análisis de varianza en un diseño estadístico Factorial 3\*5 completamente al azar considerando las tres intensidades de simulación como experimento y la producción de sedimentos como tratamientos.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajustado.</b>	<b>MC Ajustado.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Modelo	14	3775.2	269.66	1.97	0.037
Lineal	6	3183.5	530.59	3.87	0.002
Intensidad	2	1437.1	718.55	5.24	0.008
Sedimentos	4	1746.4	436.61	3.18	0.019
Interacciones de 2 términos	8	591.7	73.96	0.54	0.822
Intensidades*Sedimentos	8	591.7	73.96	0.54	0.822
Error	60	8229.3	137.16		
Total	74	12004.6			

La interacción de las tres intensidades de simulación con la producción de sedimentos en cada unidad de vegetación se puede observar que no hay interacción.

Sin embargo, considerando la variable de las intensidades de simulación de lluvia y la producción de sedimentos, se observa que hay diferencia significativa entre sí en ambas variables. Para obtener la diferenciación se procedió a realizar el método de comparaciones múltiples de Tukey y Fisher.

## V.7 Prueba de Medias

### V.7.1 Prueba de Tukey

#### Resultados de Intensidades de Simulación.

Con los resultados del método de comparación de Tukey, se analiza que las intensidades de simulación 1 uno (28.33 cm/hora) y dos (33.16 cm/hora), no difieren estadísticamente, es decir, la penetración del agua hacia el suelo es similar, en comparación de la Intensidad tres (38.33 cm/hora), la cual es la que tuvo mayor grado de intensidad, concluyendo que la intensidad 3 es la que cuenta con mayor infiltración dado a que es la que aplico más lluvia.

Cuadro 5.11.- Valores medios de la infiltración final (cm/hora) y su significancia estadística en la prueba de Tukey del experimento.

Intensidad	N	Media	Agrupación
3	25	14.46	A
2	25	14.23	B
1	25	12.12	B

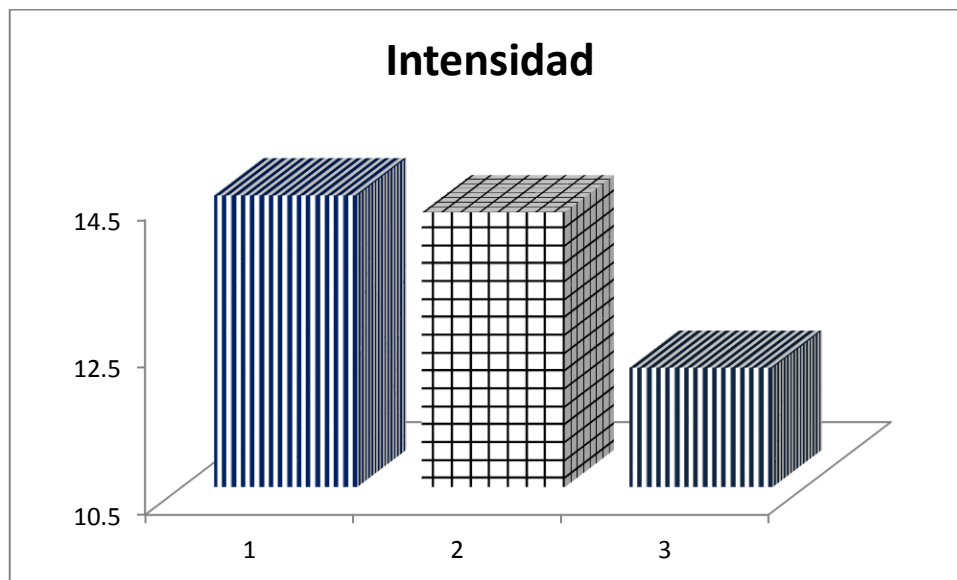


Figura 5.4. Valores medios de la producción de sedimentos (cm/hora) y su significancia estadística de los experimentos.

## Resultados de Producción de Sedimentos

Con el método de Tukey se observa que la producción de sedimentos es estadísticamente más significativa en la Agricultura, mientras que Pastizal, Matorral Desértico Micrófilo y Matorral Desértico Submontano son estadísticamente iguales pero superiores a Bosque.

La producción de sedimentos en la agricultura es mayor ya que los suelos no están compactados, dado a que las practicas realizadas hacen que se pierda la estructura y los agregados de la superficie, lo que ocasiona que con la intensidad de la lluvia el agua suavice el suelo y arrastre de manera rápida las partículas que se encuentran superficialmente dispuestas.

Los pastizales son áreas de acumulamiento, lo que la compactación ocasionada por las gotas de lluvia predispone al desprendimiento de las partículas de suelo, en comparación con los matorrales, que son un tipo de vegetación que cuenta con una cubierta vegetal que genera estabilidad en los agregados del suelo.

Por otra parte, en el bosque la disminución de generación de sedimentación es básicamente a que el contenido de materia orgánica, así como a la cobertura basal y foliar actúan como una protección en el suelo, contra la energía cinética ocasionada por las gotas de lluvia que generan las intensidades de lluvia aplicadas.

Cuadro 5.12.- Valores medios de la producción de sedimentos (kg/ha) y su significancia estadística en la prueba de Tukey de los tratamientos.

<b>Sedimentos</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>	
Agricultura	15	18.06	A	
Pastizal	15	13.44	A	B
MDM	15	8.32	A	B
MDS	15	6.88	A	B
Bosque	15	4.68	B	

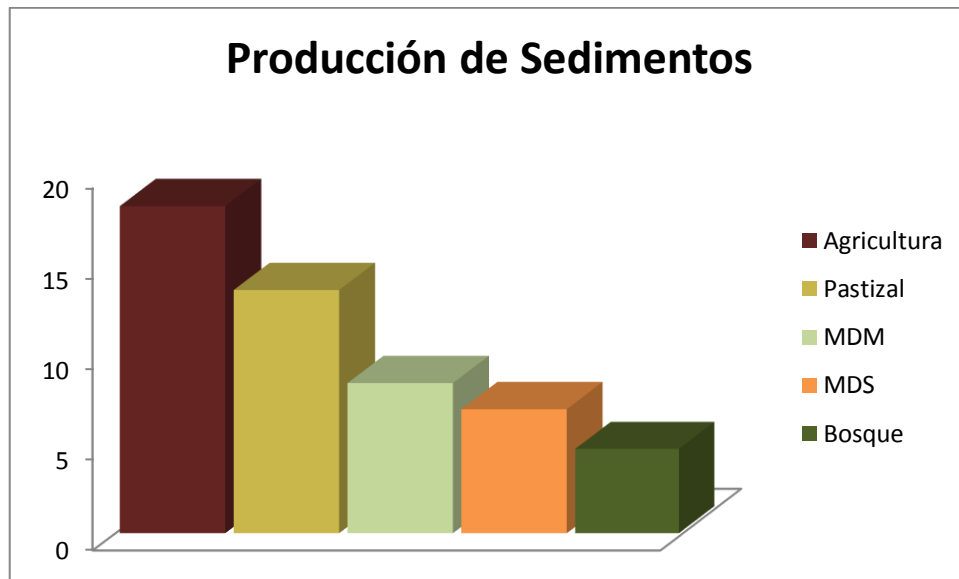


Figura 5.5. Valores medios de la producción de sedimentos (cm/hora) y su significancia estadística de los tratamientos.

### V.7.2 Prueba de Fisher

Con el método de comparación de medias de Fisher, la producción de sedimentos es más significativa en la Agricultura y el Pastizal, mientras que el Matorral Desértico Micrófilo y Matorral Desértico Subinermes son estadísticamente iguales pero superiores a Bosque.

Las diferencias en cada tipo de vegetación se mencionan en el apartado anterior.

Cuadro 5.13.- Valores medios de la producción de sedimentos (kg/ha) y su significancia estadística en la prueba de Fisher de los tratamientos.

Sedimentos	N	Media	Agrupación
Agricultura	15	18.08	A
Pastizal	15	13.27	A B
MDM	15	8.13	B C
MDS	15	7.47	B C
Bosque	15	4.43	C



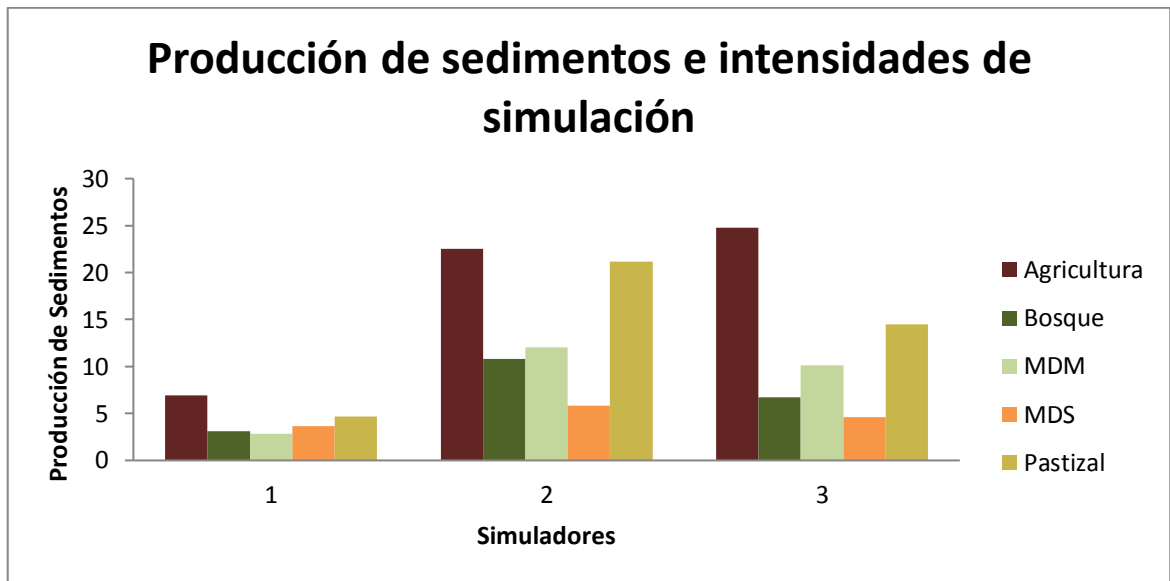


Figura 5.6.-Medias de Producción de Sedimentos (cm/hora) estimada con cada uno de los tratamientos.

Como se puede observar en la figura anterior se reflejan los resultados obtenidos, es decir, estadísticamente son similares la intensidad 1 (28.33 cm hr<sup>-1</sup>) e intensidad 2 (33.16 cm hr<sup>-1</sup>) en comparación de la intensidad 3 (38.33 cm hr<sup>-1</sup>); por lo que a mayor dispersión de agua mayor capacidad de infiltración.

En cuanto a la producción de sedimentos el que genera mayor concentración es la agricultura y el pastizal, tal y como lo arrojan los análisis estadísticos, mientras que el que presenta menor producción de sedimentos es el bosque en las tres intensidades de simulación aplicadas.

### . V.8 Infiltración Básica

La infiltración básica y/o constante es la que se alcanza cuando el suelo está saturado y entonces solamente depende del movimiento del agua en el perfil del suelo (percolación), hay que considerar que algunos suelos y/o algunos tipos de vegetación alcanzan inmediatamente esta condición, mientras que otros tardan porque tienen mucha capacidad de absorción, pero finalmente la alcanzan y no importando que la simulación continúe, la tasa de infiltración va a hacer la misma.

En el área de estudio, el tiempo necesario para alcanzar la tasa de infiltración final de acuerdo a la fórmula expuesta en el apartado IV.7 (página 27), es siempre mayor a los 33 minutos utilizados en la simulación.

La determinación de la clase textural del área de estudio se presenta en el Anexo 2, con ello se permite deferir sobre el comportamiento del porqué de la Infiltración Final. Principalmente el área de estudio, se compone de suelos Arenosos y Franco Arenosos, por lo que su capacidad de retener agua es escasa y debido a los grandes espacios entre sus partículas separadas, el paso del agua gravitacional es rápido, facilitando así el drenaje y el eficaz movimiento del aire (Montevideo, 2004).

Cuadro 5.14.- Tiempo necesario al que se obtiene la Infiltración Final con la intensidad de simulación 1

<b>Intensidad de Simulación 1</b>					
<b>Tipo de Vegetación</b>	<b>Tiempo Teórico (Minutos)</b>				
	<b>Sitio 1</b>	<b>Sitio 2</b>	<b>Sitio 3</b>	<b>Sitio 4</b>	<b>Sitio 5</b>
MDM	59.13	49.29	60.00	51.61	49.29
Pastizal	50.51	52.07	59.27	59.69	59.50
Agricultura	55.73	51.83	50.51	48.53	51.65
MDS	50.51	48.91	50.09	54.98	46.22
Bosque	60.13	55.98	59.99	52.29	59.98

Cuadro 5.15.- Tiempo necesario al que se obtiene la Infiltración Final con la intensidad de simulación 2

<b>Intensidad de Simulación 2</b>					
<b>Tipo de Vegetación</b>	<b>Tiempo Teórico (Minutos)</b>				
	<b>Sitio 1</b>	<b>Sitio 2</b>	<b>Sitio 3</b>	<b>Sitio 4</b>	<b>Sitio 5</b>
MDM	54.48	45.80	48.00	45.66	36.61
Pastizal	54.98	45.66	48.54	40.58	42.86
Agricultura	44.13	49.48	42.85	43.15	44.90
MDS	43.25	44.98	42.75	43.79	44.01
Bosque	45.93	48.91	48.91	58.26	60.12

Cuadro 5.16.- Tiempo necesario al que se obtiene la Infiltración Final con la intensidad de simulación 3

Tipo de Vegetación	Intensidad de Simulación 3				
	Tiempo Teórico (Minutos)				
	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5
MDM	44.25	43.05	39.43	42.38	40.38
Pastizal	59.95	45.66	48.54	40.58	42.86
Agricultura	43.46	42.47	41.85	36.30	41.02
MDS	50.94	49.89	42.11	53.25	40.31
Bosque	60.00	59.50	41.94	43.15	54.73

### V.9 Regresión Lineal Múltiple “Stepwise”

Los grupos de variables que contribuyeron al incremento de la Infiltración Final, en los diferentes valores de tiempo acumulado se presentan en el Cuadro 5.22 y 5.23.

Cuadro 5.17.- Valores del coeficiente de determinación de las variables cualitativas que influyen en la infiltración final en los diferentes grupos de vegetación.

Variables	Intensidades		
	1	2	3
Contenido de Arena	0.20 **		
Contenido de Limo	0.28 *		
Contenido de Mantillo		0.30**	
Cobertura de Pedregosidad		0.19**	
Densidad Aparente			0.10*

\*Significativo

\*\*Altamente significativo

Cuadro 5.18.- Valores del Coeficiente de determinación que influyen en la infiltración en los intervalos de tiempo de 3, 18 y 33 minutos.

Variables	Tiempo (Minutos)		
	3	18	33
Contenido de Arena	0.67**	0.57**	
Pendiente	0.09*		
Contenido de Mantillo			0.08*
Cobertura de Gravas		0.32*	
Densidad Aparente	0.91**		
Contenido de Humedad			0.22*
Cobertura de Herbáceas		0.10*	0.32**

\*Significativo

\*\*Altamente significativo

La infiltración final está determinada principalmente por el contenido de mantillo cobertura de gravas y la cobertura de Pedregosidad, factores que ayudan a mantener el agua en el suelo, ayudando así a tener mayor capacidad de infiltración, y a que estos componentes fungen como un obstáculo superficial, ayudando a que el agua sea mantenida mayor tiempo en el suelo, influyendo en la entrada y retención del recurso agua.

De igual manera la densidad aparente es un factor determinante para una mayor capacidad de infiltración, ya que, al haber una densidad alta, indica un contenido elevado de partículas granulares como la arena y los limos, partículas que tiene la habilidad de drenar hacia la sub superficie el agua.

## VI. CAPITULO DISCUSIÓN

De acuerdo al análisis estadístico realizado a las tasas de infiltración para cada uno de los tiempos aplicados en el presente estudio, con el tipo de vegetación y las distintas intensidades de lluvia se llega a la conclusión que no se acepta la hipótesis planteada en el presente estudio, es decir, la capacidad de Infiltración es diferente en los tipos de vegetación y la textura del suelo que se encuentran en el área bajo estudio.

Las mayores tasas de infiltración se obtuvieron en los terrenos con bosque y pastizal, este hecho lleva a considerar la importancia de la cubierta vegetal en el proceso de infiltración, ya que a mayor cubierta vegetal mayor capacidad de infiltración, tal y como lo documenta Gutiérrez C. J., *et al*, (1990), los cuáles indican que el tipo de vegetación influye más en la infiltración que las características del suelo; de igual manera los autores Aoki y Sereno (2006), mencionan que la importancia del contenido de materia orgánica para mayor capacidad de infiltración es de vital importancia, ya que como se obtuvo en el estudio a mayor contenido de mantillo, hay mayor ya que a cierto contenido de humus el agua es infiltrada uniformemente, ayudando a conservar el agua en el suelo, tal y como se encontró en este estudio.

El efecto contrario se presenta en la agricultura, donde se presentó la menor tasa de infiltración, dado que estas áreas no cuentan con cubierta vegetal y son áreas en abandono, generando que sus suelos se encuentren compactados con alteración de agregados, por tal motivo la capacidad de infiltración es menor en comparación con los tipos de vegetación del área de estudio, para reafirmar esto, los autores Aoki y Sereno (2006) en su estudio, indican que los suelos bajo monocultivo, provocan descenso de los tenores húmicos, disminuyendo el equilibrio entre macro y micro poros generando una desagregación e inclusive los autores Sfeir, A., M. *et al*, (2005), que estudiaron el efecto de la producción agropecuaria concluyen que la cobertura vegetal muestra una estrecha dependencia para mayores tasas de infiltración.

Los autores Gutiérrez y Luna (1989), determinaron en uno de sus estudios que la infiltrabilidad de los suelos están definidos en principio por la cubierta vegetal de

gramíneas, herbáceas, arbustos y hojarasca, factores que presentan una relación positiva en la infiltración; componentes que de igual manera influyeron en gran medida en el presente estudio, como el contenido de herbáceas y mantillo orgánico; estos protegen de la compactación por el impacto de lluvia, frenando el recorrido superficial del agua que está sobre la superficie, exponiendo más tiempo el agua a una posible infiltración.

Otro factor que es relevante para mayor capacidad de infiltración es la Pedregosidad, la cual fue evaluada como porción relativa de piedras y gravas en superficie, así como la textura del suelo, ya que estos parámetros regulan la tasa de infiltración para cada intensidad de lluvia, actuando como un retardante para el flujo de las corrientes de agua, permitiendo que el agua penetre en el suelo en un momento dado, resultado similar a lo reportado por Iriarte A., *et al*, (2000).

La influencia de la densidad aparente en el suelo sobre las tasas de infiltración en el presente estudio, viene a corroborar lo documentado por McGinty, W.A., F.E. Siemens and L.B. Merrill, (1979), los cuales concluyen que la densidad aparente, es un factor significativamente positivo para mayores tasas de infiltración; sin embargo la pendiente no es un factor que quede fuera de, ya que el grado de inclinación del terreno influye en el sentido de mantener durante más o menos tiempo una lámina de agua de cierto espesor sobre él, tal y como lo concluye Dunne, T., Zhang W., and Aubry B. F. (1991), autores que mencionan que la infiltración depende de la longitud de la pendiente.

El resultado concerniente a la producción de sedimentos en los diferentes tipos de vegetación se observa que las superficies desnudas y las que cuentan con menor porcentaje de cubierta vegetal está expuesta a choque directo de las gotas de lluvia, que también dan lugar a la compactación, disminuyendo la infiltración. Por otra parte, las partículas de agua dividen el suelo en agregados, arrastrándolos por la superficie haciendo que penetren al interior del suelo provocando que se bloquen poros y grietas reduciendo la permeabilidad y por tanto la intensidad de la infiltración.

Por el contrario la generación de sedimentos por tipo de vegetación indica diferencias significativas en la mayor concentración de sedimentos fue originada en terrenos de agricultura en abandono, ya que al no contar con la cobertura vegetal y dependiendo el tratamiento agrícola aplicado, aumenta la producción de sedimentos, así como las áreas de pastizal que son superficies de acumulación; tal y como lo reporta Gutiérrez Castillo J., (1990), que afirman que al dejar descubierto el suelo se queda este susceptible a ser arrastrado por el escurrimiento. De igual manera Andreazzini *et al* (2014), concluyó que la cobertura vegetal es una variable de alta sensibilidad y su pérdida incide diferencialmente según el contexto afectado.

La producción de sedimentos en sí están directamente relacionada con el nivel de escorrentía, la localización topográfica, pendiente, porcentaje de restos vegetales así como la fracción de arcillas del suelo, tal y como lo señala Fernández et al., (1996), ya que como se pudo observar en los resultados, los tipos de vegetación que no cuentan con cubierta vegetal, aunado a la cantidad de limos y arcillas dispuestos en el suelo, como lo fue en la agricultura y el pastizal estuvieron expuestos a la disgregación y arrastre de estos materiales por el agua.

Las diferencias encontradas se deben a los contenidos de mantillo orgánico, densidad aparente, cobertura de herbáceas, contenido de humedad, porcentaje de Pedregosidad y de gravas, así como los porcentajes de arena y limo presentes en el suelo, por lo cual son características que deben tomarse en consideración para trabajos posteriores a la hora de realizar trabajos similares ya que son variables que influyen en mayor grado en las tasas de infiltración.

## VII. CAPITULO CONCLUSIONES

No existe interacción entre las intensidades de simulación aplicadas y los tipos de vegetación, sin embargo, entre los diferentes tipos de vegetación y entre las distintas intensidades aplicadas hay diferencias significativas.

La intensidad que tuvo mayor infiltración fue la intensidad tres ( $38.33 \text{ cm hr}^{-1}$ ), concluyendo que si la intensidad de lluvia es superior a la capacidad de infiltración el agua aplicada no tendrá influencia sobre esta, sin embargo, si la capacidad de infiltración es mayor o proporcional a la intensidad aplicada la tasa de infiltración será mayor.

El tipo de vegetación que tiene mayor grado de infiltración es el Bosque y el Pastizal, dado a que son áreas que tiene mayor cubierta vegetal seguido del Matorral Desértico Submontano y el Matorral Desértico Micrófilo teniendo menor capacidad de infiltración la Agricultura.

La interacción entre las intensidades de simulación aplicadas y la producción de sedimentos en los diferentes tipos de vegetación no se dio, sin embargo, entre la producción de sedimentos en los diferentes tipos de vegetación y entre las distintas intensidades aplicadas hay diferencias significativas.

La mayor producción de sedimentos se encuentra en la Agricultura, seguida del Pastizal, mientras que los tipos de vegetación que generan un poco menos sedimentación son el Matorral Desértico Micrófilo, Matorral Desértico Submontano y Bosque.

En cuestión del tiempo teórico para llegar a la infiltración básica en el presente estudio no se alcanzó.

La infiltración final está influenciada principalmente por el contenido de mantillo orgánico, cobertura de herbáceas, cobertura de Pedregosidad y de gravas, los cuales son factores que dependen de la característica del terreno e influyen en la intensidad de infiltración al retardar la entrada del agua, por otra parte los contenidos



de arena y limo presentes en el suelo intervienen en la permeabilidad del agua, ya que la existencia de poros grandes reducen la tensión capilar, pero favorecen directamente la entrada de agua.

La densidad aparente alta genera la existencia de poros grandes, lo cual reduce la tensión capilar, pero favorece directamente la entrada de agua.

El contenido de humedad inicial del suelo juega un papel importante, ya que cuando los suelos están secos, al aplicar la lluvia se crea una fuerte capilaridad al humedecerse las capas superiores, y este efecto, se suma al de gravedad incrementando la intensidad de infiltración

## VIII. Literatura Citada

- Aoki, A. M. y R. Sereno.2006. Agriscienta. Vol. 23 (1): 23-31.
- Aparicio, Francisco. 2007.Fundamentos de Hidrología.Limusa.1°Edición.D.F. México.304p.
- Breña Puyol, A. F., Jacobo Villa, M. A., y Alarcón Lizardi, G.2006.Principios y Fundamento de la Hidrología Superficial. Universidad Autónoma Metropolitana. 1°Edición.D.F. México.287p
- Chow, T.V., Maidment, D. R., Mays, L.W.1994. Hidrología Aplicada.2° Edición. Bogotá. Colombia.101-120.
- CONAGUA. 2018.Servicio Meteorológico Nacional. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Cañón del Derramadero. CONAGUA. México, D.F.38p.
- CONAGUA. 2018.Servicio Meteorológico Nacional. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Saltillo Sur. CONAGUA. México, D.F.38p.
- De la Cruz, I. M. 2010.Tesis de Licenciatura. Madrid. España.251. Universidad Politécnica de Madrid.
- Duarte, O., y Díaz, E.2001. El Agua. Tecnología de Tierras y Agua. <http://www.fca.uner.edu.ar/files/academica/deptos/catedras/riego/Archivos/Cap%2001%20-%20Agua.pdf>.
- Duarte, O., y Díaz, E.2001. Infiltración. Tecnología de Tierras y Agua. [https://www.academia.edu/3994165/Tecnología\\_de\\_Tierras\\_y\\_Aguas\\_I\\_-\\_Infiltración](https://www.academia.edu/3994165/Tecnología_de_Tierras_y_Aguas_I_-_Infiltración).
- Duñez, A. J. Impacto del uso múltiple sobre la infiltrabilidad y la erosión en la cuenca "Paso de Piedra", Durango. Tesis Maestría. UAAAN. Saltillo. Coahuila.
- Dunne, T., W. Zhang and B. F. Aubry. 1991. Effects of rainfall, vegetation and microtopography on infiltration and runoff. Water Research 27: 2271-2285.
- FAO: Captación y Almacenamiento de Agua de Lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe.276p.
- Fernández Gambín, I., López Bermúdez, F. y Alonso Sarría, F.1996. Papeles de Geografía. N° 23-24: 127-145.
- Gutiérrez Castillo, J.; Beltrán López, S.; Zárate Lupercio, A.1990.Agraria. Vol. 6 (1):51- 65.
- Gutiérrez Castillo, J.; De Luna Romero, M. 1989. Agraria. Vol. 5 (2): 178-188.
- Gutiérrez Castillo, J., y Duñez Alanís, J.1988. Agraria. Vol. 4 (2): 169-180.
- Gutiérrez Castillo, J. y Salazar Cerda, M.A.1986. Agraria. Vol. 2 (1): 286- 302.

- Heras, R. 1970. Manual de Hidrología. Centro de Estudios Hidrográficos. 1ª Edición. Madrid. España. 276p.
- INEGI. 1975. Cartografía. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. D.F.
- Iriarte A., Simón M., García I., Barahona E., y Ortiz I. 2000. Edafología. Vol. 7 (2): 67-74.
- Jimena Andreazzini, M., Degiovanni Susana., Spalletti Pablo y Martín Irigoyen. 2014. Aqua LAC. Vol. 6 (1): 38-49.
- Kirkby. J.M., Hillslope hydrology. Universidad de Michigan. 2ª Edición. Michigan. 389p.
- McGinty, W.A., F.E. Siemens and L.B. Merrill. 1979. Influence of soil, vegetation and grazing management on infiltration rates and sediment production of Edwards Plateau rangeland. Journal of Range Management. 32: 33-37.
- Maza, J.A., y García Flores, M. 1988. Origen y propiedades de los Sedimentos. Manual de ingeniería. Sao Paulo. Brasil. 118p.
- Moore, E.E., Kingser, J.F., R. Pitney and J. Sainsbury, 1979. Livestock Grazing Management and water quality protection (state of the art reference document). EPA-91019-79-67 U.S. Bureau of land management. Denver Co., United States of America. 147p.
- Sánchez C.I., Stone, J., Jasso, I.R. 1999. Uso de Lluvia Artificial para parametrizar modelos de procesos hidrológicos. 1ª Edición. CENID-RASPA. D.F. México.
- Santiago J.L., Benito E. y Varela M.E. 2003. Edafología. Vol. 10(3): 181-185.
- Sfeir, A., M. Varni, M. Piscitelli, R.J. Crespo, A. Guadalupe, G. Studdert. 2005. Cuantificación de los procesos de infiltración, escurrimiento y pérdida de suelo por medio de simuladores de lluvia. En actas "XX Congreso Nacional del Agua 2005" y "III Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur" (en CD, 11 páginas), Mendoza, Mendoza. 10-13 de mayo de 2005.
- Steel, G.D.R., y Torrie, J.H. 1985. Bioestadística: Principios y Procedimientos. 2ª Edición. McGraw-Hill. Latinoamericana S.A. Bogotá. Colombia. 622p.
- Pieper, R.D. 1978. Measurement Techniques for Herbaceous and Shrubby vegetation. New México State University. United States of America. 148p.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., Hill, M. 2004. Propiedades Físicas del Suelo. Facultad de Agronomía. Universidad de la República. [\(http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf\)](http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf). (26 Enero 2019).
- Rojas, P.A., Márquez, G.A. 2017. Sedimentología. Universidad Autónoma Metropolitana. 1ª Edición. D.F. México. 60p.

## IX. Anexos

### X.1 Formato de simulación de lluvia

<b>Sitio</b>		<b>Altitud</b>	
<b>Fecha</b>		<b>Simulador</b>	
<b>Hora</b>		<b>Clave Sedimentos</b>	
<b>Pendiente</b>		<b>Clave suelo externo</b>	
<b>Coordenadas</b>			

<b>Tiempo</b>	<b>Vol. Escurrido</b>	<b>Dif. Escurrimiento</b>
<b>1</b>		
<b>3</b>		
<b>8</b>		
<b>13</b>		
<b>18</b>		
<b>23</b>		
<b>28</b>		
<b>33</b>		
<b>38</b>		

<b>Tiempo en segundos</b>	
Agua en detención	
Inicio de Goteo	
Inicio de escurrimiento	
Final de escurrimiento	
Final goteo	
Vol. Agua en tránsito	

<b><u>Cobertura Interna</u></b>	
<u>Gramíneas</u>	
<u>Herbáceas</u>	
<u>Arbustivas</u>	
<u>Hojarasca</u>	
<u>Pedregosidad</u>	
<u>Gravas</u>	
<u>Suelo desnudo</u>	
<u>Mantillo</u>	

### Observaciones

---



---



---



---

## X.2 Tasas de Infiltración

Tasas de Infiltración por Unidad de Vegetación obtenidas en campo.

### IX.2.1 Bosque

Cuadro 5.1.- Tasas de infiltración en cm/hora con la intensidad de simulación 1.

<b>Intensidad 1</b>					
<b>Tiempo</b>	<b>Sitio 1</b>	<b>Sitio 2</b>	<b>Sitio 3</b>	<b>Sitio 4</b>	<b>Sitio 5</b>
1	28.30	28.17	28.33	28.33	28.30
3	28.23	27.66	28.30	28.22	28.11
5	28.10	25.33	27.76	26.91	27.79
8	28.02	24.36	27.63	23.69	27.71
13	28.00	24.05	27.85	23.71	27.72
18	28.25	24.27	27.63	23.85	27.78
23	28.08	24.64	27.39	23.92	27.81
28	28.00	24.94	27.10	24.00	28.08
33	28.03	24.97	27.24	24.42	27.96

Cuadro 5.2.- Tasas de infiltración en cm/hora con la intensidad de simulación 2.

<b>Intensidad 2</b>					
<b>Tiempo</b>	<b>Sitio 1</b>	<b>Sitio 2</b>	<b>Sitio 3</b>	<b>Sitio 4</b>	<b>Sitio 5</b>
1	33.01	32.87	33.12	33.12	33.07
3	31.10	31.92	32.76	33.00	32.79
5	27.95	28.49	30.32	31.34	32.86
8	25.35	26.47	27.69	29.82	32.97
13	25.60	26.63	27.69	29.60	32.94
18	25.82	26.35	27.16	29.50	32.94
23	25.89	26.13	26.72	30.22	32.91
28	24.73	27.44	26.22	30.50	32.75
33	24.36	26.66	26.38	30.00	32.80

Cuadro 5.3.- Tasas de infiltración en cm/hora con la intensidad de simulación 3.

<b>Intensidad 3</b>					
<b>Tiempo</b>	<b>Sitio 1</b>	<b>Sitio 2</b>	<b>Sitio 3</b>	<b>Sitio 4</b>	<b>Sitio 5</b>
1	38.33	38.33	33.12	37.95	38.31
3	38.26	38.31	32.58	36.98	37.21
5	37.88	37.43	28.06	32.40	34.36
8	37.58	35.86	23.79	26.67	31.89
13	37.60	35.46	23.83	26.63	32.31
18	37.86	35.92	23.35	26.52	31.74
23	37.91	35.99	22.72	26.49	32.56
28	36.69	35.86	22.55	26.77	33.22
33	36.11	35.77	22.10	26.89	32.89

## X.2.2 Pastizal

Cuadro 5.4.- Tasas de infiltración en cm/hora con la intensidad de simulación 1.

<b>Intensidad 1</b>					
<b>Tiempo</b>	<b>Sitio 1</b>	<b>Sitio 2</b>	<b>Sitio 3</b>	<b>Sitio 4</b>	<b>Sitio 5</b>
1	28.330	28.330	28.180	28.264	28.330
3	28.152	28.330	27.093	28.189	28.255
5	25.593	26.493	26.680	28.077	27.918
8	25.255	25.518	23.361	27.533	27.252
13	22.643	25.299	24.158	25.721	27.268
23	24.705	24.971	22.096	27.268	27.111
28	23.580	23.611	23.330	27.080	26.502
33	23.189	24.080	25.361	26.158	26.408

Cuadro 5.5.- Tasas de infiltración en cm/hora con la intensidad de simulación 2.

<b>Intensidad 2</b>					
<b>Tiempo</b>	<b>Sitio 1</b>	<b>Sitio 2</b>	<b>Sitio 3</b>	<b>Sitio 4</b>	<b>Sitio 5</b>
1	33.160	33.123	33.104	33.158	33.160
3	33.141	31.810	33.113	33.029	32.354
5	32.616	28.248	28.613	27.685	26.804
8	30.035	24.660	20.191	20.535	22.098
13	29.691	25.316	24.629	20.066	21.941
23	29.691	25.410	26.144	19.910	21.504
28	26.330	25.441	26.379	19.879	22.754
33	28.330	24.080	27.066	21.629	22.816

Cuadro 5.6.- Tasas de infiltración en cm/hora con la intensidad de simulación 3.

<b>Intensidad 3</b>					
<b>Tiempo</b>	<b>Sitio 1</b>	<b>Sitio 2</b>	<b>Sitio 3</b>	<b>Sitio 4</b>	<b>Sitio 5</b>
1	38.328	38.330	38.302	38.330	38.330
3	38.278	35.686	37.993	37.336	36.689
5	37.558	30.221	35.124	32.836	32.321
8	36.903	24.502	33.549	29.111	27.580
13	36.868	25.674	32.189	30.736	28.596
23	36.896	24.924	32.705	27.643	27.252
28	35.124	25.002	32.924	31.861	26.689
33	33.549	25.018	32.299	30.143	26.205

### X.2.3 Agricultura

Cuadro 5.7.- Tasas de infiltración en cm/hora con la intensidad de simulación 1.

<b>Intensidad 1</b>					
<b>Tiempo</b>	<b>Sitio 1</b>	<b>Sitio 2</b>	<b>Sitio 3</b>	<b>Sitio 4</b>	<b>Sitio 5</b>
1	28.33	28.26	28.33	28.33	28.91
3	28.17	27.93	28.26	27.89	27.82
5	27.86	27.48	26.76	27.44	27.48
8	26.85	26.69	23.81	25.08	25.46
13	24.60	26.55	23.67	23.30	22.99
18	24.89	23.35	23.61	20.85	22.88
23	25.55	23.39	23.60	22.92	23.12
28	24.69	25.42	23.60	22.94	22.34
33	26.05	22.86	23.96	23.00	21.83

Cuadro 5.8.- Tasas de infiltración en cm/hora con la intensidad de simulación 2.

<b>Intensidad 2</b>					
<b>Tiempo</b>	<b>Sitio 1</b>	<b>Sitio 2</b>	<b>Sitio 3</b>	<b>Sitio 4</b>	<b>Sitio 5</b>
1	33.16	33.08	33.02	33.11	32.67
3	33.15	32.49	31.92	32.17	28.56
5	30.99	29.62	27.54	27.09	23.99
8	26.88	27.19	22.22	23.38	23.67
13	23.94	27.69	22.19	22.79	24.98
18	24.85	26.79	21.13	23.07	24.45
23	25.94	26.00	20.69	23.00	25.12
28	24.29	27.16	28.91	22.91	25.00
33	25.16	26.66	21.72	23.22	24.88



Cuadro 5.9.- Tasas de infiltración en cm/hora con la intensidad de simulación 3.

<b>Intensidad 3</b>					
<b>Tiempo</b>	<b>Sitio 1</b>	<b>Sitio 2</b>	<b>Sitio 3</b>	<b>Sitio 4</b>	<b>Sitio 5</b>
1	38.33	38.30	38.21	38.31	38.91
3	38.08	36.40	36.95	36.59	37.89
5	33.49	30.81	33.38	32.07	31.45
8	29.11	27.52	27.74	28.21	25.88
13	26.94	25.27	27.49	22.42	25.69
18	28.25	25.17	25.99	24.80	25.44
23	28.02	28.17	25.89	25.64	25.34
28	26.99	26.14	26.55	25.71	24.78
33	29.05	25.71	26.67	24.79	24.65

#### **X 2.4 Matorral Desértico Submontano**

Cuadro 5.10.- Tasas de infiltración en cm/hora con la intensidad de simulación 1.

<b>Intensidad 1</b>					
<b>Tiempo</b>	<b>Sitio 1</b>	<b>Sitio 2</b>	<b>Sitio 3</b>	<b>Sitio 4</b>	<b>Sitio 5</b>
1	28.33	28.29	28.29	28.33	28.31
3	26.70	28.25	28.26	28.33	27.52
5	25.96	26.75	27.28	27.39	27.28
8	22.52	23.47	24.55	24.10	25.86
13	23.89	23.36	25.52	23.69	22.99
18	23.17	23.74	23.64	24.60	22.28
23	23.00	23.81	22.75	25.35	23.02
28	23.06	23.66	23.58	25.21	22.11
33	23.11	23.22	23.92	25.13	21.64

Cuadro 5.11.- Tasas de infiltración en cm/hora con la intensidad de simulación 2.

<b>Intensidad 2</b>					
<b>Tiempo</b>	<b>Sitio 1</b>	<b>Sitio 2</b>	<b>Sitio 3</b>	<b>Sitio 4</b>	<b>Sitio 5</b>
1	33.16	33.03	33.11	33.14	33.12
3	32.05	32.79	32.64	32.36	32.28
5	27.97	32.45	28.68	29.22	28.57
8	23.32	27.88	23.88	23.99	23.94
13	24.19	24.41	24.00	24.82	23.97
18	24.91	26.19	24.66	24.29	24.38
23	25.00	26.63	24.85	24.72	24.79
28	24.85	25.33	23.66	24.21	25.22
33	24.77	24.22	22.11	23.88	25.00

Cuadro 5.12.- Tasas de infiltración en cm/hora con la intensidad de simulación 3.

<b>Intensidad 3</b>					
<b>Tiempo</b>	<b>Sitio 1</b>	<b>Sitio 2</b>	<b>Sitio 3</b>	<b>Sitio 4</b>	<b>Sitio 5</b>
1	38.31	38.28	38.32	38.33	38.31
3	37.56	38.03	38.03	38.28	36.39
5	34.88	34.77	32.07	36.49	31.04
8	32.46	32.11	27.86	34.67	25.42
13	32.49	32.11	28.71	34.11	25.41
18	32.58	32.21	28.11	33.33	25.58
23	32.23	32.39	27.39	33.30	25.74
28	31.34	32.00	27.02	33.27	24.52
33	31.11	31.78	26.99	32.42	24.45

## X 2.5 Matorral Desértico Micrófilo

Cuadro 5.13.- Tasas de infiltración en cm/hora con la intensidad de simulación 1.

<b>Intensidad 1</b>					
<b>Tiempo</b>	<b>Sitio 1</b>	<b>Sitio 2</b>	<b>Sitio 3</b>	<b>Sitio 4</b>	<b>Sitio 5</b>
1	28.33	28.33	28.33	28.33	28.33
3	28.22	27.90	28.27	28.30	28.29
5	27.17	24.62	28.14	28.27	26.99
8	26.21	21.36	28.10	26.91	25.77
13	25.99	21.08	28.25	24.91	27.49
18	26.02	22.17	28.41	24.60	25.13
23	26.61	24.39	28.36	24.55	21.99
28	26.69	23.74	28.38	24.00	22.64

Cuadro 5.14.- Tasas de infiltración en cm/hora con la intensidad de simulación 2.

<b>Intensidad 2</b>					
<b>Tiempo</b>	<b>Sitio 1</b>	<b>Sitio 2</b>	<b>Sitio 3</b>	<b>Sitio 4</b>	<b>Sitio 5</b>
1	32.94	33.16	33.12	33.11	33.10
3	32.13	33.02	32.49	32.39	31.34
5	27.99	27.63	27.31	27.69	27.22
8	24.63	22.41	23.10	26.13	17.13
13	26.16	20.75	25.38	24.75	11.79
18	27.22	20.91	26.55	24.32	16.86
23	29.41	29.22	26.57	23.94	18.50
28	29.38	28.57	26.64	23.50	18.68
33	28.98	27.99	26.00	25.74	18.34

Cuadro 5.15.- Tasas de infiltración en cm/hora con la intensidad de simulación 3.

<b>Intensidad 3</b>					
<b>Tiempo</b>	<b>Sitio 1</b>	<b>Sitio 2</b>	<b>Sitio 3</b>	<b>Sitio 4</b>	<b>Sitio 5</b>
1	38.33	38.33	38.26	38.31	38.30
3	37.81	37.64	36.91	38.03	36.68
5	33.64	33.45	30.29	33.55	31.92
8	29.11	28.96	27.89	29.89	27.83
13	28.89	28.71	26.45	27.71	28.80
18	28.88	27.49	25.02	27.02	25.17
23	28.89	27.78	25.02	26.11	23.47
28	28.89	27.61	24.89	26.14	26.14
33	27.89	27.05	24.99	29.08	25.65

### X.3 Clase textural

Cuadro 5.16.- Clase textural en los sitios de muestreo.

Tipo de Vegetación	Sitio	Textura	Tipo de Suelo
Pastizal	1	Franco Arcillo Arenoso	Textura Gruesa
Matorral Desértico Micrófilo	2	Franco Arenoso	Textura Moderadamente Gruesa
Matorral Desértico Micrófilo	3	Franco	Textura Mediana
Matorral Desértico Micrófilo	4	Franco Arenoso	Textura Moderadamente Gruesa
Bosque	5	Arena	Textura Gruesa
Matorral Desértico Submontano	6	Arenoso Franco	Textura Gruesa
Matorral Desértico Submontano	7	Franco Arenoso	Textura Moderadamente Gruesa
Matorral Desértico Submontano	8	Franco	Textura Mediana
Matorral Desértico Submontano	9	Franco	Textura Mediana
Agricultura	10	Franco Arenoso	Textura Moderadamente Gruesa
Matorral Desértico Submontano	11	Franco Arenoso	Textura Moderadamente Gruesa
Agricultura	12	Arena	Textura Gruesa
Pastizal	13	Franco Arenoso	Textura Moderadamente Gruesa
Agricultura	14	Arena	Textura Gruesa
Agricultura	15	Arena	Textura Gruesa
Matorral Desértico Micrófilo	16	Arena	Textura Gruesa
Matorral Desértico Micrófilo	17	Arena	Textura Gruesa
Pastizal	18	Franco Arenoso	Textura Gruesa
Pastizal	19	Arenoso Franco	Textura Gruesa
Pastizal	20	Franco Arenoso	Textura Moderadamente Gruesa
Bosque	21	Franco Arenoso	Textura Moderadamente Gruesa
Bosque	22	Arenoso Franco	Textura Gruesa
Bosque	23	Arenoso Franco	Textura Gruesa
Bosque	24	Arenoso Franco	Textura Gruesa
Agricultura	25	Franco Arenoso	Textura Moderadamente Gruesa