

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL



Producción de Sedimentos de Suelo en Predios con Diferente Condición de
Manejo en el Sureste del Municipio de Saltillo, Coahuila.

Por:

LUIS MIGUEL ESPAÑA FLORES

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México.

Junio 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

Producción de Sedimentos de Suelo en Predios con Diferente Condición de
Manejo en el Sureste del Municipio de Saltillo, Coahuila.

Por:

LUIS MIGUEL ESPAÑA FLORES

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobado por el Comité de Asesoría:



M.C. José Aniseto Díaz Balderas
Asesor Principal



Dr. Alejandro Zárate Lupericio
Coasesor



M.C. Melchor García Valdez
Coasesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo Coahuila, México.

Junio 2019



Dedicatoria

A mis padres

Esperanza Flores Hernández y Nicolas España Arteaga (†); a mi padre por enseñarme a trabajar para llegar a ser o adquirir lo que se desea, a mi madre por darme amor, confianza, inculcarme valores y virtudes para ser mejor persona cada día, por su apoyo incondicional en cada uno de los pasos que he dado, así como estar en cada uno de mis fracasos como mis triunfos, además enseñarme que ante cada caída no es un fracaso sino solo una enseñanza de vida y no decaer ante cada situación no deseada, los dos por ser instructores de mi vida.

A mis hermanas (o)

Nancy España Flores, Valeria España Flores, Yeimi Itzel España Flores y Jesús Suriel Flores Hernández; cada uno de ustedes forman parte de mi vida, siempre serán compañeros de mi vida, por escucharme, aconsejarme cuando necesito de ustedes, a ti Nancy porque con tu ejemplo de trabajar demuestras y enseñas, a ti Valeria por cada palabra y acción de hacer lo correcto para mejorar la familia y siempre estar ahí cuando necesito de ti, a Yeimi por hacerme participe de tu pequeña familia y a ti hijo mío Suriel mi hermanito más pequeño aun no sabes que es vivir pero me haces participe de tu amor y cariño incondicional de tu infancia, espero nunca defraudarlos y estar siempre presente en su vida.

A mis tíos

Victoria Flores Hernández e Isidro Reséndiz Estrada, por hacerme participe de su familia y tratarme como un hijo más, además de apoyarme cuando más necesite de un hogar, de enseñarme valores y un oficio más para poder salir adelante.

A mi hija

Dalia España Covarrubias; por llegar a mi vida cuando más necesitaba un motivo, un motor para seguir, porque cada día me das una sonrisa que conquista, una mirada que cautiva, un sonido tuyo que endulza mis oídos, por ser lo más grande que amo y amare día a día de mi vida, espero ser el padre ideal.

Agradecimientos

A dios: por brindarme paciencia y valor ante cada dificultad que se presentan a cada paso que doy.

A mi “Alma Mater” la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro: por darme la oportunidad de formar parte de tus egresados, por brindarme servicios de calidad y formarme profesionalmente para poder brindar un buen servicio profesional las personas que lo necesiten.

A los profesores del Departamento Forestal: por compartir sus conocimientos en cada una de sus sesiones de clase, además de permitir ser más que profesores amigos para satisfacer cualquier duda y aconsejarme para ser un mejor profesionista.

A mis asesores: al M. C. José Aniseto Díaz Balderas, por su tiempo y apoyo incondicional, su dedicación, motivación, asesoría que brindo para la elaboración del presente documento, además de brindarme consejos para mejorar cada día como persona y profesionista.

Dr. Alejandro Zarate Lupercio, por su apoyo, asesoría y dedicación que me brindo para enriquecer el presente trabajo, además de aportación de ideas.

M. C. Melchor García Valdez, por brindar su tiempo en la revisión del trabajo, además de incluir sugerencias para mejorar el documento.

A la generación CXXV, porque cada uno de ustedes brindo su amistad sin esperar nada a cambio y me hizo partícipe de momentos de su vida.

A Deysi Gutiérrez Noyola y Jesús Pérez Díaz, por brindarme su amistad incondicional, además de participar en cada una de las evaluaciones y recolecciones de muestras en campo, porque sin ustedes y su apoyo incondicional no se hubiera podido realizar el presente trabajo.

A la Asociación PRONATURA NORESTE, por brindarme las comodidades de sus instalaciones en el predio Loma del Gorrión, además de permitir poder realizar el trabajo de campo en el predio sin ninguna restricción.

Al Dr. Mauricio de la Maza Benignos, por facilitarme y otorgarme libre acceso al predio y sus instalaciones, por su interés en la elaboración del presente trabajo dentro del predio Loma del Gorrión.

Al Biólogo Jesús Salazar Ortiz, por su apoyo incondicional durante la estancia en el predio Loma del Gorrión, además de sus atenciones para poder socializar con los ejidatarios de El Cercado y así poder realizar satisfactoriamente el trabajo en campo.

Al Ing. Gil Cabrera, por su amistad y confianza brindada durante mi formación profesional, y ser un buen amigo.

A María de los Angeles Covarrubias González, que ha sido una amiga incondicional durante mi estancia en la universidad y ahora después de haber egresado ella se ha convertido en mi esposa, gracias María te agradezco por formar parte de mi vida y mi formación profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO.....	i
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	vii
I. Introducción	1
II. Objetivo	4
2.1 Objetivo General	4
2.2 Objetivos Específicos.....	4
2.3 Hipótesis	4
III. Revisión de Literatura	5
3.1 Recurso suelo	5
3.2 Suelo forestal.....	5
3.3 Importancia del suelo	6
3.4 Propiedades del Suelo.....	6
3.4.1 Propiedades químicas	6
3.4.2 Propiedades físicas	8
3.4.2.1 Textura	8
3.4.2.2 Estructura	8
3.4.2.3 Color del suelo	9
3.4.2.4 Porosidad	10
3.4.2.6 Profundidad	11
3.4.2.7 Densidad aparente	12
3.5 Degradación del suelo	13
3.5.1 Tipos de Degradación.....	13
3.5.1.1 Degradación física del suelo	13
3.5.1.2 Degradación química	15
3.5.1.3 Degradación biológica	15
3.6 Erosión.....	16
3.6.1 Tipos de erosión	16
3.6.1.1 Erosión hídrica	16
3.6.1.2 Erosión por salpicadura.....	17
3.6.1.3 Erosión laminar	18
3.6.1.4 Erosión por surcos	18
3.6.1.5 Erosión en cárcavas.....	19
3.6.1.6 Erosión por remoción o movimientos en masa.....	20

3.6.1.7 Erosión eólica.....	20
3.7 Métodos de Evaluación de la Erosión.....	21
3.7.1 Métodos indirectos.....	21
3.7.2 Métodos directos	22
3.7.3 Estimación	23
3.7.3.1 Parcelas de escurrimiento.....	23
3.7.3.2 Simulación de lluvia.....	23
3.8 Agentes que actúan en la erosión.....	24
3.9 Lluvia y escurrimiento en el suelo	24
3.9.1 Acción de la lluvia en el suelo.....	26
3.9.2 Acción del escurrimiento en el suelo	27
3.10 Agentes amortizadores de la acción de la lluvia y el escurrimiento en el suelo	28
3.11 Estimaciones de la pérdida de suelo por la erosión hídrica superficial	30
3.12 Estimaciones para suelos forestales.....	30
3.13 Simulación de lluvia	32
3.14 Intensidad de la lluvia	33
3.14.1 Ventajas de la simulación de lluvia	33
3.14.2 Desventajas de la simulación de lluvia	34
3.15 Trabajos a fines	35
IV. Materiales y Métodos	37
4.1 Localización del área de estudio.....	37
4.1.1 Loma del Gorrión	37
4.1.1 Clima	39
4.1.2 Suelo	39
4.1.3 Vegetación.....	40
4.1.4 Área de Conservación	42
4.1.5 Área de libre pastoreo	43
4.1.6 Condiciones topográficas	43
4.1.7 Condiciones topográfica de Ladera	43
4.1.8 Condición topográfica Plan.....	44
4.1.9 Distribución de las parcelas por condición.....	44
4.1.10 Materiales y equipo del trabajo de campo	45
4.2 Simulación de lluvia	48
4.3 Toma de muestras	52
4.4 Trabajo en laboratorio.....	55
4.5 Diseño experimental	57
4.6 Análisis estadístico	59
V. Resultados.....	61
5.1 Producción de sedimentos por condición de manejo.....	61

5.2 Producción de sedimentos por condición topográfica dentro del área de conservación.....	62
5.3 Producción de sedimentos por condición topográfica dentro del área de libre pastoreo.....	64
5.4 Producción de sedimentos entre condiciones topográficas y condiciones de manejo.	67
5.5 Producción de sedimentos por intervalos de tiempo dentro del área de conservación.....	69
5.6 Producción de sedimentos por intervalos de tiempo dentro del área de libre pastoreo.....	71
VI. Conclusiones.....	72
VII. Literatura Citada.....	74
VIII. Anexos	88

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Materiales, herramienta y equipo utilizado en la investigación.....	46
Cuadro No. 2 Representación del diseño experimental, así como la especificación de la nomenclatura asignada en cada muestra recolectada.	58
Cuadro 3. Comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) en las dos áreas de manejo	61
Cuadro 4. Comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) dentro de la condición topográfica en el área que se encuentra bajo manejo.	63
Cuadro 5. Comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$), dentro de la condición topográfica en el área que se encuentra en libre pastoreo.	65
Cuadro 6. Comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$), para las dos condiciones de manejo, analizando la comparación en todas las medias obtenidas.....	67
Cuadro 7. Comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$), dentro del área que tiene un manejo, en cada intervalo de tiempo.	69
Cuadro 8. Comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$), para el área de libre pastoreo, en cada intervalo de tiempo.	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio Loma del Gorrión, Saltillo, Coahuila (elaboración propia).	38
Figura 2. Clasificación del tipo de suelo que predomina en el área de estudio.....	40
Figura 3. Tipo de vegetación y uso de suelo predominante en el área de estudio Loma del Gorrión.	42
Figura 4. Distribución de los sitios de muestreo en cada condición de manejo en el Predio Loma el Gorrión y el ejido el Cercado, Saltillo, Coahuila (Elaboración propia).	47
Figura 5. Llenado del contenedor de 1000 litros de agua.	48
Figura 6. Colocación del simulador en función de la pendiente predominante (a); Colocación del bastidor (b).	49
Figura 7. Boquilla primatica, que dirige el escurrimiento hacia un colector de agua.	49
Figura 8. Observación del nivel gota para su mejor distribución de las gotas.....	50
Figura 9. Distribución igualitaria de las gotas al suministrar agua al panel	50
Figura 10. Conexión del contenedor de agua a la Motobomba, y de esta al simulador.....	51
Figura 11. Observación del manómetro	52
Figura 12. Registro de la cantidad de agua inyectada al panel del simulador.	52
Figura 13. Anotación del registro de agua cada cinco minutos durante media hora.	53
Figura 14. Recolección del escurrimiento de agua de 30 minutos de simulación (a); Medición del agua recolectada de 30 minutos de simulación (b).	54
Figura 15. Recolección de la muestra de agua con sedimentos generados durante 30 minutos de lluvia simulada.	54

Figura 16. Vaciado de la muestra de campo en el vaso de precipitado (a); Colocación de la malla de asbesto para evitar el agrietamiento del vaso de precipitado (b).	55
Figura 17. Inicio de la ebullición del agua que contiene la muestra de suelo (a); Término de la evaporación del agua al 100 % (b).	56
Figuras 18. Destarado de cada una de las muestras de suelo (a y b).	56
Figura 19. Concentración de sedimentos en cada condición de manejo de acuerdo a su posición topográfica.	62
Figura 20. Concentración de sedimentos en la posición topográfica dentro del área de conservación en cada intervalo de tiempo.	63
Figura 21. Concentración de sedimentos por posición topográfica dentro del área de libre pastoreo en cada intervalo de tiempo.	65

RESUMEN

La erosión hídrica es uno de los principales problemas ambientales, particularmente en la modificación del paisaje, también las actividades de producción del hombre han precipitado el proceso de erosión, porque la erosión superficial en condiciones naturales es un proceso lento en regiones forestales, así como en regiones montañosas, donde su barrera es la cubierta vegetal así como la hojarasca, pastos de cuerpo grande, donde esta absorbe el impacto de las gotas de lluvia.

El presente estudio de investigación se realizó en terrenos del ejido El Cercado y del Área Natural Voluntaria (ANV) Loma del Gorrión, debido a su diferente manejo fueron las ideales para la realización del trabajo de investigación, ya que terrenos del ejido se encuentra bajo presión de pastoreo de todo tipo de animales y el ANV se encuentra excluido de todo tipo de pastoreo, dejando que realice sus procesos de sucesión ecológica.

Para cumplir con los objetivos del presente trabajo se realizó la selección de áreas de muestreo, donde estas tuvieran condiciones topográficas similares, una vez identificadas las áreas, se realizó un mapa de malla que representara un metro por un metro cada cuadro en cada una de las áreas seleccionadas, se continuó con la selección de los sitios por medio de una aleatorización de los sitios, obteniéndose un total de ocho sitios por cada condición de manejo.

Se continuó con la realización de simulación de lluvia en cada sitio resultante de la aleatorización; durante el proceso de la simulación se tomaron muestras de agua escurrida con sedimento, en intervalos de cinco minutos.

Ya en el laboratorio del Departamento Forestal de la UAAAN, se realizó el proceso de volatilización del soluto, donde la evaporación fue del agua, dejando los residuos de suelo para su pesado.

Con los datos obtenidos de suelo se procedió a la captura en el programa STATISTICA 7, para realizar el análisis de varianza completamente aleatorio (ANOVA $\alpha = 0.05$) y obtener las medias y las pruebas de Tukey.

De acuerdo a la comparación de producción de sedimentos por condición de manejo, se encontraron diferencias altamente significativas ($P > 0.000001$); por lo que se realizó el análisis de pruebas de Tukey, separándolos en dos grupos.

En la producción de sedimentos por condición topográfica dentro del área de conservación, se encontró diferencias significativas entre las posiciones topográficas ($P > 0.011337$); al realizar el análisis de la prueba de Tukey, los separo con una media en condición de ladera de 2.76667 gr/l y en condición plana de 1.88333 gr/l.

En cuanto a los sedimentos en condición topográfica del área de libre pastoreo, se encontró diferencias altamente significativas ($P > 0.000001$), por lo que el análisis de Tukey determino que en ladera se obtuvo una media de 6.05000 gr/l y en condición plana una media de 14.866672 gr/l.

Se realizó un análisis factorial de dos por dos, para la producción de sedimentos entre condiciones topográficas y condiciones de manejo, observándose que hay una interacción altamente significativa entre los niveles de ambos factores ($P > 0.000001$), por lo tanto se realizó en análisis de medias de Tukey, el cual determino tres grupos, donde el primero es el área de manejo de conservación indicándolo como el grupo a tanto en la condición topográfica de ladera y plan, mientras que para el área de libre pastoreo lo determino el dos grupos, para ladera le adjudico en grupo b y para plan el grupo c.

Palabras clave: suelo forestal, erosión, energía cinética, simulador de lluvia, escurrimiento superficial, EUPS, sedimentos, análisis factorial.

ABSTRAC

The water erosion is one of the main environmental problems, particularly in the modification of the scenery, also the activities of production of the man have precipitated the erosion process, because the superficial erosion in natural conditions is a slow process in forest regions, as well as in mountainous regions, where its barrier is the vegetable covering as well as the fallen leaves, grasslands of big body, where this one absorbs the impact of the raindrops.

The present investigation study realized in areas of the common land El Cercado and of the Voluntary Natural Area (VNA) Loma del Gorrión, due to its different handling there were ideals for the achievement of the research work, since one finds areas of the common land under pressure of pasture of all kinds of animals and the VNA is excluded from all kinds of pasture, leaving that realizes its processes of ecological succession.

To expire with the targets of the present work there was realized the selection of areas of sampling, where these had similar topographic conditions, as soon as the areas were identified, there was realized a map of mesh that was representing one meter per one meter every picture in each of the chosen areas, was continued by the selection of the places by means of an aleatorización of the places, a whole of eight places being obtained by every handling condition.

It was continued by the achievement of simulation of rain in every place resultant from the aleatorización; during the process of the simulation there took samples of water drained with sediment, in intervals of five minutes.

Already in the laboratory of the Forest Department of the UAAAN, there was realized the process of volatilization of the soluto, where the evaporation was of the water, leaving the soil residues for its heavy one.

With the obtained soil information one proceeded to the apprehension in the program STATISTICA 7, to realize the completely random variance analysis (ANOVA $\alpha = 0.05$) and to obtain the averages and the Tukey tests.

In accordance with the comparison of production of sediments for handling condition, there were highly significant differences ($P > 0.000001$); by what there was realized the analysis of tests of Tukey, separating them in two groups.

In the sediments production for topographic condition inside the conservation area, one found significant differences between the topographic positions ($P > 0.011337$); on having realized the analysis of the test of Tukey, I separate them with an average in condition of hillside of 2.76667 gr/l and in flat condition of 1.88333 gr/l.

As for the sediments in topographic condition of the area of free pasture, one found highly significant differences ($P > 0.000001$), therefore the Tukey analysis determined that in hillside an average of 6.05000 was obtained gr/l and in flat condition an average of 14.866672 gr/l.

A factor analysis of two was realized by two, for the sediments production between topographic conditions and conditions of handling, being observed that there is a highly significant interaction between the levels of both factors ($P > 0.000001$), therefore it was realized in analysis of averages of Tukey, which determined three groups, where the first one is the area of handling of conservation indicating it like the group to so much in the topographic condition of hillside and plan, while for the area of free pasture I determine two groups, for hillside awarded him in group b and for plan the group c.

Key words: forest soil, erosion, kinetic energy, pretender of rain, superficial surface washing, EUPS, sediments, factor analysis.

I. Introducción

El suelo es un elemento indispensable para el desarrollo y la sobrevivencia sobre el planeta tierra, encuentra vinculado con prácticamente todas las actividades del hombre, desde la producción de bienes y servicios, hasta la construcción y desarrollo de culturas enteras (López, 2003). Para Guevara *et al.*, (2012) es el principal soporte de la vegetación, la infraestructura y el hábitat de la biodiversidad, participa de manera esencial en el funcionamiento de cualquier ecosistema. La FAO (2016) describe que el suelo, los bosques, el agua, así como también los yacimientos minerales, son un recurso que forma parte del capital natural, por otro lado Zinck, (2005) y Gardi *et al.*, (2014), hace referencia que se encuentra bajo presión de deterioro, derivada del crecimiento poblacional, así como de las formas de producción primaria. Se calcula que una capa de un centímetro de espesor de suelo puede tardar en formarse alrededor de cien años (Zinck, 2005).

La erosión es un proceso natural que se ha presentado en el tiempo. Las actividades de producción del hombre han acelerado dicho proceso, donde la erosión superficial en condiciones naturales es un proceso lento en regiones forestales, así como en regiones montañosas, donde su barrera es la cubierta vegetal así como la hojarasca, pastos de cuerpo grande, etc., donde esta absorbe el impacto de las gotas de lluvia (Pritchett, 1986).

Branson (1981); menciona que la erosión es la cantidad total de partículas del suelo retiradas de un área por la acción de salpicamiento de las gotas de lluvia o por la acción del viento; mientras que Kirkby y Morgan (1984) y Brooks (1991); refieren que la erosión del suelo es la remoción y transporte de las partículas de la superficie del suelo por efecto del agua y el viento, la cual comprende tres procesos: a) desprendimiento de partículas de suelo, b) transporte y suspensión de sedimentos y c) deposición o agregación de sedimentos.

INEGI (2014), da a conocer que en México el 52.86 % (1027611.50 km²) de la superficie territorial están afectados por la erosión hídrica; de los cuales 4934.87 km², presentan erosión en grado extremo, representando esto el 0.25 % de la superficie del país.

La erosión hídrica es uno de los principales problemas ambientales, particularmente en la modificación del paisaje (Toledo, 2006).

El 85 % de los suelos en México tienen más del 3 % de pendiente, esto favorece en la producción de sedimentos (Vergara *et al.*, 2005).

El agua es un agente activo en el proceso de erosión, mediante el impacto de la gota a la superficie del suelo (Becerra, 1999), esto hace más eficiente que en el momento del escurrimiento se desprenda el suelo con las energías que estas llevan consigo. Por lo anterior se dice que la pérdida de suelo tiene una estrecha relación con la lluvia (López, 2003).

El impacto de la gota de lluvia produce un efecto en el suelo, es ahí donde se desencadena el proceso de arrastre, siguiendo el transporte de sedimentos en la superficie del suelo, lo que provoca un roce (abrasión) con la superficie del suelo y así iniciar el proceso de erosión de tipo hídrica (Branson, 1981; Spurr y Barnes, 1973; Pritchett, 1986 y Brooks, 1991).

Para evaluar la pérdida de suelos por erosión hídrica en México, se presentan dificultades por la falta de información específica, además que la información que existe no está disponible y en algunas ocasiones no es adecuada; aunado a que en la mayoría de los casos no representa la diversidad de las condiciones edáficas, climáticas, topográficas y cobertura vegetal que se encuentra en el país, por tal motivo es necesario conocer la condición actual del suelo que constituye al ambiente (SEMARNAT-UACH, 2002).

Brooks (1991), especifica que los factores que afectan la erosión son: la cubierta vegetal, clima, topografía, características del suelo, el uso del suelo; siendo estos factores los que provoquen que la magnitud del impacto de la gota dependa exclusivamente de ellos y así controlar la producción de sedimentos. Holechek

(1981), caracteriza la producción de sedimentos como el problema principal, donde este es causado por el escurrimiento superficial, el cual es controlado por la cubierta vegetal.

Becerra (1999) menciona que, una vegetación densa supone una protección al suelo mediante la intercepción de la gota con el follaje y tallo, estas propiedades de la vegetación influyen en una reducción en la erosión hídrica en todas sus dimensiones y que también los residuos de vegetales agregados en el terreno (tallos y el follaje secos) representan un obstáculo que ayuda a reducir la velocidad de los escurrimientos y su capacidad erosiva.

Por otra parte, para evaluar el proceso de la erosión hídrica, algunos autores como Gutiérrez y Luna (1989) mencionan que la simulación de lluvia es una técnica que consiste en aplicar agua a parcelas experimentales (porciones de terreno), además de que ha sido utilizada en las últimas décadas con el fin de realizar estudios relacionados con los procesos de infiltración, escurrimiento superficial, intercepción y erosión. En la actualidad esta técnica es la más utilizada en los estudios de hidrología, ya que se pueden controlar las características de la lluvia y su duración.

En el ejido El Cercado, perteneciente al municipio de Saltillo, Coahuila, se encuentra ubicado el predio Loma del Gorrión, es una Reserva Natural Voluntaria (RNV), está se encuentra bajo manejo de conservación, no se realiza ningún tipo de acción antropogénica productiva, en dicho predio se realizó simulación de lluvia para determinar la producción de sedimentos en diferentes condiciones topográficas, así como también se realizó la misma actividad en terrenos del ejido que se encuentran, con presión de pastoreo, lo anterior para comparar la producción de sedimentos en estas áreas que se encuentran bajo diferentes condiciones de manejo.

II. Objetivo

2.1 Objetivo General

Comparar la producción de sedimentos de suelo en diferentes condiciones topográficas y entre predios con diferente manejo.

2.2 Objetivos Específicos

Determinar la producción de sedimentos de suelo mediante simulación de lluvia, en ladera y pie de monte dentro de un predio sujeto a protección.

Determinar la producción de sedimentos de suelo mediante simulación de lluvia, en ladera y pie de monte dentro de un predio con libre pastoreo.

Comparar la producción de sedimentos de suelo entre las condiciones topográficas, ladera y pie de monte dentro de cada condición de manejo y entre condiciones de manejo, mediante simulación de lluvia.

2.3 Hipótesis

Ho: La producción de sedimentos es igual entre las diferentes condiciones topográficas y en las diferentes condiciones de manejo.

III. Revisión de Literatura

3.1 Recurso suelo

El suelo es definido como un cuerpo que es formado por sólidos (material mineral y material orgánico), líquidos y gases que hay sobre la superficie de la tierra (Sposito, 1989, citado por Volke *et al.*, 2005).

Cepeda (1991) y Narro (2004), mencionan que el suelo es un sistema dinámico y complejo y que está conformado por partículas inorgánicas así como orgánicas, también de agua y aire; estas últimas, se encuentran de manera homogénea en la capa superficial.

Thompson y Troeh (1988), consideran que el suelo es un recurso natural que es formado durante un proceso lento, ya que el suelo es formado por la descomposición de la roca madre y el efecto de la modificación del clima y la ayuda en la descomposición con los microorganismos existentes en el área.

El suelo posee propiedades físicas y químicas, estas son las que permiten mantener la vegetación, una de sus características es de absorber y almacenar nutrientes orgánicos e inorgánicos (Narro, 2004).

Es considerado el elemento clave para el mantenimiento de la vida sobre la tierra, ya que es el principal soporte de la vegetación, infraestructura y el hábitat de la biodiversidad; así como esencial en el funcionamiento de cualquier ecosistema (Zinck, 2005; Guevara *et al.*, 2012; Gardi *et al.*, 2014). El suelo se encuentra bajo presión de deterioro derivada del crecimiento poblacional, así como de la de producción y consumo global (FAO, 2016).

3.2 Suelo forestal

Pritchett (1986), describe que un suelo forestal es cualquier suelo que se ha desarrollado bajo la influencia de una cubierta forestal, con esto se reconocen los efectos del arraigamiento profundo de los árboles, los organismos específicos que se relacionan con la vegetación así como la capa de *litter* y la lixiviación favorecida por los productos de su descomposición en la génesis del suelo. Por lo tanto se

considera que los suelos forestales cubren aproximadamente la mitad de la superficie terrestre.

3.3 Importancia del suelo

El suelo juega un papel fundamental en todos los procesos ecosistémicos, debido a las funciones que realiza y los servicios que brinda, el suelo se encuentra en constante formación ya que es lento se le considera un recurso natural no renovable, ya que es difícil y costoso recuperarlo. Por lo anterior la importancia y cuidado del suelo es vital, ya que forma parte de los ecosistemas, así como su participación en la proporción de servicios ambientales, soporte de la vegetación, así como ser el sostén principal de la producción de productos primarios indispensables para el sustento de la humanidad (CONAFOR, 2013).

FAO (2004), destaca la importancia de los suelos, ya que contienen más carbono que el que se encuentra en la vegetación establecida y dos veces más que el que se encuentra en la atmósfera; además que el secuestro o captura de carbono en el suelo disminuye su liberación hacia la atmósfera como CO_2 ya que es completamente estable, siendo este uno de los principales gases de efecto invernadero. No obstante, perder un porcentaje mínimo de carbono del suelo conlleva varios años.

El suelo es responsable de la recarga de mantos acuíferos, la regulación de la humedad de las partes altas hacia las bajas dentro de la cuenca (de las áreas forestales a las áreas agrícolas y también las zonas de población). Esta regulación es función de la salud de suelo, ya que suelos deteriorados o degradados no permiten la infiltración adecuada, así fomentando escurrimiento (CONAFOR, 2013).

3.4 Propiedades del Suelo

3.4.1 Propiedades químicas

CONAFOR (2013) y Pritchett (1986), consideran que las propiedades químicas de los suelos forestales por lo general se ha considerado que tienen menos influencia sobre el crecimiento de los árboles que las propiedades físicas del suelo.

CONAFOR (2013), destaca que las propiedades químicas que tienen mayor importancia son;

pH: que indica el grado de acidez o salinidad del suelo, donde influye en el desarrollo de la vegetación, interviniendo en la asimilación de los nutrientes, además de perturbar el crecimiento vegetal de dos maneras principales; perturba la disponibilidad de nutrientes y afecta el proceso fisiológico de absorción de nutrientes por parte de las raíces.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC): es la capacidad que tiene el suelo para el intercambio entre un catión en solución y un catión sobre cualquier material de superficie activa como lo es la arcilla o material orgánico. Los cationes que toman mayor importancia son los que tienen relación con vegetación: Calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), amonio (NH_4^+), estos nutrientes están involucrados directamente en el crecimiento de las plantas. Sodio (Na), hidrogeno (H), tienen efecto en la disponibilidad de los nutrientes y en la humedad.

Por otro lado Pritchett (1986), describe que las propiedades químicas del suelo, ha sido objeto de mayor demanda en atención en los últimos años, por lo tanto las clasifica de la siguiente manera:

Acidez del suelo: destaca el pH, describe que la mayoría de los suelos forestales se encuentran en una escala de pH de 3.5 a 6.5 aproximadamente, por lo tanto si los valores de pH se hallan por debajo de 3.5, el suelo se encuentra con ácidos libres.

Intercambio iónico: es el proceso reversible mediante el cual tanto cationes como los aniones se intercambian entre las fases del líquido y del suelo. Entonces el intercambio catiónico es de mayor importancia, ya que los minerales son absorbidos por las plantas en forma de cationes, tales como calcio, magnesio, potasio, amonio, sodio, aluminio, hierro e hidrogeno, y estos están cargados positivamente. Por otro lado el intercambio aniónico, es la retención de los aniones (fosfatos, sulfatos, cloruros y nitratos) en las superficies coloidales.

Elementos esenciales: son llamados así, porque son vitales para el ciclo vegetativo de las plantas, el nitrógeno, fósforo y potasio, son los nutrientes vegetales primarios, porque las plantas los consumen en grandes cantidades.

3.4.2 Propiedades físicas

3.4.2.1 Textura

Aguilar (2014); FAO (2016) y Ortiz (1990), describen a la textura como la propiedad física que se refiere a la proporción de cada una de las partículas elementales que lo constituyen, (arena, limo y arcilla).

Las proporciones de partículas existentes se refiere a los diferentes fragmentos sólidos del suelo, y son definidas de acuerdo al tamaño de las partículas de los minerales; las arenas tienen un rango que va desde 2 a 0.05 mm, para el limo consta de 0.05 a 0.002 mm, y las arcillas son menores de 0.002 mm (Jordán, 2006 y FAO, 2016).

Para determinar la clase textural de los suelos, se utiliza el triángulo de clasificación de texturas, en el que posee 12 áreas que definen un porcentaje de mezcla de arcilla, limo y arena en el suelo (Casanova, 2005; Aguilar, 2014).

La FAO (2016) enfatiza que la textura del suelo es una propiedad de gran importancia, ya que influye directamente en la productividad del suelo, por el efecto de la retención de agua, la facilidad de drenaje y la aireación del suelo (espacios vacíos para la circulación del aire y del agua).

3.4.2.2 Estructura

La estructura es el arreglo y la distribución de las partículas de arcilla, arena y limo en el suelo (Narro, 2004; FAO 2016); mientras que CONAFOR (2013) considera que es la capacidad para formar agregados naturales del suelo y que estos se dividan en fragmentos más pequeños, sin la intervención del hombre.

La estructura tiene relación con la infiltración del agua en el suelo, su drenaje, la aireación y el desarrollo de raíces, lo cual actúan en la productividad del suelo (Aguilera, 1996).

FAO (2016) destaca que cada tipo de partícula está unida en unidades llamados peds o agregados, éstos mantienen un sistema complejo por su conformación

espacial en el área. Narro (2004) considera que no existe una clasificación universal para detallar la estructura, para lo cual propone, que se determine mediante tres criterios (tipo, clase y categoría), con el fin de describir y clasificar su carácter representativo. Los criterios propuestos definen las características de los agregados; por lo tanto, los tipos de estructura se orienta en el aspecto y las formas de los pedos; la clase de estructuras se determinan por los tamaños de los agregados y la categoría de estructura se especifica como el grado de durabilidad, estabilidad y cohesividad de cada agregado (Casanova, 2005; Narro, 2004). Narro (2004) señala que de acuerdo a la forma de los agregados, se distinguen dos grandes tipos: los de estructura amorfa (su constitución es masiva, compacta, continua o de grano simple), y de estructura organizada; son agregados de forma definida (laminar, prismática, blocosa y esferoidal). Sin embargo los autores Thompson y Troeh (1988), indican un tercer tipo de agregado llamado estructura destruida (pastoso).

3.4.2.3 Color del suelo

CONAFOR (2013), explica que el color del suelo se relaciona con algunas propiedades físicas, químicas y biológicas. Además que mediante el color del suelo se puede identificar diferentes carencias y riquezas con las que cuenta; tal es el caso de los suelos moteados verde-azulados se relaciona con el mal drenaje, suelos que contengan colores rojizos presentan oxido de fierro, suelos con presencia de colores blanquecinos indican la presencia de carbonatos de calcio o de sales, así como contenido de pH alto y los suelos de colores negros muestran la presencia de materia orgánica.

Para Jordán (2006) el color del suelo permite relacionar características importantes del suelo, como su composición mineralógica, su edad o los procesos edáficos que tienen lugar, como la rubefacción (oxidación de los suelos), la acumulación de carbonatos, la presencia de materia orgánica humificada, también permite diferenciar distintos tipos de horizontes de un mismo perfil o entre perfiles de distintos suelos.

Sin embargo la FAO (2009), define que el color del suelo se debe determinar bajo condiciones uniformes y las lecturas realizadas en la mañana y al anochecer no

son exactas, además la determinación del color por el mismo o diferente individuo a menudo puede ser inconsistente. Ya que el color del suelo es importante con respecto a muchas propiedades del suelo, incluido los contenidos de materia orgánica, el “barniz” o revestimiento y el estado de oxidación o reducción, y para la clasificación del suelo, se recomiendan las revisiones cruzadas y debe estar establecido en una base de rutina.

3.4.2.4 Porosidad

CONAFOR (2013) define la porosidad como la proporción del suelo que no es ocupada por partículas sólidas y que estos espacios están ocupados por agua y aire, y que esta propiedad tiene influencia en la capacidad de retención del agua, el drenaje y el crecimiento de las raíces de las especies vegetales que se establezcan

FAO (2016) describe que se refiere al porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos, el volumen del suelo está constituido por minerales sólidos (50%) y espacio poroso (50%), éste último, son espacios ocupados por agua y aire principalmente; además que esta propiedad está constituida por dos tipos de poros los macroporos y microporos que conectan e intercambiar aire, agua y gases que pueden circular o retenerse. La porosidad del suelo destaca su importancia ya que mantiene una excelente capacidad de aireación, permeabilidad y retención de agua.

Los tipos de poros son condicionados por la textura y la estructura del suelo, ya que los suelos arcillosos cuentan con poros pequeños (microporos), lo que hace que el movimiento de agua y del aire sea menor, provocando un aumento en la capacidad de retención de agua, mientras que en el suelo arenoso los macroporos propician que éstos movimientos sean mayores reduciendo la capacidad de retención del agua, aumentando la aireación y el drenaje. (Navarro y Navarro, 2013).

Aguilar (2014) indica que el volumen de espacio ocupado se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$P = \left(1 - \frac{Da}{Dr}\right) * 100$$

Dónde:

P = Porcentaje de espacios porosos

Da = Densidad aparente

Dr = Densidad real

3.4.2.5 Consistencia

FAO (2016), CONAFOR (2013), y Jordán (2006) especifican la consistencia del suelo como la resistencia que el suelo opone a la deformación o ruptura del suelo, para FAO (2009) y CONAFOR (2013) es el grado de cohesión o adherencia de la masa del suelo.

Jordán (2006) detalla que la consistencia depende de las fuerzas de cohesión que tienen lugar entre las partículas del suelo, y está relacionada con la estructura, la textura, la humedad o la cantidad y la naturaleza de los coloides del suelo (arcilla y materia orgánica), además que la consistencia expresa el estado físico de un suelo según su contenido en humedad; y la adhesividad se debe a la tensión superficial que se existe entre las partículas de suelo en estado húmedo, sin embargo, cuando el contenido de agua aumenta excesivamente, la adhesión tiende a disminuir.

FAO (2009) concreta que en la consistencia del suelo se incluye las propiedades del suelo como la friabilidad, plasticidad, adhesividad, y resistencia a la compresión, dependiendo en gran medida de la cantidad y tipo de arcilla, materia orgánica y contenido de humedad del suelo.

3.4.2.6 Profundidad

El espesor del suelo favorece la penetración de las raíces de las plantas, siendo estas en ocasiones limitadas por la roca madre, así como también por algunas capas endurecidas; la profundidad desempeña un papel de gran importancia en el manejo de los suelos (CONAFOR, 2013).

Rosas y Arribillaga (2013); SERFOR (2016) y García (2017), describen a la profundidad del suelo; como el espesor de las capas del suelo en donde las raíces de las plantas pueden penetrar fácilmente en busca de agua y nutrientes, para su correcto crecimiento. Es por eso que Rosas y Arribillaga (2013), considera que es una característica física importante, además que determina el volumen de agua que puede almacenar el suelo, por lo tanto está directamente relacionada a la profundidad del sitio.

García (2017), indica que en un suelo profundo, las plantas resisten mejor la sequía, ya que a más profundidad mayor capacidad de retención de humedad, aunque de igual manera, la planta puede usar los nutrimentos almacenados en los horizontes profundos del subsuelo, si éstos están al alcance de las raíces.

Bautista *et al.* (2004), menciona que la profundidad del suelo es una de las características físicas que se han propuesto como indicadores de calidad, ya que estima la productividad potencial y la erosión del suelo.

3.4.2.7 Densidad aparente

La densidad aparente es el peso seco del suelo entre el volumen total, incluyendo tanto sólidos como los poros (FAO, 2000; Narro, 2004; FAO, 2009; CONAFOR, 2013).

La densidad aparente ayuda en la caracterización de capas de suelo y al cálculo de su peso (CONAFOR, 2013), las unidades en las que se expresa son g/cm^3 o ton/m^3 (FAO, 2000; Narro, 2004).

FAO (2009), destaca que la densidad aparente es un parámetro importante para la descripción de la calidad del suelo y la función del ecosistema; si obtienes valores de densidad aparente altos indican un ambiente pobre para el crecimiento de raíces, aireación reducida, y cambios indeseables en la función hidrológica como la reducción de la infiltración del agua, y si obtienes valores de densidad aparente bajos (generalmente por debajo de 1.3 kg dm^3) indican generalmente una condición porosa del suelo.

Para su determinación se utiliza un cilindro de metal (con bordes afilados y volumen conocido), que se introduce en el suelo, posteriormente, el suelo se seca y se pesa; el valor obtenido se divide por el volumen del cilindro y el resultado representa el valor de la densidad aparente (Thompson, 1978).

3.5 Degradación del suelo

La degradación de los suelos, es un fenómeno que se presenta en todo el mundo, impactado a diferentes niveles en la sociedad (Lal, 1998).

FAO (2019), define a la degradación como un cambio de salud en el suelo, que se refleja en la disminución de la capacidad del ecosistema para producir bienes y servicios ambientales, tanto directos como indirectos. Puede ser de origen natural o humano, es el resultado de una compleja interacción de factores naturales, como el tipo de suelo, el relieve, la vegetación y el clima; de factores socioeconómicos como la densidad poblacional, tenencia de la tierra, las políticas ambientales y los usos y gestión del suelo (Gardi *et al.*, 2014).

INIA (2015), destaca que existe degradación del suelo en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Por lo tanto el impacto de estos fenómenos de degradación, conlleva a la degradación en la biología del suelo y por consecuencia disminuye la capacidad de funcionamiento del suelo.

SEMARNAT (2012), indica que en México existen cuatro procesos de degradación del suelo: erosión hídrica y eólica y degradación física y química, así como sus causas, tipos específicos y niveles de afectación.

3.5.1 Tipos de Degradación

3.5.1.1 Degradación física del suelo

López (2002), describe la degradación física como a todos aquellos procesos que resultan en los cambios que puedan afectar las condiciones y propiedades físicas de los suelos; por lo tanto como como todos los procesos que causan la degradación física del suelo tienen relación entre sí, entonces conllevan a la

reducción de la porosidad, teniendo como consecuencia un deterioro de la relación aire-agua en el suelo.

Para INIA (2015), manifiesta que la degradación física es la pérdida de porosidad, reducción del tamaño y estabilidad de los agregados del suelo (pérdida de estructura) y aparición de zonas compactadas, relacionadas con un uso muy intensivo.

SEMARNAT (2012), concuerda que la degradación física se refiere a un cambio en la estructura del suelo cuya manifestación más distinguida es la pérdida o disminución de su capacidad para absorber y almacenar agua.

La degradación física se manifiesta como (López, 2002);

Compactación del suelo: es la compresión de una masa de suelo a un volumen de masa más pequeña, al sufrir este cambio afecta a las propiedades estructurales, conductividad hidráulica y térmica, así como en las transferencias de gases en el suelo, por lo tanto el ambiente del suelo es modificado completamente, afectando los balances químicos y biológicos, todo esto dependiendo del grado de compactación (Raghavan *et al.*, 1990, Citado por López, 2002).

Sellado y encostramiento: es la reducción de la porosidad y la permeabilidad de la capa superficial, resultante de un rápido humedecimiento del suelo seco, impacto de las gotas de lluvia, depósito material fino del suelo, dispersión química o alguna combinación de estos procesos; posteriormente el secado de la capa superficial puede repercutir en un incremento en la resistencia, provocando un encostramiento o costra en el suelo (Chartres y Geeves, 1998, citados por López 2002). Concluyendo que los sellos o costras son una forma de degradación de la estructura del suelo.

Consolidación del suelo: es el colapso estructural durante humedecimiento y endurecimiento, a causa de la formación de una masa homogénea no estructurada, durante el secado, por lo tanto los suelos que alcanzan el punto de endurecimiento que hace imposible el laboreo son clasificados como consolidados (Mullins, 1998).

Exceso de humedad y anaerobiosis: ocurre una exclusión del aire, carente de oxígeno en la zona de las raíces, y las actividades biológicas dentro del suelo se reducen (Fausey y Lal 1990, citado por López, 2002).

3.5.1.2 Degradación química

SEMARNAT (2012), explica que la degradación química del suelo, involucra procesos que conducen a la disminución o eliminación de la productividad biológica del suelo y a su vez está fuertemente asociada con la presencia de actividades agrícolas. Por otro lado INIA (2015) describe que la degradación química del suelo implica la pérdida de la fertilidad natural del mismo.

Un suelo sano cuenta con atributos químicos y biológicos, (capacidad de amortiguación de acidez, bases) y/o resiliencia a variaciones en la acidez y alcalinidad, descomposición de materia orgánica, destrucción de patógenos, degradación de compuestos orgánicos, la afectación de estos procesos define la degradación química del suelo. La degradación química puede ser reversible en algunos casos, tal es el caso el exceso de acidez o de sales que es neutralizable, sin embargo la acumulación de cobre, plomo, el Cadmio en niveles altos es irreparable el daño (Logan 1990, citado por López, 2002).

López (2002), explica que los suelos pueden sufrir degradación química por procesos naturales, tal es el caso de incendios naturales; estos devastan reservas de materia orgánica, cambios hidrológicos ya que limitan el drenaje, contribuyendo cenizas volcánicas con alto contenido de sales provocando una disminución de fertilidad del suelo.

3.5.1.3 Degradación biológica

López (2002), Encinas e Ibarra (2003), Bienes y Marqués (2005), concuerdan que la degradación biológica, es la pérdida de materia orgánica (humificada) por la mineralización acelerada. Steiner (1996), refiere que la degradación biológica del suelo es equiparado con el agotamiento o pérdida de la cobertura vegetal, a la par de la materia orgánica, así como la utilización para demostrar la disminución de los organismos benéficos del suelo.

Por otro lado Piscitelli (2015), puntualiza a la degradación biológica como la pérdida de la biodiversidad (organismos vivos) y de la materia orgánica

(organismos de origen animal y vegetal), por lo tanto esto repercute sobre las diferentes funciones del suelo, entre las más importantes para suelos; esta la transformación, reciclado y la asimilación de los nutrientes para las plantas.

3.6 Erosión

La erosión del suelo es un proceso físico que consiste en el desprendimiento y arrastre de los materiales del suelo por agentes naturales y antropogénicos (Torres, 1982; Tayupanta, 1993 y Morgan, 1997). La FAO (1967) menciona que la erosión ocasiona que se pierda el suelo más fértil (humus).

Como resultado del proceso natural, se moldean lentamente el relieve del planeta, provocando la formación de mesetas y barrancas (CONAFOR, 2013).

3.6.1 Tipos de erosión

De acuerdo a Torres (1982), según su fuente de origen, existe erosión geológica e inducida o acelerada.

La erosión geológica consiste en la pérdida del suelo en su medio natural sin la influencia del hombre, principalmente por la acción del agua, el viento, variaciones de temperatura, la gravedad, los glaciares, desgaste de los montes, montañas y el modelo de la superficie terrestre con sus elevaciones, cañones, llanuras y cursos de agua (FAO, 1967); mientras que la erosión inducida o acelerada; se debe a la intervención del hombre que acelera el proceso de pérdida de suelo, esto derivado principalmente por la destrucción de la cubierta vegetal, así mismo distingue dos tipos de erosión por su agente causativo (agua y viento), la primera conocida como erosión hídrica y la segunda como erosión eólica (Torres, 1982; Becerra, 1999).

3.6.1 1 Erosión hídrica

Becerra (1999) y Cisneros *et al.*, (2012), concuerdan y describen que la erosión hídrica es un proceso físico de degradación de partículas del suelo por el efecto de la cantidad, movimiento, gravedad y la energía de la escorrentía superficial.

CONAFOR (2013), indica que la erosión hídrica se origina por diferentes razones, tales como la presencia de lluvias con mayor precipitación de lo normal, los que intervienen a que el suelo tenga mayor o menor vulnerabilidad a la erosión, son la pendiente, la cobertura vegetal y las prácticas de manejo.

El proceso de erosión hídrica inicia cuando la cobertura vegetal del terreno es removida, quedando el suelo al descubierto y sin protección, lo que ocasiona el desprendimiento y arrastre de las partículas de suelo (CONAFOR, 2013).

CONAFOR (2013), describe al desprendimiento como la acción que producen las gotas de lluvia cuando chocan con el suelo desnudo y rompen los terrones o agregados del suelo en partículas más pequeñas, siendo transportadas con mayor facilidad por el escurrimiento. También existe el desprendimiento por fricción que ocurre al choque de las partículas suspendidas en el agua que escurre por efecto de la pendiente y la acumulación de una lámina de agua. Mientras que el arrastre lo detalla que sucede cuando las partículas desprendidas son transportadas por el escurrimiento del agua hacia la parte baja del terreno. La escorrentía y el flujo superficial se producen en las laderas, esto durante las lluvias, dado que supera la capacidad de almacenamiento del suelo, esto puede ser por lluvias prolongadas o de intensidad mayor a la capacidad de infiltración del suelo (Morgan, 1997).

CONAFOR (2013), describe que los daños provocados en los suelos forestales por la erosión hídrica son la: pérdida de la capa superficial, limitación del agua de lluvia aprovechable y la formación de socavones en caminos cercanos a las cárcavas.

Este tipo de erosión comienza con la remoción del suelo, formando surcos, a estos se les llama zanjeando incipiente (erosión laminar), al aumentar el escurrimiento se forman los canalillos que continúan creciendo hasta la formación de cárcavas (CONAFOR, 2013).

Por otro lado Cisneros (2012), clasifica los tipos de erosión hídrica de acuerdo al proceso en el que se desarrolla: salpicadura, erosión laminar, erosión por surcos, erosión en cárcavas y erosión por remoción o movimientos en masa.

3.6.1.2 Erosión por salpicadura

Tayupanta (1993); Cisneros (2012) e Imeson y Curfs (2016), describen que es el impacto de las gotas de lluvia sobre los agregados de un suelo, produciendo las gotas pequeños cráteres de impacto, con liberación de partículas, que se desplazan en un radio máximo de 150 cm. Cisneros (2012), puntualiza que las

partículas de suelo desprendidas, son dispersadas para todas las direcciones uniformemente, cuando los suelos no cuentan con pendiente; pero en terrenos con pendiente existe un mayor transporte de las partículas hacia abajo.

3.6.1.3 Erosión laminar

Imeson y Curfs (2016); Cisneros (2012) y FAO (1967); definen que la erosión laminar es una forma de erosión superficial que se produce por acción del escurrimiento, perdiéndose una fina y uniforme capa de toda la superficie del suelo en forma de lámina.

CONAFOR (2013), puntualiza que la erosión laminar se presenta en laderas, actuando principalmente en la superficie del suelo, siendo este removido; por lo tanto a través del agua, como agente transportador de las partículas de limo y arcilla, son removidas de su sitio y depositadas en forma de láminas, de ahí el nombre de erosión laminar.

Cisneros (2012), describe que este proceso produce una mayor pérdida neta de suelo que la erosión por salpicadura, siendo el tamaño de partículas más afectado el que se desprende debido a la energía de la lluvia.

Hudson (1981) citado por López (2002) difiere del término erosión laminar, ya que el término sugiere que el suelo es removido por un flujo uniforme de láminas de agua, lo cual no es verdad, describiendo que rara vez el escurrimiento ocurre como un flujo laminar uniforme.

3.6.1.4 Erosión por surcos

Imeson y Curfs (2016), describen la erosión por surcos como un proceso habitual en los terrenos con pendiente, puntualizando que en los terrenos recién labrados es donde más se presenta, de forma aleatoria, pequeños y numerosos canales, de pocos cm de profundidad.

Laflen y Roosen (1998) citados por López (2002), refieren la erosión por surcos como el arrastre de material producido por la escorrentía concentrada en franjas líquidas, formando pequeños canales en la superficie del terreno.

Por otro lado Cisneros (2012), puntualiza que la erosión por surcos da inicio en el momento en que conforme se incrementan los caudales, la altura del agua y su

velocidad, se pasa de un flujo de tipo laminar a uno concentrado, definido por la microtopografía del suelo; este tipo de escorrentía concentrada tiene una mayor capacidad de desprendimiento y de transporte que el flujo laminar, con lo cual las tasas de erosión por este mecanismo se incrementan, pasando el flujo de tipo subcrítico a supercrítico, entonces suele denominarse a la erosión en surcos como aquella que el productor puede “borrar” con los implementos de labranza.

3.6.1.5 Erosión en cárcavas

CONAFOR (2013), describe que es la remoción del suelo por efecto del agua, concentrándose con mayor fuerza en una línea sola de escurrimiento, pasando a formar canalillos, pasando a ensancharse y formar zanjas profundas o cárcavas.

Cisneros (2012), refiere que las cárcavas, son de manifestación más visible, que se desarrollan a partir del escurrimiento sobre la superficie, luego de que alcanza un cierto caudal y velocidad del flujo, se le considera una cárcava como aquella forma de erosión que no puede ser borrada por las labranzas.

Por otro lado López (2002), detalla que la erosión en cárcavas es cuando ocurre una mayor concentración del escurrimiento, y la topografía del terreno permite la unión de surcos formándose zanjas de gran tamaño, denominadas cárcavas.

López (2002); Cisneros (2012) y CONAFOR (2013), concretan que las cárcavas ya iniciadas, tienden a crecer en tres dimensiones:

Crecimiento longitudinal: Esta se presenta en la parte alta o al inicio de la cárcava, donde entra el agua, en una caída de 90° de inclinación, lo que provoca un salpicamiento en la pared, socavándola y así genera un hueco, con el paso del tiempo esta no logra sostenerse y cae por efecto de su propio peso, generando una nueva pared agua arriba, y así se repite el proceso lo que genera que esta cárcava sea más larga con el paso del tiempo.

Crecimiento lateral: El crecimiento lateral lo provoca la erosión en canalillos que es presentada a lo largo de la pared de los costados en toda la cárcava (CONAFOR, 2013). Para Rubio (2009), el crecimiento lateral se deben a que el agua, a medida que va descendiendo por la ladera y debido a las irregularidades en el terreno, se va concentrando en la parte alta, a lo largo de la cárcava y en el lecho de la misma

originando su crecimiento y con un volumen de agua mayor y una velocidad del flujo que va en aumento, la sección transversal de la cárcava se va agrandando debido a la erosión remontante en los taludes y en la parte alta y al crecimiento vertical en el lecho de la cárcava producto de la capacidad de remoción, transporte y socavación del flujo superficial.

Crecimiento del fondo de la cárcava (profundidad): Este es ocasionada por el escurrimiento superficial sobre el piso de la cárcava, dependiendo de la velocidad y el volumen del escurrimiento, así como de las características del suelo y el material que conforma el fondo de la cárcava.

3.6.1.6 Erosión por remoción o movimientos en masa

Cisneros (2012), explica que es el desplazamiento de grandes volúmenes de material en condiciones especiales de humedad, pendiente y tipo de suelo, por lo tanto los movimientos en masa se producen frecuentemente en suelos someros, asentados sobre un material impermeable, como rocas graníticas, bajo fuertes pendientes.

López (2002), explica que en términos generales y bajo condiciones particulares, la acción del agua que se infiltra en el suelo, al desequilibrio del suelo ante dicha acción, y al efecto de la gravedad, los movimientos en masa puede ser de flujo lento o flujo rápido.

3.6.1.7 Erosión eólica

Kirkby y Morga (1984), definen que la erosión eólica es el proceso por el cual el viento recoge y transporta el material superficial suelto, las partículas son llevadas por el viento.

Por otro lado Donahue *et al.* (1983), explica que la erosión eólica ocurre donde el suelo está agregado con debilidad, seco, en superficies lisas y desprovista de vegetación, además de tener alta frecuencia de vientos severos y fuertes. En las zonas de clima árido y los semiáridos donde sucede con mayor frecuencia el proceso de erosión eólica. Existen sus excepciones en algunas regiones húmedas, donde los vientos se desarrollan estremeciendo dunas en las zonas costeras, se ha reportado que los suelos histosoles drenados son propensos a la erosión eólica.

El hecho de ser transportadas las partículas de suelo a otros sitio se altera la microtopografía, principalmente los suelos de actividad agrícola, por lo tanto este proceso afecta las áreas que carecen de una cubierta vegetal protectora (Kirkby y Morga, 1984).

3.7 Métodos de Evaluación de la Erosión

León (2001) describe que la estimación de pérdida de suelo, es una importante herramienta, para su aplicación en los procesos de planificación del uso de la tierra ordenada en el marco de la gestión ambiental en forma clara, además viable económicamente, su obtención depende de la información recolectada en experimentos de campo; por tal motivo montar unidades experimentales en campo (métodos directos), permite la generación de información para la modelación del fenómeno a través de expresiones matemáticas (métodos indirectos) de tipo paramétrico; utilizando este tipo de métodos para la evaluación de la pérdida de suelo se reducen los tiempos y dinero para el cálculo general de pérdida de suelo. La estimación de pérdida de suelo hecha con cualquier método puede ser comparada con la pérdida permisible, y que con esto se podrá tener fundamentos para así determinar la necesidad de establecer un programa de conservación de suelos en las áreas que sea necesario (Becerra, 1999).

Becerra (1999), detalla que una estimación directa de la erosión, para ser precisa, requiere de tiempo, esfuerzo y costo considerable, además con restricciones para su extrapolación.

3.7.1 Métodos indirectos

Morgan (1979) describe dos tipos:

Determinísticos: están basados en ecuaciones matemáticas a objeto de describir los procesos involucrados en el modelo, tomando en consideración las leyes de conservación de la materia y energía.

Paramétricos: se basan en la identificación de relaciones estadísticamente significativas entre variables, que se asume son importantes, cuando se cuenta con una razonable base de datos.

Kirkby y Morgan (1984), Becerra (1999) y León (2001), describen que la mayor parte de los modelos usados en estudios de erosión del suelo, son de tipo paramétrico; el que más se destaca en primer lugar es la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (EUPS) dada su extendida aplicación, de mayor importancia en Norteamérica donde tuvo su origen.

3.7.2 Métodos directos

La estimación de pérdidas de suelo por métodos directos; es el montaje de ensayos en campo con mediciones frecuentes o periódicas; además que las ventajas en términos de precisión de los ensayos directos en campo son claras, en tanto más preciso sea el método, se requerirá, de una mejor infraestructura técnica (León, 2001).

Morgan (1986) menciona que la precisión y errores de estimación, están sujetas a errores de la medición; dado que ninguna medición de pérdidas de suelo puede ser considerada como un valor absolutamente correcto, es implícitamente imposible cuantificar los errores. Sin embargo pueden ser calculados con respecto a la variabilidad, lo cual requiere la replicación del experimento varias veces para determinar el valor medio de pérdidas de suelo y el coeficiente de variación de los datos.

Realizar estudios de la erosión en campo, es de vital importancia, ya que proporciona datos por medios directos, que sirva especialmente a los propósitos de prevenir la erosión (DDR y CONAPLAN, 1974).

León (2001) menciona que los métodos directos, para la estimación de pérdidas de suelo, su importancia radica en que estos métodos revisten en los trópicos húmedos, en sus formas de salpicadura y escorrentía superficial, sobre laderas de colinas y montañas; por lo tanto uno de los métodos empleados para la determinación de las tasas de erosión de suelos, es el de medición de la cantidad de sedimentos, sedimentos en suspensión.

Becerra (1999) menciona los métodos desarrollados para la estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica de medición directa son: Uso de estacas, varillas marcadas o clavos y rondanas, cubicación de cárcavas, lotes y/o parcelas de

escurrimiento, cuantificación de la producción de sedimentos en una cuenca y métodos de aforo.

3.7.3 Estimación

3.7.3.1 Parcelas de escurrimiento

Becerra (1999) y León (2001) describen que las parcelas de escurrimiento son fracciones de terreno de diferentes tamaños, son delimitadas por paredes que encierran completamente el agua de escurrimiento, evitando el paso del escurrimiento hacia afuera de la parcela.

El agua que escurre, debe ser hacia el área que se encuentra en desnivel, esta puede ser hacia sus costados y al final de la parcela, donde se concentra en un embudo colocado, de donde por medio de un canal pasa colectores para depositar las muestras que se utilizarán en el análisis (León, 2001).

Becerra (1999) y León (2001) mencionan que el tamaño más utilizado es de 44 m² (2x22 m); aunque consideran que se utilizan diferentes tamaños, sugieren la adopción de una longitud mínima de 10 m para la evaluación de la escurrimiento superficial; mientras que, Kirkby y Morgan (1984) y Morgan (1986) describen parcelas de 22 m de largo por 1.8 m de ancho de dimensiones.

Becerra (1999), menciona que este método se utiliza en estudios que requieren una precisión en las estimaciones de pérdida de suelo, por lo cual, su uso implica un costo elevado en el trabajo de las actividades de instalación, de registro y el desalojo de los materiales del depósito.

Cayssials (1984), señala que también con este método, se puede determinar el balance hídrico y de nutrientes, en base a los sedimentos recolectados y que las parcelas de escurrimiento es uno de los métodos más precisos para cuantificar la pérdida de suelo bajo diversas condiciones de manejo.

3.7.3.2 Simulación de lluvia

La simulación de lluvia, es una técnica para aplicar agua al terreno en forma de lluvia, de manera controlada, similar a la precipitación natural. El principal propósito de la utilización de los simuladores de lluvia es reproducir con exactitud y precisión un determinado evento de lluvia (Blanquies *et al.*, 2003).

Monge y Aguilar (2008), explican que con los simuladores de lluvia se pueden controlar características de la lluvia tales como: duración, frecuencia, intensidad, diámetro de las gotas, velocidad de la caída y la energía cinética por evento.

Paige *et al.*, (2004), indicaron que con la simulación de lluvia se facilita la cuantificación, entendimiento y modelación del ciclo hidrológico en algunos procesos como la infiltración, escurrimiento superficial, erosión del suelo, movimiento de los contaminantes y nutrimentos, la función de las características de la lluvia simulada, las propiedades de la superficie, manejo del suelo y su uso.

3.8 Agentes que actúan en la erosión

Becerra (1999) y Ávila (2013) clasifican a los principales agentes que intervienen en la erosión, agrupándolos de la siguiente manera:

Agentes activos: Los que directamente realizan ambas fases del proceso de la erosión, esto es el desprendimiento y arrastre de los materiales del suelo.

Agentes predisponentes: Fenómenos ambientales u organismos vivos que directamente o indirectamente predisponen al suelo para ser erosionado. Tal es el caso de la oscilación térmica, la humedad relativa, la acción de algunos animales y diversos aspectos inherentes a la actividad del hombre.

Agente amortiguador: La vegetación es el agente amortiguador debido a su efecto de disminuir la energía cinética de la lluvia, escurrimientos superficiales y velocidad del viento.

Agente pasivo: Como agente pasivo es el suelo, ya que recibe la acción de la erosión y de acuerdo a su grado de susceptibilidad influye en la magnitud del proceso.

3.9 Lluvia y escurrimiento en el suelo

Rodríguez (1974) citado por Becerra (1999) denomina a la precipitación como; el agua que cae a la tierra desde las nubes en cualquiera de sus estados físicos, a su vez cita los principales tipos de precipitación: llovizna, lluvia, granizo nieve y rocío.

Llovizna: es la caída desde las nubes, de gotas de agua con un diámetro menor a 0.5 mm y su intensidad generalmente menor de 1.0 mm/hr.

Lluvia: es un fenómeno meteorológico, que consta de gotas de agua de diámetro superior a 0.5 mm y a velocidades que varían de acuerdo a su intensidad, las intensidades que podría tener la lluvia pueden ser ligera (gotas de diámetro < 2.5 mm), moderada (gotas de diámetro 2.5 a 7.5 mm) y fuerte (gotas de diámetro > 7.5 mm).

Becerra (1999) puntualiza que el granizo, la nieve y rocío, tienen poca influencia sobre los escurrimientos superficiales en el territorio nacional de México, por lo tanto se considera a la lluvia como la única responsable de generar escurrimientos superficiales. La cantidad de la precipitación y las características de la escorrentía, están determinadas por el tipo de precipitación, la cantidad, duración, intensidad, frecuencia, distribución espacial y cronológica (Hudson, 1971 y Becerra 1999).

Por otra parte Solano de la Sala (1982) cita a Hudson (1971), Becerra (1999), señalan que las características que más tienen influencia en la magnitud y características de los escurrimientos son: energía cinética, cantidad e intensidad, y la duración.

Cantidad: la cantidad de lluvia precipitada en una cuenca influye de manera directamente proporcional sobre los escurrimientos generados, es por eso que a mayor precipitación causará escurrimientos de mayor magnitud; entonces la cantidad de lluvia se mide por la altura que alcanza la lámina de lluvia, expresada en mm (Becerra, 1999).

Por otro lado Wischmeier (1959), citado por Figueroa (1975), reporta que existe una relación directa entre la cantidad de lluvia y la cantidad de suelo erosionado, pero que estadísticamente no es significativa; esto indica que la cantidad de lluvia no es el mejor indicador por sí mismo del proceso erosivo.

Duración: la duración de un evento puede ser variable, desde pocos minutos hasta varias horas. La duración de dicho evento por sí solo no hace efecto en la

escorrentía, tiene que estar asociada con una intensidad alta (Solano de la Sala, 1982 y Becerra, 1999).

Intensidad: la intensidad de la lluvia es definida como la "la altura de la lámina de lluvia por unidad de tiempo", expresándose en mm/h. La intensidad de las tormentas influye directamente en la fracción del volumen medio de precipitación que forma la escorrentía, así como también en el escurrimiento medio instantáneo. Una intensidad alta de lluvia produce volúmenes de escurrimiento de mayor magnitud, ya que la unidad de tiempo en precipitación supera la velocidad de infiltración del suelo, esto por las acumulaciones excedentes de agua en la superficie del suelo (Becerra, 1999).

Por otra parte, Harrold (1974), citado por Solano (1982), describe que la intensidad de la lluvia está definida como la relación entre la cantidad y duración de la lluvia, y que también (Vergnette, 1977), reporta que existe una correlación entre la intensidad de la lluvia y la escorrentía, ya que las obras de conservación se diseñan en función de la intensidad máxima de lluvia.

3.9.1 Acción de la lluvia en el suelo

El efecto producido por las gotas de lluvia provoca un impacto en los suelos descubiertos de vegetación, lo que provoca el desprendimiento de partículas de suelo (INIA, 2015).

Algunos suelos se erosionan más fácilmente que otros, las causas que influyen para esto son: el tamaño de las partículas que forman el suelo, la fuerza de su unión, la facilidad con la que el agua penetra en el suelo y su profundidad y la pendiente del terreno (en lugares de mayor pendiente el agua corre a más velocidad). De acuerdo al uso que se haga del suelo será su riesgo de erosión, por tal motivo los suelos que permanecen descubiertos (que han sido arados o laboreados) tienen mayor riesgo a ser erosionados (INIA, 2015).

Morgan (1977) y Michelena (2011), indican que en la etapa previa a la erosión, se le conoce como desprendimiento o remoción de las partículas del suelo, siendo el agente de mayor importancia el salpicamiento, ocasionado por el golpeteo

constante sobre el suelo; con lo anterior se modifica la estructura de manera continua ocasionando la fragmentación y el aflojamiento de las partículas.

Si no existe una cobertura vegetal que permita interceptar la energía cinética de las gotas de lluvia, el impacto sobre el suelo provocará rompimiento de agregados y la redistribución de partículas de suelo en la superficie (Poulenard *et al.*, 2004). Lo anterior ocasiona que ocurra el sellado de los poros, por lo tanto, la impermeabilización de la superficie del suelo, dando así origen a la formación de costras por el efecto splash (Boiffin 1984; Cosandey y Robinson, 2000).

Martin de la Cruz (2010) puntualiza que la energía cinética de la lluvia, es la suma de las energías cinéticas de las gotas individuales y está en función del tamaño y velocidad de las gotas: define la capacidad potencial para producir erosión.

3.9.2 Acción del escurrimiento en el suelo

La palabra escurrimiento en hidrología es aplicación a la acción del agua proveniente de la precipitación que circula sobre la superficie terrestre y que llega hasta alguna corriente finalizando en la salida de la cuenca (Aparicio 2004; Solano de la Sala 1982, cita a Holy 1980). El termino escurrimiento superficial se aplica cuando se hace fricción entre la lámina o película de agua la superficie del terreno, dirigiéndose el escurrimiento hacia los ríos, lagos u océanos (SARH, 1987).

Becerra (1999), describe que el escurrimiento ha sido clasificado en: superficial, subsuperficial y subterráneo. El escurrimiento superficial es el flujo de agua sobre el terreno y las corrientes de cauces, el escurrimiento subsuperficial es el agua que se infiltra y escurre cerca de la superficie del suelo, y el escurrimiento subterráneo es cuando el agua se infiltra hasta llegar a la profundidad inferior al nivel del freático; por lo tanto el escurrimiento superficial es el que llega en menor tiempo hasta la salida de la cuenca, entonces este escurrimiento ocurre cuando existe un desnivel del terreno, además de haber excedentes de agua sobre la superficie.

Becerra (1999) describe que el escurrimiento superficial se puede presentar en dos escenarios:

a) Cuando la intensidad de precipitación es menor que la velocidad de infiltración del suelo, el escurrimiento es nulo, ya que el agua que no es interceptada por la cobertura vegetal se infiltra enseguida o metros más adelante.

Por otro lado Foster (1971) describe que el proceso de escurrimiento, considera la infiltración del agua de lluvia al suelo, desde el proceso de mojado hasta la condición de saturación.

b) Cuando la intensidad de la precipitación es mayor que la velocidad de infiltración del suelo, éste infiltrará sólo parte del agua precipitada, el excedente quedará sobre el terreno formando encharcamientos o esta fluirá como escorrentía hacia las partes más bajas (Ramírez, 2009 y Becerra, 1999).

Holy (1980) y Cisneros (2012), citado por Solano (1982), refieren que el escurrimiento superficial es el principal actor en el desprendimiento y acarreo de los materiales sólidos del suelo, ya que realiza la fricción entre las partículas en el momento que existe el escurrimiento sobre la superficie del suelo, siendo transportadas a largas distancias provocando sedimentación en ríos, lagos y zonas costeras.

3.10 Agentes amortizadores de la acción de la lluvia y el escurrimiento en el suelo

Becerra (1999) menciona como agente activo al agua, ya que erosiona al suelo de dos maneras: a) impacto de la lluvia y b) fricción del escurrimiento superficial sobre la superficie del terreno. Ambos mecanismos actúan simultáneamente durante una tormenta, donde generalmente la lluvia es más eficiente en el desprendimiento de partículas del suelo, y la escorrentía para el transporte de las mismas a distancias considerables (Morgan, 1986).

Becerra (1999) considera a la vegetación como el agente amortiguador de la erosión, ya que disipa la energía cinética de la lluvia, los escurrimientos superficiales y la velocidad del viento.

Por otro lado Michelena (2011) citado por Tapia (2012), manifiesta que la parte superior de la cubierta vegetal intercepta a la lluvia protegiendo al suelo del

impacto directo de las gotas de lluvia, gracias al efecto de amortiguamiento de las gotas disminuyendo su energía cinética inicial. Por lo tanto la vegetación contribuye a la disminución de la escorrentía superficial y a decrecer los caudales máximos, debido a que aumenta la permeabilidad del suelo incrementando la infiltración, y también disminuye la velocidad de la lámina del agua de escorrentía (Tapia 2012).

Swank y Miner (1968) mencionan que la reducción del dosel implica un fuerte impacto hidrológico, ya que significa el decrecimiento en la intercepción de la lluvia y la disminución de la evapotranspiración, que a su vez, permite un ingreso mayor de agua al suelo e incrementa el escurrimiento y la producción de sedimentos en mayor cantidad.

El cambio de un bosque nativo por otro tipo de vegetación arbórea implica modificaciones en la arquitectura y densidad del dosel que alteran sustancialmente la dinámica de los escurrimientos. Tal es el caso en la cuenca de Cowetea, Carolina del Norte de EUA, donde se manifestó la conversión de un bosque deciduo de angiospermas a uno de coníferas, provocando la disminución de la evapotranspiración, así como el aumento de los volúmenes de escurrimientos (Swank y Douglas, 1974; Swank y Miner, 1968).

Así como sucede con el dosel, la hojarasca que está en la superficie del suelo se relaciona con los escurrimientos. La hojarasca mantiene la estructura y capacidad de filtración del suelo, en tanto que su ausencia incrementa el escurrimiento y el grado de descarga del mismo (Maass, 1985; Tsukamoto, 1975), también existe influencia en los diferentes tipos de manejo agrícola que se le da al suelo ya que propician un mayor o menor grado de escurrimiento. Un estudio sobre la conservación del agua de las cuencas en el estado de Hidalgo, se observó que de los cultivos experimentados, el estudio arrojó que el cultivo de nopal fue más eficiente en la retención de agua en el suelo, seguido por el del maíz, frijol, cebada y, por último, de pastizales (Castillo, 1985).

3.11 Estimaciones de la pérdida de suelo por la erosión hídrica superficial

Kirkby y Morga (1984) detallan que los métodos para predecir la producción de sedimentos son muy variados en cuanto a su forma y extensión.

Becerra (1999) especifica que para evaluar el proceso de degradación de los suelos existen diferentes metodologías como son:

Estimación de la producción de sedimentos mediante la proporción de desplazamiento,

Estimación de la producción de sedimentos en cuencas mediante la EUMPS (Ecuación Universal Modificada de la Pérdida de Suelo)

Estimación de la producción de sedimento en pendientes complejas.

3.12 Estimaciones para suelos forestales

Becerra (1999), describe que la EUPS es un modelo diseñado para estimar pérdida de suelo.

CONAFOR (2013) y Becerra (1999), mencionan que dentro de los métodos más utilizados a nivel mundial, es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) (Wischmeier y Smith 1978), la cual consideran variables físicas y variables de manejo, expresándose de la siguiente manera:

$$A=R*K*L*S*C*P$$

Dónde:

A= pérdida de suelo (ton/ha)

R= factor erosivo de la lluvia

K= factor de erosionabilidad del suelo

LS= factor de longitud o grado de la pendiente

C= factor de cobertura y manejo

P= factor de prácticas de cultivo

Por otra parte Kirkby y Morgan (1984) describen la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS), de la siguiente manera:

$$A = (0.224) * R * K * L * S * C * P$$

Método de varillas marcadas: es útil en terrenos no cultivados, consiste en clavar una serie de varillas sobre el terreno, distribuidas en cuadrícula para representatividad. Cada varilla deberá ser marcada al nivel de la superficie del suelo para referencia posterior. Después de un periodo de tiempo, se registra la distancia en mm desde la marca de la varilla hasta el nivel actual de la superficie del suelo; el promedio de esas distancias será el espesor de suelo perdido, el dato podrá ser expresado en (ton/ha)/año (Becerra 1999).

Métodos de clavos y rondanas: El método consiste en utilizar clavos con rondanas, colocados a lo largo de un transecto a intervalos regulares, la rondana se coloca de manera que descansa sobre la superficie del suelo, tocando ligeramente la cabeza del clavo. El propósito de la rondana es marcar cortes en el terreno ocasionados por erosión y de esta forma medir el espesor de la capa de suelo perdido (PASOLAC, 2005).

Parcelas de escurrimiento: es de los métodos más precisos para cuantificar la pérdida de suelo en diferentes condiciones de manejo. Este método implica elevados costos y demasiado trabajo, la importancia de este método radica en que es decisiva para las estimaciones numéricas de la erosión. Consiste en colectar el escurrimiento y los sólidos arrastrados, que se generan en una pequeña parcela o lote, que tiene una forma alargada en sentido de la pendiente, generalmente con dimensiones de 20 o 25 metros de largo por dos metros de ancho, en la parte inferior se colecta la escorrentía y se conduce por una tubería a un tanque de almacenamiento. Por lo tanto la colecta se realiza después de cada tormenta, así como el registro del volumen colectado en el tanque, se toma una muestra para cuantificar los sedimentos arrastrados desde la parcela (Becerra, 1999; Vallejos y Velásquez, 1998).

Producción de sedimentos en una cuenca: Becerra (1999) describe a este método es más general en grandes extensiones de terreno, ya que se refiere a la cantidad de sólido que el agua de escorrentía transporta fuera de la cuenca. Se realiza una estación de aforo a la salida de la cuenca, realizando dos tipos de mediciones:

Se mide el tirante del flujo para estimar los gastos y elaborar el hidrograma respectivo.

Se colectan muestras para determinar su concentración de sólidos en laboratorio. Con ambos datos se elabora un gráfico, asignando el gasto de sedimento, resultando un sediograma.

El resultado final se obtiene en Kilogramos por segundo. Ahora observado el hidrograma, el área bajo la curva del sediograma representa la cantidad de sedimentos que salieron de la cuenca en un evento.

3.13 Simulación de lluvia

La simulación de lluvia en campo ha sido una de las técnicas más utilizadas en los últimos tiempos. La simulación de lluvia es la aplicación de una cantidad definida de agua, sobre un área en específico, con límites conocidos, controlando la cantidad aplicada y observando la escorrentía generada durante la práctica. La diferencia entre el agua aplicada y el agua recogida es el agua absorbida por el suelo, por lo tanto, simplemente tomando medidas del agua generada por la lluvia a intervalos de tiempo regulares podemos obtener la tasa de infiltración característica del suelo estudiado (Ibáñez *et al.*, 2012).

La utilización de simuladores de lluvia es de vital importancia, ya que en las investigaciones en conservación de suelos son de fácil manejo y la hora de aplicación en campo, para los estudios de las relaciones lluvia-escorrentía, la medida de la tasa de infiltración y la estima de las pérdidas de suelo (Ibáñez *et al.*, 2012).

Cerda (1999); García (2006) e Ibáñez *et al.*, (2012), concuerdan que la mayor ventaja es prescindir de la lluvia natural, permitiendo realizar N número de pruebas o experimentos en poco tiempo.

Los simuladores de lluvia pretenden copiar las características de la lluvia lo más realmente (Cerde 1999; Ibáñez *et al.*, 2012).

En los años 60, se logró conocer la dinámica y la física de la lluvia, se intenta reproducir tanto la distribución del tamaño de las gotas como su energía cinética de impacto en el suelo (Morin *et al.*, 1967 e Ibáñez *et al.*, 2012).

3.14 Intensidad de la lluvia

Becerra (1999) y CONAGUA (2006), describen que la intensidad de la lluvia es definida como la altura de la lámina de lluvia por unidad de tiempo, es expresada en mm/h, por lo tanto conocer la intensidad máxima por intervalos de tiempo determinados así como desde 5, 10, 30 y 60 minutos es conocer la intensidad media y más útil para trabajos de investigación.

La intensidad de las tormentas tiene influencia directamente en la fracción de volumen medio de precipitación que forma escorrentía, así como también en el escurrimiento máximo instantáneo (Becerra, 1999).

Una alta intensidad de lluvia produce volúmenes de escurrimiento de mayor magnitud, ya que la lámina llovida por unidad de tiempo supera la velocidad de infiltración del suelo, acumulando excedentes de agua sobre la superficie del suelo, originando inundaciones en terrenos planos o la escorrentía en aquellos terrenos que cuentan con pendiente (CONAGUA, 2006) .

3.14.1 Ventajas de la simulación de lluvia

Ibáñez *et al.*, (2012) señala ventajas y ventajas de los simuladores de lluvia frente a las otras técnicas, por lo tanto algunas son descritas a continuación:

- ✓ Toma de muestras de mediciones y la repetición de estas las veces que sea necesario sin necesidad de esperar las precipitaciones naturales (Meyer, 1985 citado por Cerde, 1999; Kaune, 2010).
- ✓ Se controla las precipitaciones con la posibilidad de comparar ensayos (Collinet, 1988).
- ✓ Es económicamente menor el gasto en simulador sobre parcelas pequeñas (Luengas y de la Rosa, 2015).

- ✓ Los simuladores de lluvia son portátiles y eficientes en el control de las variables (Velásquez *et al.*, 2014; Luengas y de la Rosa, 2015).
- ✓ Genera información con muy bajos costos a diferencia en condiciones naturales (Kaune 2010).
- ✓ La base de datos de los procesos es amplia, en corto tiempo, además de parametrizar, calibrar y validar modelos hidrológicos y de erosión (Velásquez *et al.*, 2014).
- ✓ Una ventaja adicional al uso de la lluvia simulada es el control de las variables de cada evento de precipitación simulada tales como: magnitud, intensidad, duración, también las condiciones de la superficie del suelo, como son: cobertura, tipo de suelo, tipo de uso de suelo (Cerdea 1999).

3.14.2 Desventajas de la simulación de lluvia

- ✓ Una de las más nombradas es la comparación de datos en lluvia simulada y lluvia natural, ya que en ocasiones se desconocen los diámetros de la gota, energía cinética aplicada, distribución espacial y velocidad (Velásquez *et al.*, 2014).
- ✓ La mayoría de los simuladores no producen características propias de lluvias naturales, algunas de estas son como: el tamaño de la gota, representatividad de la variación temporal de la intensidad de lluvia (Velásquez *et al.*, 2014).
- ✓ Para cubrir extensiones de terreno grandes el gasto económico es extremo (Kanue 2010).
- ✓ La distribución del tamaño de gotas también es constante y el máximo diámetro de gota no se incrementa con la intensidad como ocurre en los episodios tormentosos naturales (Kanue 2010).
- ✓ El costo para la construcción del simulador de lluvia es alto, la poca disponibilidad de las piezas en el mercado, limitando el reemplazo por si alguna se fragmenta (Velásquez *et al.*, 2014).
- ✓ Poca disponibilidad de personal capacitado, tanto en operar los simuladores, diseño de los estudios experimentales, coleccionar, analizar e interpretar la información obtenida (Velásquez *et al.*, 2014).

- ✓ El tamaño de las parcelas o bastidor, utilizados en el trabajo con la lluvia simulada no es representativo del área de estudio (Velásquez *et al.*, 2014).

3.15 Trabajos a fines

Vázquez *et al.* (2017) evaluó el efecto de tres niveles de severidad de incendios en la escorrentía y producción de sedimentos, mediante simulación de lluvia en encinares de la Sierra Madre Oriental.

Betancourt *et al.* (2000) evaluó la capacidad de protección al suelo de especies forrajeras gramíneas y leguminosas de uso común en la cuenca del río Coxacoaco, en el estado de México. Utilizó un simulador de lluvias tipo Morin con intensidades de 50, 70 y 120 mm/h, en dos condiciones (suelo seco y suelo húmedo), para determinar la infiltración, el escurrimiento superficial y las pérdidas de suelo en lotes de escurrimiento de 1.44 m².

Chagas *et al.* (2011) evaluó la generación de escurrimiento superficial y erosión hídrica de cuatro tratamientos, cuyas propiedades edáficas de la tierra se consideran representativas del área estudiada; aplicando una lluvia simulada de alta intensidad sobre los tratamientos estudiados en cada condición.

Dueñez *et al.* (2004) estudió el efecto de cuatro tratamientos silvícolas en la infiltración, escorrentía y erosión en un suelo forestal con una carga de ganado extensivo de 16 UA (unidad animal), la densidad de carga es de 500 hembras vientre por 32 sementales, en Santa Bárbara, Durango, México. Estos procesos hidrológicos se evaluaron en 1998 y 1999 con el uso de un simulador de lluvia portátil, aplicó 10.47 cm h⁻¹ (104.7 mm/h) de agua durante 30 min.

Rivera-Ruiz *et al.* (2012), evaluó los procesos de lluvia, escurrimiento y erosión en diferentes prácticas de manejo con cultivos de escarda y de maíz, en lotes o parcelas de escurrimiento de lluvia natural, establecidas en laderas de suelos en la cuenca Villa Victoria del Sistema Cutzamala durante 2007.

Desir (2001) realizó el análisis de diez años de registro continuo de precipitación, escorrentía y producción de sedimentos en dos estaciones experimentales (parcelas de escurrimiento) para el estudio de la erosión hídrica instaladas sobre

materiales yesíferos del sector central de la Depresión del Ebro (La Puebla de Alfindén y Mediana de Aragón, en España).

Gutiérrez *et al* (1990), realizó un estudio para determinar el efecto de los tipos de suelo, la vegetación sobre la infiltración y la producción de sedimentos con lluvia simulada, en el Rancho Los Ángeles, Coahuila, México en los meses de marzo y abril de 1988.

IV. Materiales y Métodos

4.1 Localización del área de estudio

4.1.1 Loma del Gorrión

El área de estudio pertenece al municipio de Saltillo, Coahuila, en el predio “Loma del Gorrión” propiedad de PRONATURA NORESTE. A.C. se ubica en las coordenadas 25° 1'58.55" Latitud Norte y 100°55'35.76" Longitud Oeste.

Para llegar al predio donde se realizó el trabajo de campo se debe de dirigir a 25 km al suroeste por la carretera 54 Saltillo- Zacatecas, al llegar hasta el cruce del camino rural E-18 los Ángeles, de aquí, con rumbo a la Hediondilla y a 18 km se encuentra el entronque del camino rural de terracería con dirección al ejido El Cercado, recorriendo 6.11 km, donde se tiene que cruzar hacia el extremo sur del caserío de dicho poblado, hasta llegar a una puerta metálica con el letrero de PRONATURA NORESTE A.C. (Figura 1).

La Reserva Natural Voluntaria (RNV) Loma del gorrión se encuentra ubicada al sureste del Estado, donde las áreas de pastizales son extensas en el municipio de Saltillo, Estado de Coahuila de Zaragoza.

Loma del gorrión se localiza en una región prioritaria para la Conservación del Estado, debido a la presencia de pastizales *gipsófilos*, hábitat de perritos llaneros mexicanos (*Cynomys mexicanus Merriam*) especie endémica en peligro de extinción considerada en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010.

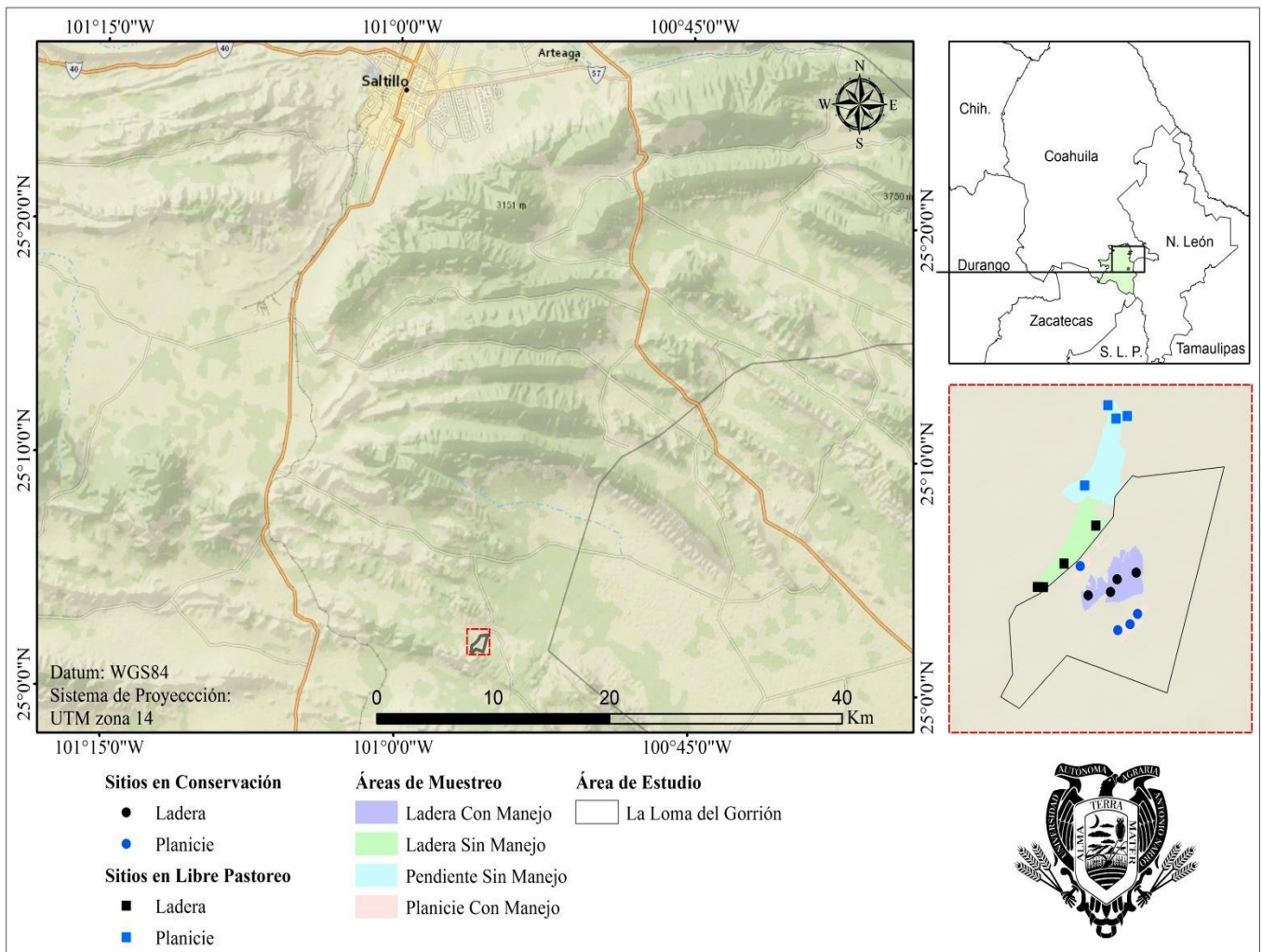


Figura 1. Localización del área de estudio Loma del Gorrión, Saltillo, Coahuila (elaboración propia).

La RNV “Loma del Gorrión” es un área ubicada dentro de las 152 Regiones Terrestres Prioritarias de México definidas por la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). El área pertenece a la región prioritaria No. 80 llamada Tokio, ya que destaca por la presencia de una riqueza ecosistémica y específica comparativamente mayor que en el resto del país, así como una integridad ecológica funcional significativa y donde, además, se tiene una oportunidad real de Conservación (Programa de manejo de la RNV Loma del Gorrión, PRONATURA NORESTE A.C. S/F).

De las 230 áreas de importancia para la conservación de las aves (AICA) definidas por CONABIO en México. Esta es la numero 36, también conocida por el nombre de PRADERA DE TOKIO, siendo esta un corredor biológico para las aves

migratorias, dándole importancia para el Gorrión de Worthen (*Spizella wortheni*), el cual es una especie endémica y en peligro de extinción (Programa de manejo de la RNV Loma del Gorrión, PRONATURA NORESTE A.C. S/F).

También es un área que es prioridad para la recarga hidrológica y la captura de carbono, siendo también parte del corredor migratorio de la Mariposa monarca (*Danaus plexippus*) (Programa de manejo de la RNV Loma del Gorrión, PRONATURA NORESTE A.C. S/F).

4.1.1 Clima

El clima que predomina en el área donde se realizó el estudio, de acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García (1973) como clima semiárido templado (Bs1kw). CONABIO (2008) reporta una temperatura media anual de 12 °C a 18 °C, con lluvias presentes en verano.

4.1.2 Suelo

CONABIO 2018, en sus cartas edafológicas reporta que el predio cuenta con suelos Leptosoles y Calcisoles (Figura 2).

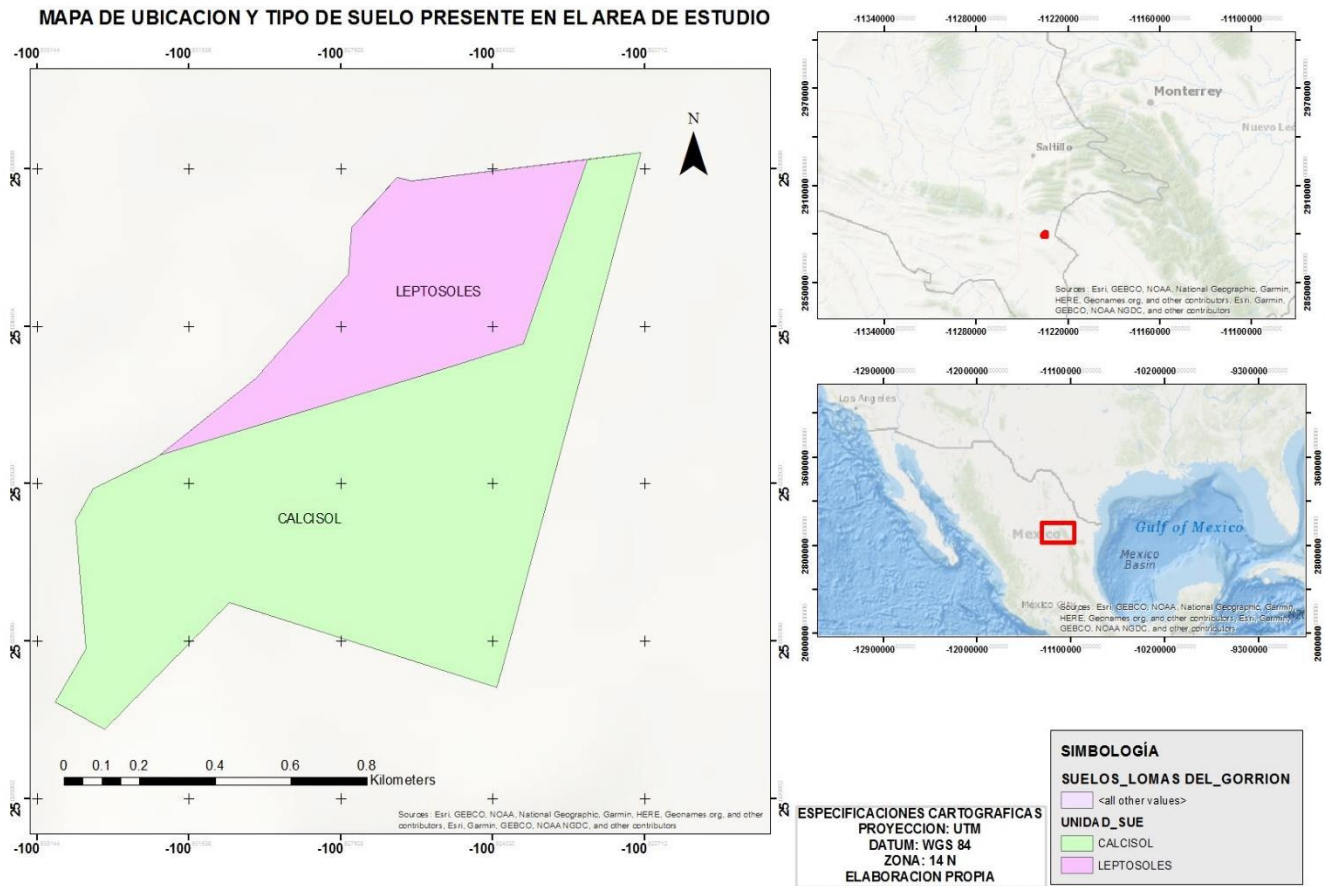


Figura 2. Clasificación del tipo de suelo que predomina en el área de estudio.

4.1.3 Vegetación

El Informe Técnico presentado por la Universidad Autónoma de Nuevo León (2015), la vegetación existente dentro del predio es representada en tres tipos principales; pastizal, matorral y herbácea:

El pastizal que se distribuye en el área de conservación es diferenciado por su fisonomía del sitio, encontrándose uno de ellos en lomeríos y otro en planicies.

Pastizal

Pastizal mediano amacollado en lomerío: en esencia son gramíneas y se encuentran en manchones, siendo de porte mediano. Entre las especies más dominantes esta la *Bouteloua gracilis* y *Lycurus phleoides*. De estos su característica es que se presenta en suelos de lomerío y pedregosos.

Pastizal mediano amacollado en planicie: este se encuentra principalmente compuesto por gramínea *Stipa clandestina*, donde su distribución es de forma

uniforme y de una intensidad alta. Esta se presenta en terrenos que fueron utilizados tiempo atrás en agricultura y el suelo es de mayor profundidad.

En cuanto a las herbáceas existentes en el área de conservación, son perennes, están distribuidas, contando con espacios abiertos, siendo además anuales de temporada, sobresaliendo la especie *Tiquilia canescens* e *Hymenoxys odorata*.

El matorral que se desarrolla dentro del área es de porte bajo de menos de un metro de altura y leñoso además en asociación con el pastizal. Es de observarse que hay matorral desértico *Rosetofilo*, además se observa la presencia de matorral *Crassirosulifolio* espinoso (*Dasyllirion sp*, *Nolina cespitifera* y *Agave striata*) e izotal, de *Yucca filifera* y *Yucca carnerosana* y algunas Cactáceas como *Cylindropuntia imbricata*, *Condalia warnockii* y *Berberis trifoliata*.

Por otro CONABIO (2018), en sus cartas de vegetación y uso de suelo, reporta que la vegetación que predominante en el área de estudio es el pastizal, así como también una parte del área es utilizado para la agricultura de temporal (Figura 3).

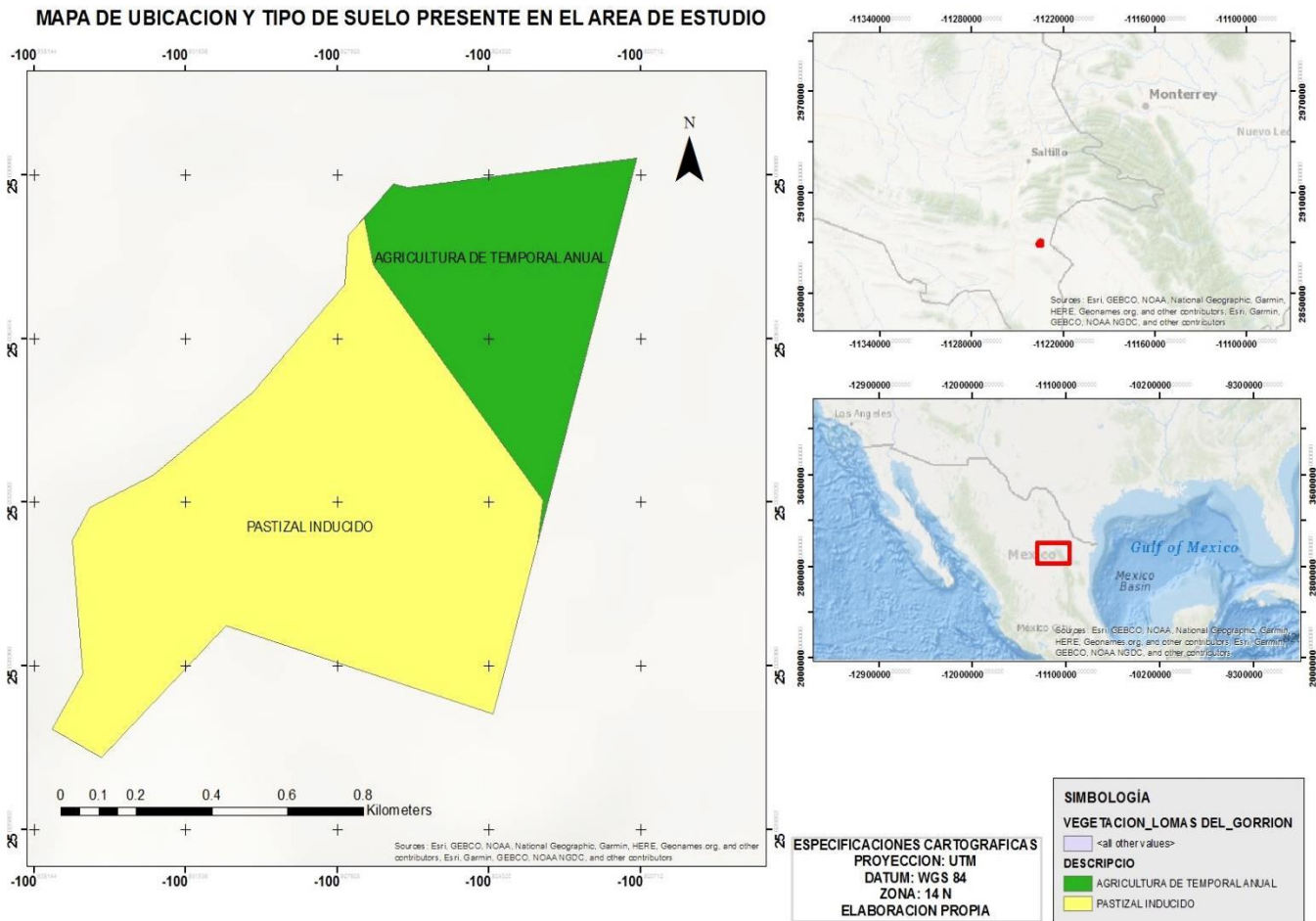


Figura 3. Tipo de vegetación y uso de suelo predominante en el área de estudio Loma del Gorrión.

4.1.4 Área de Conservación

Una de las áreas donde se desarrolló el presente trabajo se encuentra bajo protección con un decreto de Reserva Natural Voluntaria (RNV), por lo cual no existe algún agente de disturbio actualmente la importancia de esta área radica en la presencia de especies focales, esto para su conservación, enfocando mayor esfuerzo en las especies endémicas, amenazadas o en peligro de extinción tales como: aguililla real (*Buteo regalis*), halcón peregrino (*Falco peregrinus*), tecolote llanero (*Athene cunicularia*), chorlito llanero (*Charadrius montanus*), zarapito pico largo (*Numenius americanus*), verdugo (*Lanius ludovicianus*), bisbita llanera (*Anthus spragueii*), gorrión de cassini (*Aimophila cassinii*), gorrión de bardi (*ammodramus bairdii*), perrito llanero mexicano (*Cynomys mexicanus*), tlalcoyote (*Taxidea taxus*), Zorra del desierto (*Vulpes velox*), y Águila real (*Aquila chrysaetos*)

(Programa de manejo de la RNV Loma del Gorrión, PRONATURA NORESTE A.C. S/F).

4.1.5 Área de libre pastoreo

Ejido el Cercado perteneciente al municipio de Saltillo, Coahuila, cuenta con más de mil 183 hectáreas, de las cuales tienen proporciones de tierras definidas para laboreo en una parte, y una mínima parte es de propiedad privada, el restante es utilizado para pastoreo, ya que en esta área se encuentra el perrito llanero mexicano (*Cynomys mexicanus*), es denominado así por el sonido parecido a un ladrido que emite cuando se siente amenazado, pero en realidad es un roedor que forma colonias para habitar en las llanuras del campo. Es por tal hecho que solo se puede realizar como actividad económica el pastoreo (libre pastoreo), dando las condiciones adecuadas para el experimento y así darle explicación a la hipótesis y objetivos planteados en el presente trabajo.

Para la ejecución del presente proyecto se delimitara un área de 34.36 hectáreas que diariamente se encuentra bajo la presión de pastoreo.

4.1.6 Condiciones topográficas

La topografía es una variable de mayor importancia al momento de predecir la erosión y sedimentación de un sitio. Los factores como la inclinación, y la distancia de la pendiente, podrán determinar la cantidad y velocidad del escurrimiento superficial. La longitud de la pendiente influye directamente en la profundidad y el poder erosivo del flujo superficial (Brooks *et al.*, 2003; Morgan, 2005; García-Chevesich, 2008).

4.1.7 Condiciones topográfica de Ladera

Las zonas de ladera, son un área de importante potencial para pérdidas de suelo he iniciar la erosión hídrica, dominando los procesos de erosión, las partículas del suelo se desprenden por la acción del agua constituyendo un suministro principal de sedimentos en cuencas de montaña por lo tanto la erosión en la ladera se debe a la concentración de flujo en surcos y al impacto de las gotas de lluvia y la escorrentía superficial laminar en las áreas entre los surcos (Knisel, 1980).

Por otro lado, Foster, *et al* (1972) señala que, en terrenos de ladera, el impacto de las gotas de lluvia es el factor dominante en el proceso erosivo, debido a que ocasionan la pérdida de suelo en un 10% y la lámina de flujo sobre la ladera tiene poca capacidad de desprendimiento, sin embargo tiene una alta capacidad de transporte de las partículas previamente removidas.

4.1.8 Condición topográfica Plan

Los escurrimientos generados por laderas que tiene un terreno, provocan la acumulación de suelo en las partes bajas o piedemonte, ya que es donde el escurrimiento pierde velocidad, entonces disminuye la capacidad para seguir arrastrando partículas de suelo, por lo que comienza a depositarlas, ya que existe un desnivel del terreno o cambio de topografía, también existe influencia para su retención del suelo el tipo de vegetación que existe en el área (Ellison 1947 citado por Solano,1982).

El resultado de este proceso del depósito de sedimentos es la creación de llanuras aluviales; resultando extensos depósitos de materiales finos que el escurrimiento deja a su paso debido a su pérdida de capacidad de transporte en el tramo inferior del terreno, por lo tanto en las partes planas predominan suelos con partículas finas, siendo aptos para practicar la agricultura, ya que es suelo más fértil (Cerde, 1995).

4.1.9 Distribución de las parcelas por condición

La RNV "Loma del Gorrión" tiene una superficie total de 114 hectáreas, dentro del área se cuenta con vegetación de pastizal, hierbas y matorral, así como también las condiciones topográficas que van desde pendientes ligeras hasta lomeríos.

Para realizar el presente trabajo de investigación se realizó un mapa del área, delimitando áreas de la condición de ladera, así como áreas de condición plana y/o pie de monte, dentro del predio se delimitaron dos áreas de condición plana y una de la condición de ladera, mediante el programa de QGIS, se le traslapo una malla cuadrangular en cada uno de las áreas delimitadas, teniendo cada cuadro un metro por un metro (Figura 2, parte superior del mapa), dándoles un número a cada cuadro; se procedió a realizar una aleatorización de ocho parcelas de

muestra totales dentro del área de manejo de conservación, estipulándose cuatro parcelas de simulación de lluvia por cada condición topográfica, cuatro en ladera y cuatro en pie de monte o condición plana (Figura 4).

De igual manera se realizó el mismo procedimiento en el área de libre pastoreo seleccionando áreas de condición topográfica en ladera y piedemonte y/o plana, seleccionando por medio de la aleatorización cuatro parcelas de simulación de lluvia por condición topográfica.

4.1.10 Materiales y equipo del trabajo de campo

Para la realización del presente trabajo de investigación, se necesitaron materiales, herramientas y equipo, que se describe a continuación (Cuadro 1)

Cuadro 1. Materiales, herramienta y equipo utilizado en la investigación.

Actividad	Materiales	Herramientas	Equipo
Establecimiento en campo	Bote de 19 lt	Bastidor de metal	Calculadora
	Formatos de registro	Lazos o cuerdas	Cámara fotográfica
	Frascos de plástico de 250 ml	Manguera	Cronometro
	Hielera	Navaja/ cuchillo	Flexometro
	Cortina de hule	Pala	Gps
	Lapiz/bolígrafo	Pico	Motobomba
	Mapa del área con coordenadas		Simulador de lluvia
	Marcador permanente		Vehículo
	Recipientes de 10 lt		
	Tabla de apoyo		
	Contenedor de agua de 1000 lt		
Materiales de laboratorio	Formatos de registro	Estufa de resistencia	Bascula analítica
	Frascos de precipitado	Malla de asbesto	Calculadora
	Muestras de sedimentos colectadas en campo		
Insumos y/o viáticos		Gasolina	

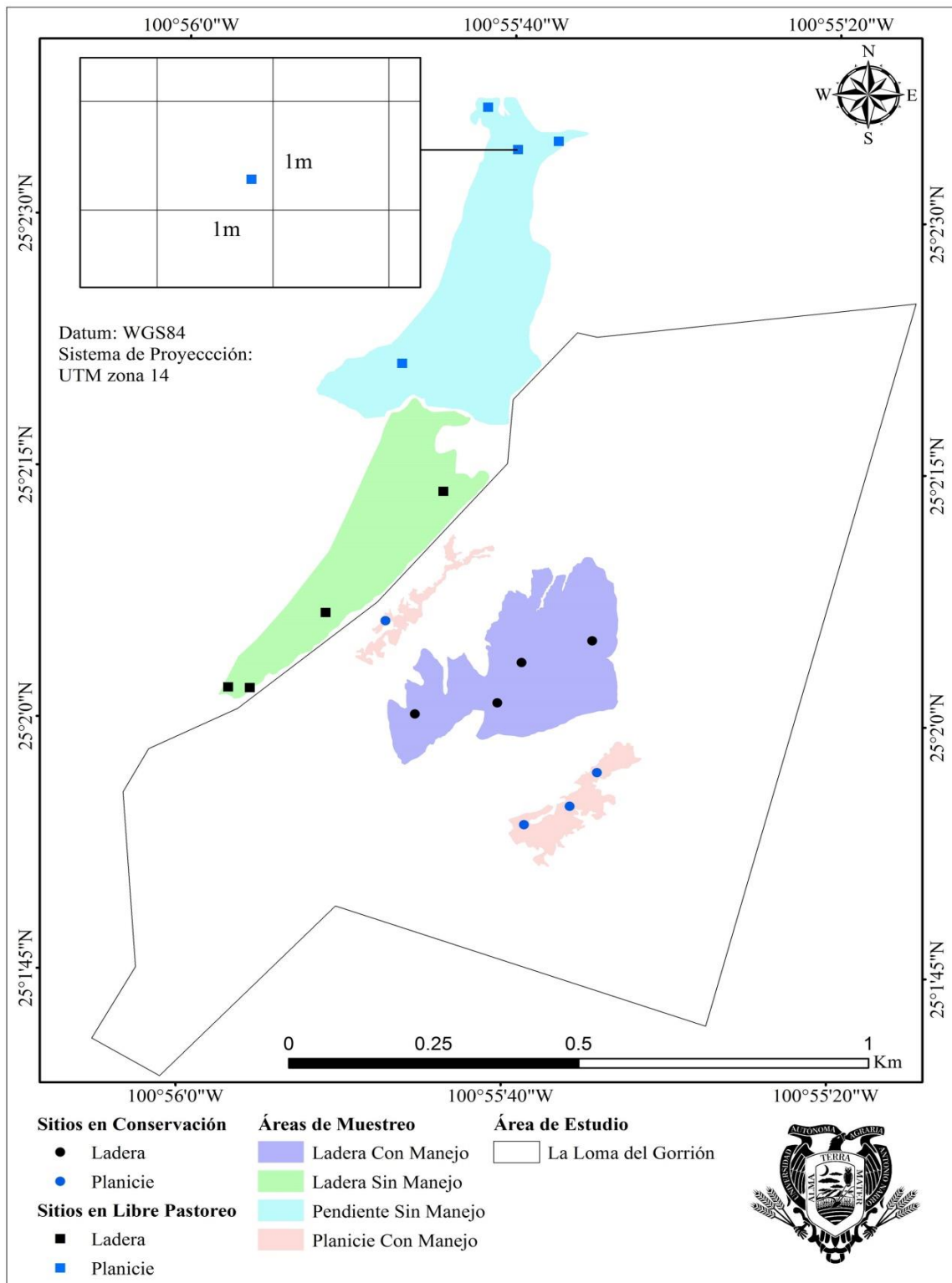


Figura 4. Distribución de los sitios de muestreo en cada condición de manejo en el Predio Loma el Gorrion y el ejido el Cercado, Saltillo, Coahuila (Elaboración propia).

4.2 Simulación de lluvia

Para realizar una simulación que sea representativa en mediciones y que sus descargas en gotas (intensidad) fueran lo más acercadas posibles a las reales, se realizaron pruebas en cada sitio.

Se inició con el llenado del depósito de agua de 1000 litros (Figura 5), esta fue trasladada al lugar donde se realizó la simulación. Una vez estando en el punto señalado se procedió a la instalación del simulador, este fue colocado en función de la pendiente predominante (Figura 6a). Ya puesto el simulador en el sitio elegido, se procedió a colocar el bastidor metálico, para separar la porción de suelo que fue utilizado para la simulación, además de que el bastidor no dejó que salga el agua que se aplicó dentro de la porción de terreno (Figura 6b), y se dirigió con la misma forma que tiene el bastidor, ya que en la parte baja del terreno, el bastidor contó con un colector que dirige toda la escorrentía a una boquilla que tiene la forma de un prisma rectangular (Figura 7).



Figura 5. Llenado del contenedor de 1000 litros de agua.



Figura 6. Colocación del simulador en función de la pendiente predominante (a); Colocación del bastidor (b).



Figura 7. Boquilla primatica, que dirige el escurrimiento hacia un colector de agua.

El simulador estuvo a una altura de dos metros del suelo al panel de goteo, en ocasiones no tuvo la altura correspondiente, en cada soporte (patas) de las esquinas del armazón, se cuenta con un tornillo ajustador, lo cual este fue liberado/aflojado para que liberara un tramo más de tubular que se encuentra dentro de uno más grande, así ir liberando más el tubo y obtener la altura estipulada, así en cada esquina del armazón. Ya obtenida la altura se observó que el armazón estuviera nivelado en los cuatro lados, para esto se cuenta con un nivel gota en cada lado (Figura 8), ya que se necesitó que la lluvia simulada (las

gotas de agua) estuviera dispersa en igualdad dentro del panel, para que las gotas de la lluvia simulada tuvieran una misma dispersión dentro de la porción de terreno seleccionado (Figura 9).



Figura 8. Observación del nivel gota para su mejor distribución de las gotas.



Figura 9. Distribución igualitaria de las gotas al suministrar agua al panel

Enseguida se conectó la manguera a una motobomba de 1 HP con una salida de agua de 1.5 pulgadas; a partir de la motobomba se conectó la manguera al depósito de agua de 1000 litros (Figura 10).

Ya instalado el simulador, se prosiguió con la apertura de la válvula liberadora de agua del garrafón, ya llena la manguera que va del garrafón a la motobomba, esta fue encendida y calibrada con el acelerador para obtener la entrada de agua correspondiente al panel del simulador.

Se observó que el manómetro registrara la presión, lo cual se trabajó con una presión que oscila desde los seis a diez libras por pulgadas cuadradas (psi), esto dependió de la condición topográfica en la que se encontró cada sitio, también se tuvo en constante observación del medidor de flujo de agua instalado en la entrada del panel de goteo en el simulador, lo anterior para calibrarlo al gasto adecuado y así obtener la intensidad de precipitación necesitada para el área (Figura 11). De acuerdo a los datos de intensidades máximas utilizadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), expresado en las Isoyetas de intensidad de lluvia (mm/hr), la intensidad de lluvia en la zona tiene un rango de 135 mm/hr., hasta 175 mm/hr., con una duración de lluvia de cinco a diez minutos con un periodo de retorno de 10 años.



Figura 10. Conexión del contenedor de agua a la Motobomba, y de esta al simulador.



Figura 11. Observación del manómetro

4.3 Toma de muestras

Para la toma de muestras en la simulación de lluvia, constituyo de dos actividades:

1.- Registro de la cantidad de gasto en cada intervalo de tiempo: en esta se registró la cantidad de agua inyectada al panel de goteo (Figura 12), se anotó cada cinco minutos el número que mostró el medidor de flujo de agua, durante media hora en cada repetición, por lo tanto se debió de tener seis registros de intervalos de inyección de agua al simulador (Figura 13).



Figura 12. Registro de la cantidad de agua inyectada al panel del simulador.

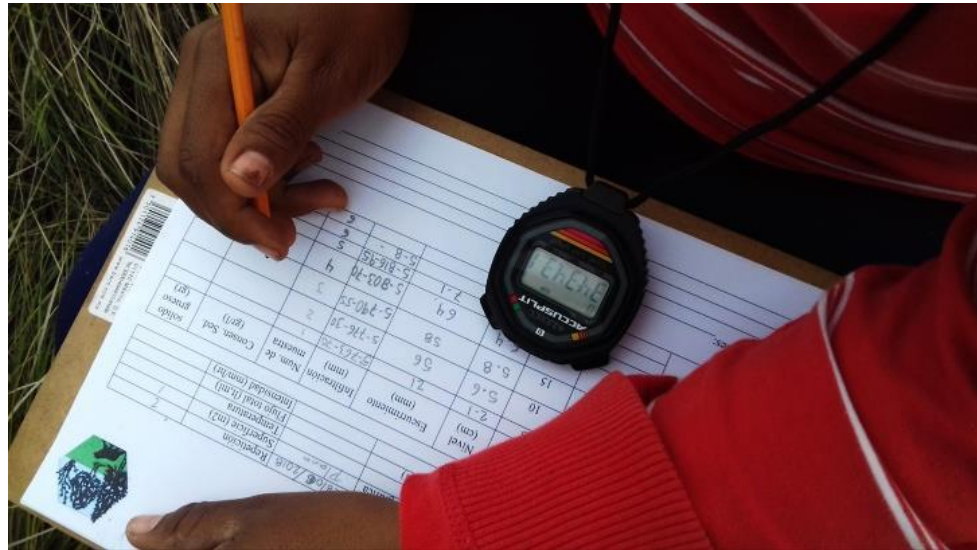


Figura 13. Anotación del registro de agua cada cinco minutos durante media hora.

2.- Registro de la cantidad de agua escurrida con sedimentos: para esta actividad, se realizó un hueco en la tierra, en la parte terminal del bastidor (colector), se colocó un recipiente de 10 litros, este recipiente recibió todo el escurrimiento y sedimentos generado durante cinco minutos (Figura 14a), fue extraído y depositado en el bote de 19 litros, se midió con un flexómetro la cantidad de agua recolectada en ese lapso de tiempo (Figura 14b), a su vez se tomó una muestra de 250 ml de agua con el sedimento generado (Figura 15), se recolectó un total de seis muestras en cada repetición, cada muestra de suelo con agua fue registrada con una nomenclatura donde se especificó la condición de manejo, numero de parcela o repetición, la condición topográfica y el intervalo de tiempo.



Figura 14. Recolección del escurrimiento de agua de 30 minutos de simulación (a); Medición del agua recolectada de 30 minutos de simulación (b).



Figura 15. Recolección de la muestra de agua con sedimentos generados durante 30 minutos de lluvia simulada.

4.4 Trabajo en laboratorio

Una vez recolectadas las muestras de sedimentos se procedió a su secado en el laboratorio del Departamento Forestal; se agito la muestra colectada en el frasco de campo, para posteriormente en un vaso de precipitado se depositó (Figura 16a), previo a esto se pesó el vaso de precipitado en vacío en una báscula analítica modelo LAB-500, se colocó en una estufa eléctrica de resistencia, sobre la resistencia se colocó una malla de asbesto (Figura 16b) para evitar que se agrietara el cristal templado del vaso de precipitado con el calor puesto directo, se inició la ebullición del agua que contenía el vaso (Figura 17a), y este se retiró hasta que se termine por evaporar el agua al 100 % del vaso, dejando en su interior solo suelo seco (Figura 17b).

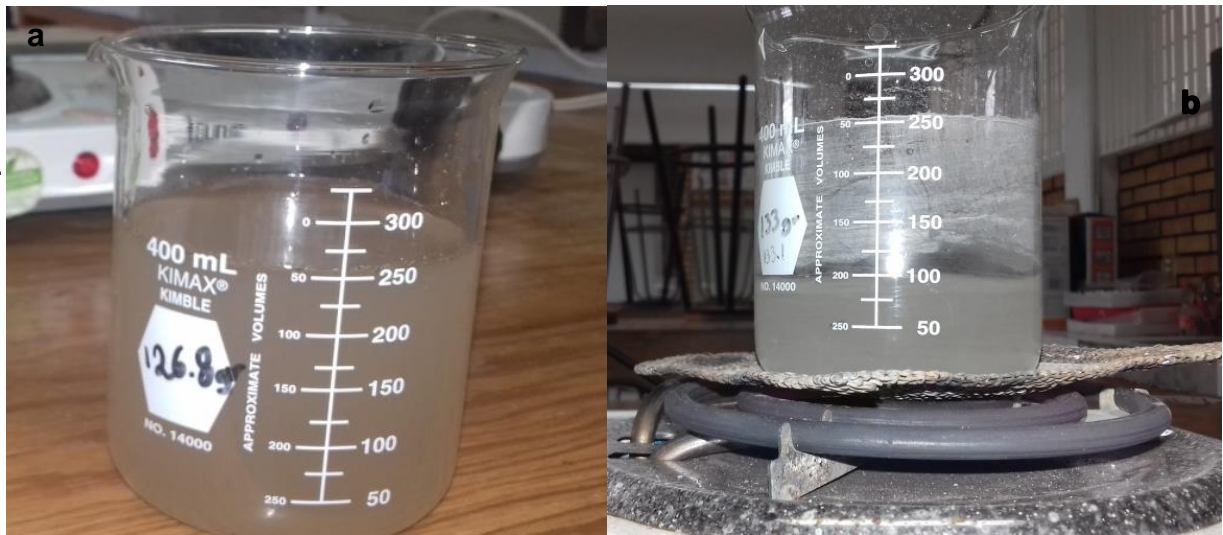


Figura 16. Vaciado de la muestra de campo en el vaso de precipitado (a); Colocación de la malla de asbesto para evitar el agrietamiento del vaso de precipitado (b).



Figura 17. Inicio de la ebullición del agua que contiene la muestra de suelo (a); Término de la evaporación del agua al 100 % (b).

Una vez evaporada el agua, se volvió a pesar, se realizó el destarado, esto para tener el peso exacto del sedimento en seco, se anotó el peso seco del suelo en la hoja de registro que corresponden a cada muestra de suelo, lo anterior se realizó en todas las muestras colectadas (Figuras 18a y 18b).



Figuras 18. Destarado de cada una de las muestras de suelo (a y b).

La metodología descrita con anterioridad, se ajusta a la teoría del análisis gravimétrica (determina la cantidad de analito por medio de una pesada).

Los métodos gravimétricos se clasifican con base en la forma la forma en que se efectúa la separación en: métodos directos o deprecipitación y métodos indirectos o de volatilización o desprendimiento.

Por lo tanto la metodología utilizada en el presente trabajo es la de vaporización o volatilización, que describe la eliminación de la parte volátil por calentamiento directo (evaporación del agua). Por lo tanto el residuo se pesa y se determina su peso. En gravimetría se le denomina volatilización indirecta.

4.5 Diseño experimental

Para evaluar el efecto de la condición de manejo del terreno sobre la producción de sedimentos, la distribución de las parcelas para hacer la simulación de lluvia, se distribuyeron considerando un diseño completamente al azar; donde, las condiciones de manejo se consideraron como tratamientos, en las cuales se aleatorizó la distribución de las parcelas; dentro de cada tratamiento se realizaron ocho repeticiones, resultando un total de 16 parcelas, en cada parcela se recolectara un total de seis muestras de agua escurrida de la simulación, en intervalos de tiempo de cinco minutos, terminando hasta el minuto 30. Adicionalmente y para evaluar el efecto de la condición topográfica sobre la producción de sedimentos, se consideraron para cada condición de manejo, dos condiciones topográficas (pie de monte/plan y ladera), en las cuales se establecieron cuatro parcelas para aplicar la simulación de lluvia (Cuadro 2).

Cuadro No. 2 Representación del diseño experimental, así como la especificación de la nomenclatura asignada en cada muestra recolectada.

Manejo/tratamiento	Condición topográfica							
	Pie de monte/Plan				Ladera			
	Repeticiones				Repeticiones			
	1	2	3	4	1	2	3	4
	5, 10..30	5, 10..30	5, 10..30	5, 10..30	5, 10..30	5, 10..30	5, 10..30	5, 10..30
Libre pastoreo (Lp)	Lp1-P5, Lp1-P10,,, Lp1-P30	Lp2-P5, Lp2-P10... Lp2-P30	Lp3-P5, Lp3-P10... Lp3-P30	Lp4-P5, Lp4-P10... Lp4-P30	Lp1-L5, Lp1-L10...Lp1-L30	Lp2-L5, Lp2-L10...Lp2-L30	Lp3-L5, Lp3-L10...Lp3-L30	Lp4-L5, Lp4-L10...Lp4-L30
Protección (Pr)	Pr1-P5, Pr1-P10...Pr1-P30	Pr2-P5, Pr2-P10...Pr2-P30	Pr3-P5, Pr3-P10...Pr3-P30	Pr4-P5, Pr4-P10...Pr4-P30	Pr1-L5, Pr1-L10...Pr1-L30	Pr2-L5, Pr2-L10...Pr2-L30	Pr3-L5, Pr3-L10...Pr3-L30	Pr4-L5, Pr4-L10...Pr4-L30

Dónde: Lp / Pr: área de libre pastoreo o área con manejo o protección. 1,2...6: número de parcela o de repetición.
P/L: condición topográfica, plan o ladera. 5,10,15...30: intervalos de tiempo (minutos).

4.6 Análisis estadístico

Se procedió a la captura de datos en el programa Excel, separándolos de acuerdo a su condición de manejo, posición topográfica, número de repetición, cobertura de vegetación en porcentaje, altura promedio de la cobertura vegetal, pendiente, presión de inyección de agua (PSI), flujo total de escorrentía, minuto en que inicio la escorrentía, flujo por intervalo de tiempo, intensidad en mm/h, intervalos de tiempo, escurrimiento en litros por intervalo de tiempo, la infiltración en litro y por último la concentración de sedimentos por litro.

Una vez generada la base de datos, esta fue importada desde al programa STATISTICA 7, en el programa se realizó un análisis de varianza completamente aleatorio (ANOVA $\alpha = 0.05$) para la producción de sedimentos en la condición de manejo, producción de sedimentos por condición topográfica dentro del área de conservación, producción de sedimentos por intervalos de tiempo dentro del área de conservación, producción de sedimentos por condición topográfica dentro del área de libre pastoreo y producción de sedimentos por intervalos de tiempo dentro del área de libre pastoreo; en los casos que resultaran diferencias significativas ($\alpha = 0.000-0.009$), se procedió a realizar un análisis de comparación de medias a través de la Prueba de Tukey con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

Al realizar el análisis de varianza es empleado el siguiente modelo estadístico lineal (Montgomery, 1991):

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad i=1, \dots, a; j=1, \dots, b$$

Y_{ij} = observación j del tratamiento i .

μ = media general del experimento.

τ_i = efecto del tratamiento i .

ε_{ij} = errores aleatorios independientes con distribución.

Para la comparación de producción de sedimentos en ambas condiciones topográficas entre las condiciones de manejo, se analizó mediante el arreglo

experimental factorial de dos por dos, en el que cada factor constituye la condición de manejo (libre pastoreo (Lp) y protección (Pr)) y los niveles los constituyen las dos condiciones topográficas (pie de monte/plan y ladera).

Al realizar el factorial dos por dos, es utilizado el siguiente modelo (Steel y Torrier 1995):

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

V. Resultados

5.1 Producción de sedimentos por condición de manejo

El análisis de varianza completamente aleatorio (ANOVA $\alpha = 0.05$) para el producción de sedimento entre condiciones de manejo, se encontró diferencias altamente significativas ($P > 0.000001$); por lo tanto, el análisis de comparación de medias a través de la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$), mostró dos grupos de medias, en los cuales, el primero lo constituye el área de conservación, con una media de 2.3250 gr/l; mientras que el área de libre pastoreo, constituye el segundo grupo, con una media de 10.4583 gr/l. (Cuadro 3; Figura 19).

Cuadro 3. Comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) en las dos áreas de manejo

Manejo	Media de la producción de sedimentos en gr/l	Agrupación Tukey
Conservación	2.32500	a
Libre pastoreo	10.45833	b

*Letras iguales pertenecen al mismo grupo

Las diferencias encontradas en las dos áreas de análisis, concuerda con los resultados reportados por Gutiérrez *et al.* (1990), encontró diferencias en los diferentes tipos de cobertura, en el área de matorral micrófilo reportó un valor de 4.55 gr/l, en el pastizal amacollado 2.55 gr/l y el pastizal mediano abierto 1.76 gr/l; estas diferencias son explicadas por la escasa cubierta vegetal, lo que deja al suelo el descubierto y dispuesto al escurrimiento, dando las condiciones aptas para el arrastre de sedimentos; mientras que en el área de estudio las coberturas fueron 88.75 %, para la condición de manejo de área bajo conservación y de 25 % para la condición de libre pastoreo.

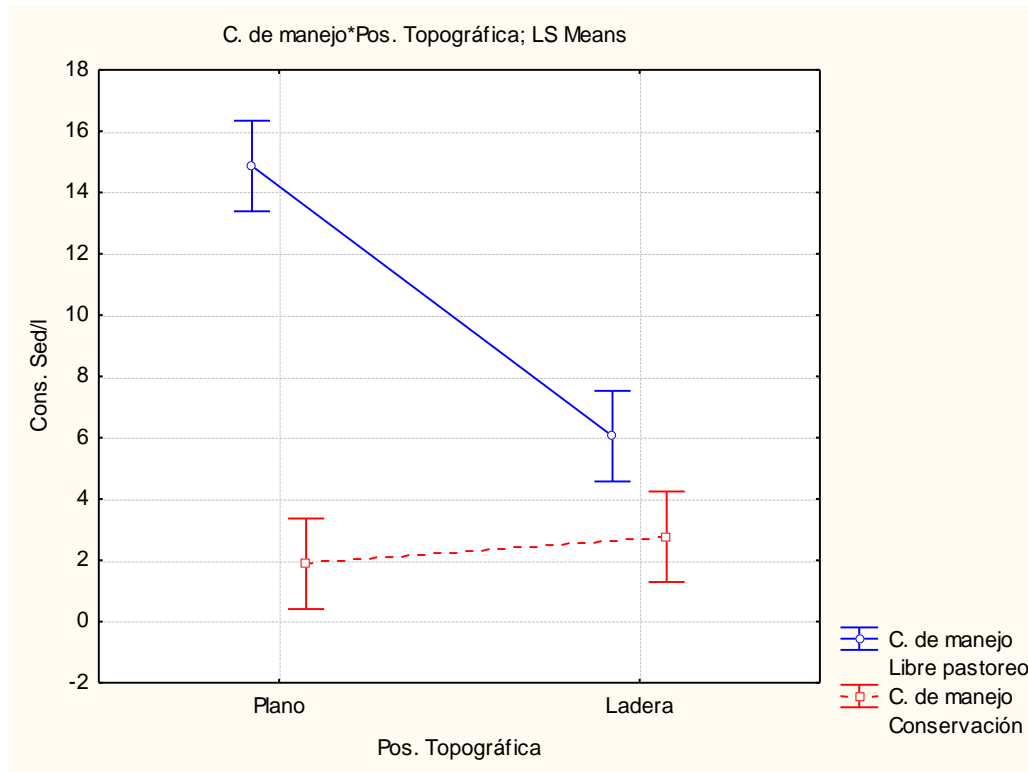


Figura 19. Concentración de sedimentos en cada condición de manejo de acuerdo a su posición topográfica.

5.2 Producción de sedimentos por condición topográfica dentro del área de conservación

El análisis de varianza completamente aleatorio (ANOVA $\alpha = 0.05$) para el producción de sedimento dentro de la condición de manejo de conservación, se encontró diferencias significativas entre las posiciones topográficas ($P > 0.011337$); por lo tanto, el análisis de comparación de medias a través de la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$), mostró dos grupos de medias, en los cuales, el primero lo constituye la condición topográfica plana, con una media de 1.88333 gr/l; mientras que para la condición topográfica de ladera, constituye el segundo grupo, con una media de 2.76667 gr/l. (Cuadro 4; Figura 20).

Cuadro 4. Comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) dentro de la condición topográfica en el área que se encuentra bajo manejo.

Condición topográfica	Media de la producción de sedimentos en gr/lt	Agrupación Tukey
Plana	1.883333	a
Ladera	2.766667	b

*Letras iguales pertenecen al mismo grupo

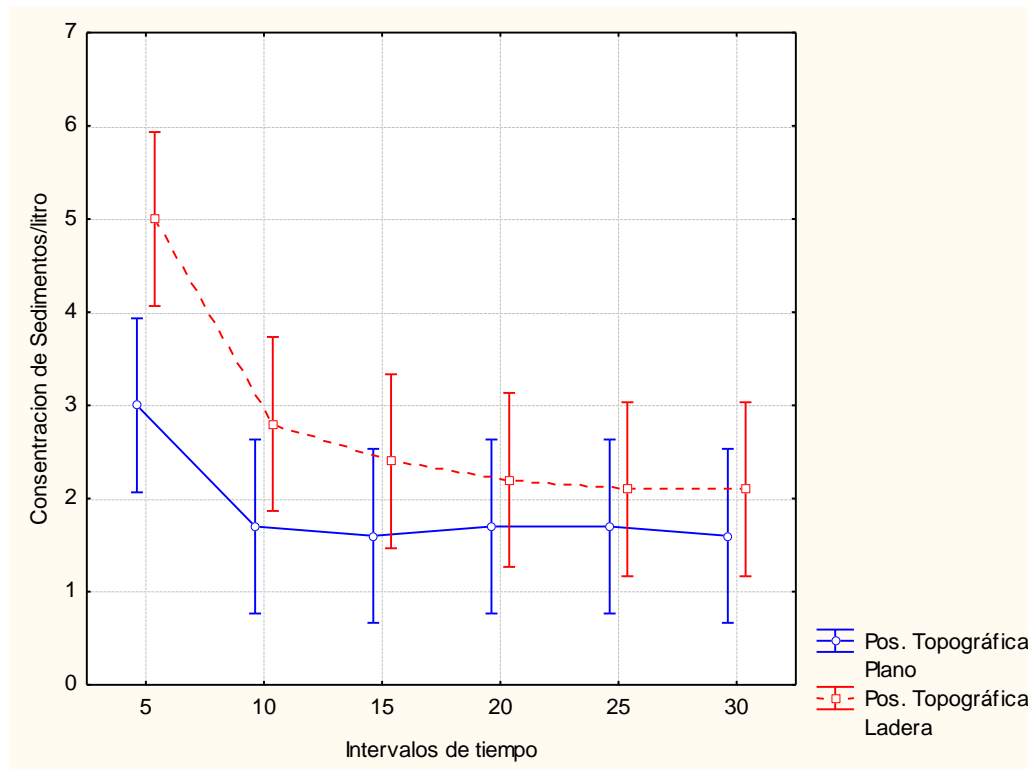


Figura 20. Concentración de sedimentos en la posición topográfica dentro del área de conservación en cada intervalo de tiempo.

Las diferencias encontradas en las áreas de análisis difieren con los resultados reportados por Betancourt *et al.* (2000), ya que encontró diferencias en la producción de sedimentos en pasto nativo en parte este de la Cuenca del Río

Coxcacoaco, en la Sierra Nevada, reportando en suelo seco 156 gr/m², en suelo húmedo 158.4 gr/m², estas dos condiciones con 70 mm/hr de lluvia simulada; así mismo realizando una simulación de lluvia más, pero con intensidad de 120 mm/hr, reporto en suelo seco 200.5 gr/m² y en suelo húmedo 287.2 gr/m²; teniendo esta área una pendiente promedio que va desde 8 a 10 %. En gran medida se tienen diferencias con los resultados obtenidos en el presente trabajo. Esto es explicado por el tipo de simulador utilizado, la pendiente promedio en loma del gorrión es de 5.75 % en el área plana y 16.75 % para ladera; así como también la forma de la recolección de las muestras, ya que Betancourt tomo las muestras hasta que se tenía un recipiente de 1 L completamente lleno y este obtuviera un llenado constante en cada lapso de tiempo.

Por otra parte Rivera-Ruiz *et al.*, (2012), estableció parcelas en áreas con diferentes tipos de vegetación, una de las parcelas establecidas fue en área de pastizal, obteniendo valores promedio de un año de 2.97 Ton/ha, lo que se asemeja a la vegetación existente en el área de loma del gorrión donde se obtuvieron los valores de 0.018833 ton/ha. en la parte plana y 0.027667 ton/ha. en la parte de ladera, esto en un evento de lluvia simulada con una intensidad de 135 mm/hr. de lluvia; las diferencias de los valores obtenidos son explicados por la metodología utilizada, ya que en loma del gorrión se utilizó un simulador de lluvia con pendientes promedio de 5.75 % en el área plana y 16.75 % para ladera; mientras que Rivera-Ruiz estableció parcelas fijas con una pendiente promedio de 32 % , de mayor dimensión, aprovechando la precipitación natural, lo que hace que su intensidad de lluvia no tenga una intensidad definida por el número de eventos de lluvia de ese año y provoque variaciones tanto en el escurrimiento así como en la producción de sedimentos.

5.3 Producción de sedimentos por condición topográfica dentro del área de libre pastoreo

El análisis de varianza completamente aleatorio (ANOVA $\alpha = 0.05$) para el producción de sedimento dentro de la condición de libre pastoreo, se encontró diferencias altamente significativas ($P > 0.000001$); por lo tanto, el análisis de

comparación de medias através de la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$), mostró dos grupos de medias, en los cuales, el primero lo constituye la condición topográfica de ladera, con una media de 6.05000 gr/l; mientras que para la condición topográfica plana, constituye el segundo grupo, con una media de 14.866672 gr/l. (Cuadro 5; Figura 21).

Cuadro 5. Comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$), dentro de la condición topográfica en el área que se encuentra en libre pastoreo.

Condición topográfica	Media de la producción de sedimentos en gr/l	Agrupación Tukey
Ladera	6.05000	a
Plana	14.86667	b

*Letras iguales pertenecen al mismo grupo

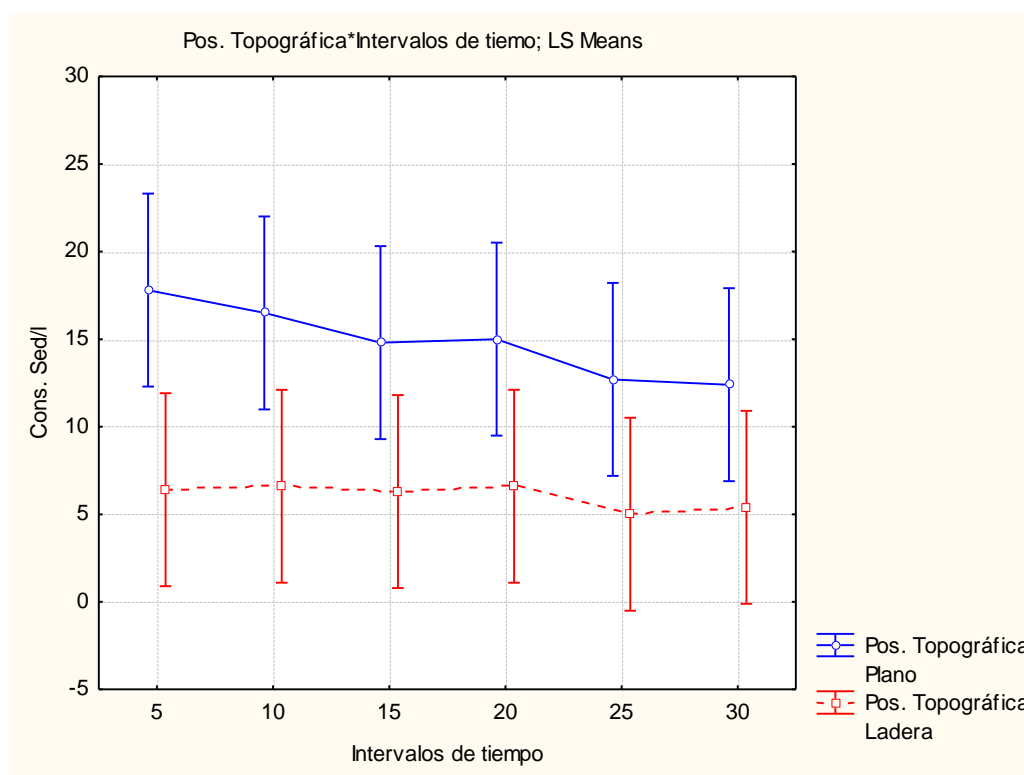


Figura 21. Concentración de sedimentos por posición topográfica dentro del área de libre pastoreo en cada intervalo de tiempo.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo difieren con los reportados por Dueñez *et al.*, (2006) ya que encontró diferencias en las simulaciones de lluvia realizadas en 1998 y 1999 durante julio y agosto de cada año, en sitios forestales, donde tenían un tratamiento silvícola, clasificando las áreas de la siguiente manera; segundo aclareo, tercer aclareo, corta de regeneración y pastizal, además de que era complementado con carga animal. En 1998 en pastizal reporto 2.45 g/l y en 1999 en la misma área de pastizal reporto 2.12 g/l, aunque ligeramente disminuyo en el segundo año de evaluación, ninguno de los dos es similar al obtenido en el presente trabajo. Las diferencias presentadas podrían deberse al diferente manejo que se les da a las dos áreas, ya que en las áreas que escogió Dueñez existe la presencia de ganado vacuno, siendo este diferente al que es presente en loma del gorrión, ya que la presencia es de ganado bovino, caprino, equino y vacuno, esta diversidad de carga animal provoca que el suelo se encuentre más al descubierto al impacto de la gota de lluvia. Además de tener diferencias en el tipo de simulador, así como en la forma del bastidor, ya que el utilizado por Dueñez es circular con un diámetro de 1 m., y las simulaciones se realizaron a una altura de 152 cm del simulador al suelo, además la simulación tuvo una intensidad de 10.47 cm h^{-1} (104.7 mm/h).

También los análisis reportados por Chagas *et al.* (2011) difieren, realizó simulación de lluvia con un micro-simulador, en las cuencas media y alta del Arroyo del Tala, en el sector NE de la provincia de Buenos Aires, en tierras de pastizal que se encuentra bajo presión de ganadería (pastoreo), seleccionó áreas no degradadas (GN) obteniendo en esta una producción de sedimentos de 0.3298 g/l, en suelo con tratamiento agrícola (AG) 0.4889 g/l, suelo con grado de sodicidad (GS) con 0.7394 g/l y ganadero degradado (GD) con 0.253 gr/l; es de vital importancia mencionar que la intensidad simulada fue de 60 mm/ hr, además de que los resultados que se reportan según el análisis realizado por Chagas, no existen diferencias significativas entre AG, GN y GD, en cambio GS es diferente al grupo antes mencionado. La simulación echa por Chagas, tuvo una altura de 150 cm del simulador al suelo, especifica que la gota tenía 4.7 mm., el bastidor

utilizado es metálico, teniendo dimensiones de 25 x 25 cm cada lado, seccionando así la porción de terreno a evaluar.

5.4 Producción de sedimentos entre condiciones topográficas y condiciones de manejo.

El análisis de varianza factorial 2 x 2 (ANOVA $\alpha = 0.05$) para la producción de sedimento entre las condiciones topográficas pie de monte/plan y la ladera, arrojó que hay una interacción altamente significativa entre los niveles de ambos factores ($P > 0.000001$); por lo tanto, el análisis de comparación de medias a través de la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$), mostró tres grupos de medias, en los cuales, el primero lo constituye la condición de manejo de conservación, agrupando las condiciones topográficas de ladera y plano; mientras que, para la condición de manejo de libre pastoreo generó dos grupos, en la cual, el segundo grupo lo constituye la condición topográfica de ladera y en tercer grupo la condición topográfica el plan (cuadro 6, Figura 22).

Cuadro 6. Comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$), para las dos condiciones de manejo, analizando la comparación en todas las medias obtenidas

Condición de manejo	Posición topográfica	Concentración de sedimentos g/l	Agrupación Tukey		
			1	2	3
Conservación	Plano	1.88333	a		
Conservación	Ladera	2.76667	a		
Libre pastoreo	Ladera	6.05	b		
Libre pastoreo	Plano	14.86667	c		

*Letras iguales pertenecen al mismo grupo

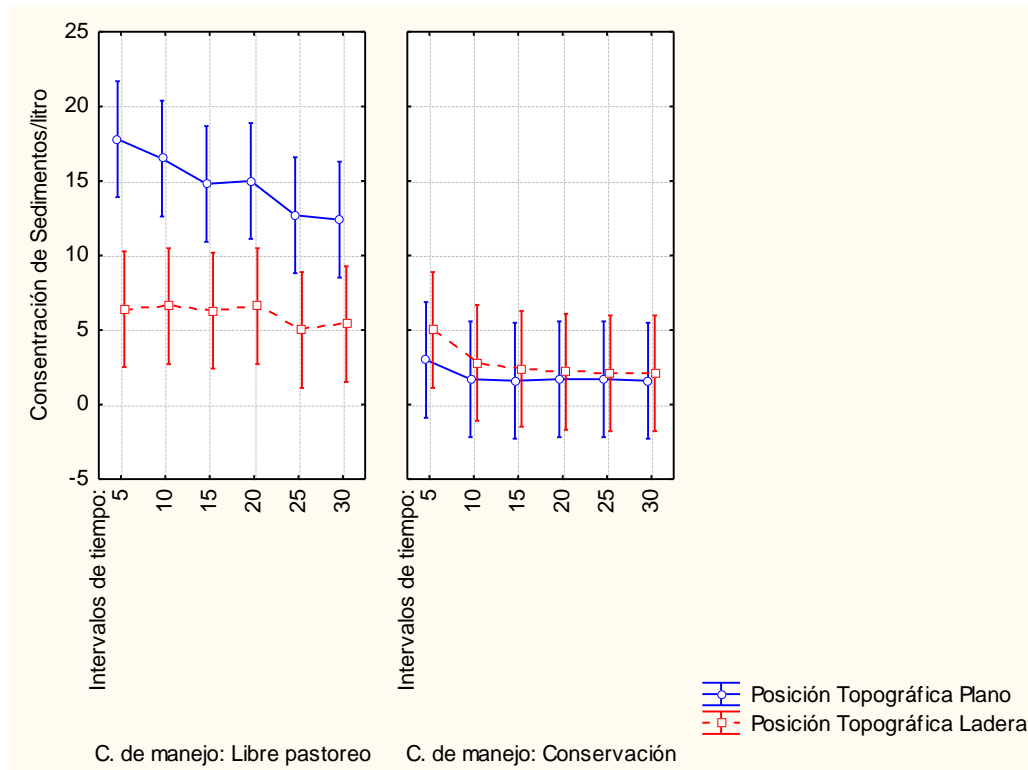


Figura 22. Concentración de sedimentos en interacción entre condiciones de manejo, posición topográfica e intervalos de tiempo.

Los resultados obtenidos en este trabajo coinciden de los obtenidos por Villar Sánchez *et al.* (2013) al establecer parcelas en un área de 20000 ha, en el ejido Carrillo Puerto, municipio de Suchiapa, Chiapas, al realizar su análisis con arreglo de tratamientos en factorial 3 x 3 (tres pendientes y tres usos del suelo); donde los usos de suelo son Maíz, Maíz-timbre y timbre, el 55% del área se ubica en pendientes menores al 5%, un 30% en pendientes de entre 5 y 15% y el resto del área tiene pendientes mayores al 15%.

En su análisis de varianza obtuvo que las pendientes no influyeron en la erosión del área, lo que si obtuvo significancia fue el factor de uso de suelo, presentando

una tasa significativamente más alta de pérdida de suelo (erosión t ha⁻¹ año⁻¹) la siembra de maíz (18.18 a) que la de Maíz-timbre (1.76 b) y la de Timbre (0.51 b).

Es de observarse que en los dos últimos sistemas de producción, se ve favorecido por el tipo de cubierta vegetal del suelo, y se ve disminuido el desprendimiento de partículas y la velocidad de escurrimiento, por lo tanto disminuye así mismo la capacidad de transporte de sedimentos (Ramírez y Oropeza, 2001; Pérez-Nieto *et al.* 2005).

5.5 Producción de sedimentos por intervalos de tiempo dentro del área de conservación.

El análisis de varianza completamente aleatorio (ANOVA $\alpha = 0.05$) para el producción de sedimento dentro de la condición de manejo de conservación en los intervalos de tiempo de producción de sedimentos, se encontró diferencias altamente significativas ($P > 0.000685$); por lo tanto, el análisis de comparación de medias a través de la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$), mostró dos grupos de medias, en los cuales, el primero lo constituyen el intervalo del minuto 5, mientras que el segundo lo constituyen los intervalos que van desde el 10 hasta el intervalo 30, (Cuadro 7; Figura 28; Figura 22).

Cuadro 7. Comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$), dentro del área que tiene un manejo, en cada intervalo de tiempo.

Intervalos de tiempo en minutos	Media de la producción de sedimentos en gr/l	Agrupación Tukey
5	4.000000	a
10	2.250000	b
15	2.000000	b
20	1.950000	b
25	1.900000	b
30	1.850000	b

*Letras iguales pertenecen al mismo grupo

Becerra (1999), menciona que de acuerdo a algunas investigaciones la mejor correlación para la explicación de pérdida de suelo es la combinación de la energía cinética y la intensidad máxima constante de lluvia en 30 minutos.

Al inicio de una lluvia, el suelo se encuentra seco, que la cantidad de agua que puede absorber el suelo, en unidad de tiempo es mayor que la intensidad de la lluvia en esos primeros instantes, por lo tanto se infiltrara toda la lluvia, al avanzar el tiempo, si la lluvia es suficientemente intensa, el contenido de humedad del suelo aumenta hasta que su superficie alcanza la saturación, en ese momento empieza a llenar las depresiones del terreno, es decir se originan charcos y comienza a originar flujo sobre la superficie del suelo (Aparicio, 2004).

Treinta minutos es el tiempo máximo de infiltración, después de ese lapso de tiempo la curva que describe la infiltración se vuelve asintótica, por lo tanto enseguida se forma una capa o película de agua y la energía cinética que ejercen las gotas al impactarse con el suelo se ve desvanecida o reducida, ya que impacta en la capa de agua acumulada, entonces el escurrimiento va en aumento y la producción de sedimentos disminuye con el paso de los minutos (Horton,1933; Sherman, 1943. Citado por Linsley *et al.*, 1980).

5.6 Producción de sedimentos por intervalos de tiempo dentro del área de libre pastoreo.

El análisis de varianza completamente aleatorio (ANOVA $\alpha = 0.05$) para el producción de sedimento dentro de la condición de libre pastoreo en los intervalos de tiempo de producción de sedimentos, no se encontró diferencias significativas ($P > 0.909994$) (Cuadro 8; Figura 30; Figura 22).

Cuadro 8. Comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$), para el área de libre pastoreo, en cada intervalo de tiempo.

Intervalos de tiempo en minutos	Media de la producción de sedimentos en gr/l	Agrupación Tukey
5	12.1	a
10	11.55	a
15	10.8	a
20	10.55	a
25	8.9	a
30	8.85	a

*Letras iguales pertenecen al mismo grupo

VI. Conclusiones

La hipótesis nula planteada en el presente trabajo, se rechaza; ya que al haber aplicado la simulación de lluvia con una intensidad promedio de 135 mm/h, se obtuvieron diferencias altamente significativas en las dos condiciones de manejo, reportando como la media más alta en producción de sedimento el área de libre pastoreo con 10.4583 gr/l. Tal conclusión da explicación a que teniendo una densidad alta de vegetación de cualquier tipo, y este cubre en su mayoría el suelo, no es degradado por el impacto de la gota que ejerce una fuerza cinética en el suelo desnudo o con menor densidad de vegetación, ya que la vegetación a su vez disminuye la fuerza con la que cae la gota, siendo un agente amortiguador para el suelo.

Dentro del área de protección, en las variables de condición topográfica (ladera, planicie), se realizó el análisis de varianza, encontrándose que se tienen diferencias estadísticamente significativas entre las condiciones topográficas, registrando una producción media de sedimentos más alta la condición de ladera con 2.76667 gr/l. Este efecto se debe a la inclinación del terreno, ya que cuenta con una pendiente promedio de 16.75 %, además de que la vegetación en porcentaje en cada sitio representa una menor cantidad a diferencia de la parte plana.

También se realizó el análisis de varianza de la producción de sedimentos en cada intervalo de tiempo dentro de la condición de conservación, este análisis mostro diferencias altamente significativas en los primeros 5 minutos, ya que la media que resulto es de 4.0000 gr/l, siendo esta la más alta y diferente estadísticamente a los demás resultados arrojados por el programa. Este hecho sucede por la reacción que tiene el suelo al inicio de la simulación de lluvia, ya que el suelo se encuentra seco en la superficie, al recibir agua inicia el proceso de infiltración, al mismo tiempo se inicia el proceso de desprendimiento de las partículas de suelo, estas son arrastradas por el flujo de la escorrentía, haciendo fricción a otras partículas del suelo, a su paso realizan el desprendimiento, después de algunos minutos de lluvia constante el suelo se satura y forma una película o capa de agua que evita

que se ejerza más fuerza de la gota sobre el suelo directamente. Entonces se ve reflejado este proceso en los primeros minutos de escorrentía, produciendo mayor cantidad de sedimentos.

Se realizó el análisis de varianza en el área de libre pastoreo, tomando como variables la condición topográfica (ladera y planicie), resultando más alto en la condición de planicie, dando una media de 14.866672 gr/l, mientras que para la condición de ladera dio una media de 6.05000 gr/l. Es de observarse que estadísticamente las diferencias son altamente significativas; este suceso ocurre ya que en el área de ladera se cuenta con menor producción de suelo, además de que se puede observar en campo que la ladera ya no cuenta con suelo suelto, ya que con el poco suelo con el que cuenta se encuentra compactado, a diferencia de la parte plana, ya que esta área cuenta con la mayor cantidad de producción de sedimentos, esto sucede ya que todo el suelo con el que contaba la parte de ladera, fue depositado en estas partes bajas o planas del terreno, además de contar con partículas de suelo más finas y fácil de fracturar con la fuerza cinética que ejerce la gota sobre el suelo.

VII. Literatura Citada

- Aguilar A., B. 2014. El suelo de cultivos y las condiciones climáticas AGAC0108. Ed. Innovación y Cualificación, S. L. Antequera, Málaga, España. 240 p.
- Aguilera C. M., Martínez E. R. Relaciones Agua, Suelo, Planta Atmosfera. Universidad Autónoma Chapingo. 1996. Texcoco, estado de México, México. 4ª ed. 256 pág. ISBN: 9688843687.
- Aparicio M. F. J., Fundamentos de Hidrología de Superficie. México: Limusa, S. A. de C. V. 2004, 304 pág. ISBN-13: 978-968-18-3014-4
- Ávila V., C. M. 2013. Perdida de la fertilidad del suelo por erosión hídrica en la cuenca propia del lago de Chapala, Michoacán. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias de Producción Agrícola Sustentable. Instituto Politécnico Nacional-Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional CIIDIR IPN, Unidad Michoacán. Jiquilpan, Michoacán. 76 p.
- Bautista C. A., Etchevers Barra J., del Castillo R.F. y Gutiérrez C. La calidad del suelo y sus indicadores. Asociación Española de Ecología Terrestre (AEET). Ecosistemas 13 (2): 90-97. Mayo 2004.
- Becerra M. A. 1999. Escorrentía, erosión y conservación del suelo. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México. 375 p.
- Betancourt Y. P., Oropeza M. J. L., Figueroa S. B., Ordaz C. V., Ortiz S.C., y Hernández G. A., 2000. Perdidas de suelo y potencial hidrológico en parcelas con coberturas vegetativas de especies forrajeras. TERRA LATINOAMERICANA. Vol. 18., núm. 3.
- Bienes A. R y Marqués M. J. 2005. Procesos Degradativos del Suelo. Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural, Agrario y Alimentario. Dpto. de Geología de la U. de Alcalá.

- Blanquies, J., M. Scharff and B. Hallock, 2003. The design and construction of a rainfall simulator. International Erosion Control Association (IECA), 34th Annual Conference and Expo., Las Vegas, Nevada, February 24-28.
- Boiffin, J. 1984. La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies. Institut National Agronomique Paris-Grignon. Paris, France.
- Branson, F. A., Gifford, K. G. Renard, and R. F. Hadley. 1981 Rangeland hydrology. 2^a ed. A publications of the Society for Rangement. Kendall/hunt Publishing Company. Dubuque USA. 340 p.
- Brooks, K., F. P. Ffolliott, M. H. Gregersen and L. J. Thames. 1991. Hydrology and the management of watersheds. Iowa State University Press, Ames. Iowa, USA. 392 p.
- Brooks, K.; Ffolliott, P.; Gregersen, H.; DeBano, L. 2003. Hydrology and the management of watersheds. Iowa State Press. 574 p.
- Casanova O., E. F. 2005. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Central de Venezuela (UCV) y Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. Caracas, Venezuela. 487 p.
- Castillo, O.A. El recurso hídrico en el manejo integral de una cuenca semiárida en el estado de Hidalgo. Tesis Colegio de Posgraduados, Centro de Edafología, Chapingo, México, 1985.
- Cayssials, R. 1984. Perspectivas de la investigación sobre cuencas de Uruguay. Primer taller Nacional de Investigación sobre Cuencas Experimentales. Ministerio de Agricultura y Pesca, Instituto Nacional de Colonización Colorado State University e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Montevideo, Uruguay. 7-26 pág.
- Cepeda D., J.M. 1991. Química de suelos. Ed. Trillas. D.F., México. 167p.

- Cerda A., 1995, Soil moisture régime under simulated rainfall in a three years abandonedfield in Southeast Spain. *Physics and Chemistry of the Earth*, 20 (3-4) 21-279.
- Cerda A., 1999. Simuladores de lluvia y su aplicación a la Geomorfología. Logroño. Cuaderno I. Geografía. 45-84 pp.
- Chagas C. I., Kraemer F. B., Utin S., Irurtia C., Santanatoglia O. J., 2011. Influencia de las propiedades edáficas y la posición en el paisaje sobre la respuesta hidrológica de suelos pertenecientes a una Cuenca de la Pampa Ondulada. Cuadernos del CURIHAM, Vol. 17.
- Cisneros J., Cholaki C., Cantero G., A., Gonzáles J., Reynero M., Diez A., y L. Bergesio. 2012. Erosión hídrica; principios y técnicas de manejo, 1ª ed. Rio cuarto: uniRio editora. Rio Cuarto, Córdoba, Argentina. 287 p.
- Colegio de Posgraduados (COLPOS). 1991 Manual de conservación del suelo y del agua. 3ª ed. Chapingo, México: 248 p.
- Collinet, J. 1988. Étude expérimentale de l'érosion hydrique de sols représentatifs de l'Afrique de l'Ouest (1). Présentation des sites expérimentaux. Méthode et identification des processus élémentaires. Analyse et comparaison des régimes de ruissellement. Cahiers ORSTOM. Ser. Pédologie XXIV:3: 235-254.
- CONABIO 2008. Catálogo de metadatos geográficos, Portal de geo información. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>. Consultado el 25 de octubre del 2018.
- CONAFOR 2013. Protección, restauración y conservación de suelos forestales (Manual de obras y prácticas), Comición Nacional Forestal, 4ª edición. Guadalajara, Jalisco, Mexico: editorial Tegrafik, 2013, 285 pag., ISBN: 968-6021-19-1.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2006. Evaluación de los efectos del cambio de cobertura y de uso del suelo en la erosión hídrica y las

relaciones precipitación-escorrimento en las cuencas de los ríos Huixtla, Huehuetán y Coatán del estado de Chiapas. Informe final del Convenio de Colaboración Específico núm. SGIH-FS-CHS-06-TT-193-RF-CC elaborado entre la Gerencia Regional Frontera Sur de la Comisión Nacional del Agua.

Cosandey, C. y M. Robinson. 2000. Hydrologie continentale. Armand Colin. HER, Paris, France.

DDR y CONAPLAN (1974), El Salvador, Zonificación Agrícola, 1974. Consulta: abril 2019. Disponible en: <http://www.oas.org/USDE/publications/Unit/oea34s/begin.htm#Contents>.

Desir G., 2001. Producción de sedimentos y tasas de erosión en suelos yesíferos del sector central de la depresión del Ebro. Boletín Geológico y Minero. Vol. 112-1, 3-18. Departamento de Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias. Universidad de Zaragoza. ISSN 0366-0176.

Donahue R. L., R. W. Miller y J. C. Shickluna. 1983. Soils. An Introduction to Soil and Plant Growth. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs. New Jersey, Usa.

Dueñez-Alanís, José; Gutiérrez, Julián; Pérez, Luis; Návar, José Manejo silvícola, capacidad de infiltración, escurrimento superficial y erosión. Terra Latinoamericana, vol. 24, núm. 2, abril-junio, 2006, pp. 233-240 Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.

Dueñez-Alanís, José; Gutiérrez, Julián; Pérez, Luis; Návar, José, Manejo silvícola, capacidad de infiltración, escurrimento superficial y erosión, Terra Latinoamericana, vol. 24, núm. 2, abril-junio, 2006, pp. 233-240, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C., Chapingo, México

Encinas R. A. e Ibarra J. 2013. La degradación del suelo y sus efectos en la población. 6 pág.

FAO, 2019. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/es/>
Fecha de Consulta: abril 2019.

- FAO. Alianza Mundial por el Suelo. Sección ¿Por qué una Alianza Mundial por el Suelo? 2015. Disponible en: <http://www.fao.org/global-soil-partnership/about/why-the-partnership/es/> Fecha de consulta: septiembre de 2018.
- Figueroa, S. B. 1975. Pérdidas de suelo, nutrimentos y su relación con el uso del Suelo en la cuenca del río Texcoco. Tesis de MC. Colegio de Graduados, Chapingo, México.
- Foster, G. R. 1971. The overland flow process under natural conditions. Third International Seminar for Hydrology Professors, Purdue University 173 – 185.
- Foster, G. R. Meyer, L. D. and Romkens, M. J. M. 1972. Sources of soil eroded From upland slopes. Proceedings of the sediment – yield workshop USDA sedimentation Laboratory, Oxford, Miss. ARS -S -40.
- García C. Leonardo J., Manual de Metodologías de Campo para la Determinar Profundidad, Densidad Aparente. Materias Orgánicas, Infiltración del Agua, Textura y pH en el suelo. Grupo SEVEN. 2017. Managua Nicaragua. 30 pág.
- García Ortiz Eva M., 2006. Efecto de la Estructura de la Copa en la Partición de Lluvia de Tres Especies Arbustivas en Clima Semiárido. Tesis Doctoral. Universidad de Almería.
- García-Chevesich, P. 2005. Changes on soil resources following the historical Rodeo-Chediski wildfire in Arizona. M. Sc. Thesis. Watershed Management. School of Natural Resources. The University of Arizona. 87 p.
- Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendonça Santos Brefin, M.L., Montanarella, L., Muniz Ugarte, O., Schad, P., Vara Rodríguez, M.I., Vargas, R. (eds), 2014. Atlas de suelos de América Latina y el Caribe,

Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, L-2995
Luxembourg, 176 pp

Guevara, M., C. Aguilar, C. Arroyo, F. González y J. Larson. La diversidad de los datos sobre los suelos de México: perfiles y clases, escalas y modelos continuos. CONABIO. Biodiversidad 105: 13-16. 2012.

Gutiérrez C., J., y M., De Luna R. 1989. Infiltración y Producción de sedimentos en un área reforestada con *Pinus halepensis* Mill. Revista Agraria: 178- 189. Saltillo, Coahuila, México.

Gutiérrez C., J.; Beltrán, S., y Zárata, A. 1990. Efecto de los tipos de vegetación y suelo sobre la infiltrabilidad y la producción de sedimentos en el sureste de Coahuila. Revista Agraria. 6 (1): 51-65.

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

Hudson, N. W. 1971. Soil conservation. Cornell University Press. Ithaca, New York. 320 p.

Ibáñez A. S., Moreno R. H. y Gisbert B. J. M., 2012. El Uso del Simulador de Lluvia. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural. Universitat Politècnica de Valencia.

Imeson Anton y Curfs Michiel. 2016. La erosión del suelo. Land Care In Desertification Affected Areas (Lucinda).

INEGI 2015. Estadísticas a propósito del día mundial del suelo. <https://www.inegi.org.mx/saladeprensa/aproposito/2015/suelo0.pdf>. Consultado el 5 de noviembre del 2018.

INFORME TÉCNICO. 2015. Evaluación de la Composición Florística, Estructura de la Vegetación, Fenología de Especies Selectas y Relaciones Funcionales entre Flora y Fauna en los Predios El Gorrión y Cuatro Gorriones. Universidad Autónoma de Nuevo León Facultad de Ciencias Biológicas. Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza, N.L.

- INIA Tacuarembó, 2015. Semana de la Ciencia y Tecnología Jornada de Puertas Abiertas. 20 pág.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA Y GEOGRAFIA (INEGI). (2014). Erosión de suelos en México. Boletín de prensa núm. 295/14. Pág. 1/8.
- Jordán L. A., 2006. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. (Curso 2005-2006). Manual de Edafología. Sevilla, España: Universidad de Sevilla.
- Kaune Schmidt Alexander José, 2010. Análisis de requerimientos, diseño y construcción de un simulador de lluvia a nivel de laboratorio, para la cuantificación de propiedades física-erosivas de gotas. Escuela de Ingeniería Agrícola de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica. Tesis de Licenciado en Ingeniería Agrícola. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio.
- Knisel, W.G. 1980. CREAMS: A Field Scale Model for Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems. USDA Conservation Research Report no. 26., U.S. Government Printing Office, Washington D.C., 640pp.
- Kirkby, M. J. y R. P. Morgan. 1984. Erosión de los suelos. Ed. Limusa. México. 375 pp.
- Lal, R. Soil Quality and sustainability. En: Lal, R., W.H. Blum, C. Valentine y B.A. Stewart (Eds). Methods for assessment of soil degradation. Advances in Soil Science. Boca Raton, New York, CRC Press. 1998.
- León P. J. D., 2001. Métodos Experimentales para el Seguimiento y Estudio de la Erosión Hídrica. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. A.A. 568.
- Linsley JR. R. K., K. Max A., J. L. H. Paulhus. Hidrología para Ingenieros, Av. del Taller, México D. F.; Poligráfica S. A. 1980, 386 pag. ISBN: -0-07-037967-X

- López F. Roberto. Degradación del suelo: causas, procesos de evaluación e investigación. 2002. 2ª ed. Mérida, Venezuela. Talleres gráficos del CIDIAT. 273 pág. Serie: suelos y clima SC-75. ISBN: 980-6483-10-3.
- López, F. Coord. 2003. La ingeniería en los procesos de desertificación. Madrid, TRAGSA. 1045 p.
- Luengas Machado D. J., y de la Rosa Parra S. F., 2015. Diseño y construcción de un simulador de lluvia para estudios hidrológicos. Trabajo de grado para optar por el título de Tecnólogo en Saneamiento Ambiental. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Bogotá.
- Maass, M.M. Soil erosion and nutrient losses in seasonal tropical agroecosystems under various management techniques. PhD Dissertation, University of Georgia, EUA, 1985.
- Martin de la Cruz, Iván. 2010. Caracterización de lluvia simulada y su aplicación en parcelas experimentales de erosión en taludes de infraestructuras lineales. Universidad Politécnica de la Madrid.
- Michelena, R. 2011. Erosión Hídrica. Manejo de Cuencas Hidrográficas. Universidad Nacional de La Rioja.
- Monge J. R. y Aguilar P. J. F. Manual de operación del simulador de lluvia para la cuantificación de la infiltración, escorrentía y erosión de suelos. Documento No 5 área de suelos y aguas. San José, Costa Rica, 2008. 16 pág.
- Morgan, R. 2005. Soil erosion and conservation. National Soil Resources Institute. Cranfield University. Blackwell Science Ltd. Oxford, UK. 304 p.
- Morgan, R. P. C. 1997 Erosión y conservación de suelo. Mandí-Prensa Barcelona Aedos. España. Pp: 56-81.
- Morgan, R. P. C. Erosión y conservación de suelo. Mundi-Prensa México, S. A. de S. V. México, D. F. México 343 p.

- MORGAN, R.P.C. 1979. Topics in Applied Geography. Soil Erosion. New York: Longman (ingles)
- MORGAN, R.P.C. 1986. Soil Erosion and Conservation. New York: Longman.
- Morin, J., Goldberg, D.E. / Seginer, I. 1967. A rainfall simulator with a rotating disk. Transactions of The Asae, 74-79.
- Mullins, C. E. 1998. Hardsetting. Pp. 109-128. IN: R. Lal et al. (eds). Methods for Assessment of Soil Degradation. Advances in Soil Science. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Narro F., E. 2004. Física de los suelos con enfoque agrícola. Ed. Trillas. D.F., México. 195 p.
- Navarro G., G. y S. Navarro G. 2013. Química agrícola: química del suelo y de nutrientes esencial. Ed. Mundí-Prensa libros. Madrid, España. 508 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 1967. La erosión del suelo por el agua. Algunas medidas para combatirla en tierras de cultivo. Italia. Pp: 1-30.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2000. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Roma. 220 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2009. Guía para la descripción de los suelos. Viale delle Terme di Caralla, 00153 Roma, Italia. 100 pág.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2004. Secuestro de carbono en tierras secas. INFORMES DE RECURSOS DEL SUELO MUNDIAL 102. <http://www.fao.org/3/y5738e/y5738e00.htm>. Consultado el 12 de febrero de 2019.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2016. Portal de suelos de la FAO: propiedades físicas del suelo. <http://www.fao.org/soilsportal/soilsurvey/propiedadesdel%20suelo/propiedades-fisicas/es/> Consultado el 13 de Noviembre de 2018).
- Ortiz V., B. y C. A. Ortiz. 1990. Edafología. 7^{ma} ed. UACH. Edo. de México, Texcoco. México. 394 p.
- Paige, G. B., Stone, J. J., Smith, J. R., Kennedy, J. R. (2004). Walnut Gulch Rainfall Simulator: a computer-controlled variable intensity rainfall simulator. Applied Engineering in Agriculture. Recuperado a partir de <http://agris.fao.org/agrissearch/search.do?recordID=US201300988275>
- Pérez-Nieto, J., Valdés-Velarde., E., Hernández-San Román, M. E., Ordaz-Chaparro, V. 2005. Lluvia, escurrimiento superficial y erosión del suelo en tres sistemas agroforestales de café bajo sombra. Agrociencia, 39(4):409-418.
- Piscitelli M. 2015. Degradación de suelos. Universidad Nacional del Centro de Buenos Aires (UNICEN).
- Poulenard, J., J. L. González Barrios, D. Viramontes, L. Descroix y J. L. Janeau. 2004. Un encostramiento de los suelos que limita la infiltración. pp. 145-160. In: L. Descroix, J. L González Barrios y J. Estrada Avalos (eds.). La Sierra Madre Occidental, una fuente de agua amenazada. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Instituto de Recherche pour le Développement. Gómez Palacio, Durango, México.
- Pritchett, W. L., Suelos Forestales, Propiedades, conservación y mejoramiento. 1^{ab} edición. Mexico, DF: Editorial LIMUSA, 1986, 627 pag., ISBN:-968-18-3084.
- Programa de Manejo de la Reserva Natural Voluntaria Loma del Gorrión. PRONATURA NORESTE A. C. S/F.

- Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central (PASOLAC). 2005, Manual de Metodos Sencillos para Estimar Erosión Hídrica. Managua, Nicaragua.
- Ramírez C., M. E., Oropeza M., J. L. 2001. Eficiencia de dos prácticas productivoconservacionistas para controlar erosión en laderas en el trópico. *Agrociencia*, 35:489 - 495.
- Ramírez León, José Manuel, 2009. Tesis de ingeniería civil. Producción de sedimentos en cuencas: revisión de criterios y aplicabilidad la cuenca del río Apulco. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rivera-Ruiz P., Oropeza-Mota J. L., Martínez-Meneses M. R., Mejía-Sáenz E. Tapia-Vargas L. M., Ventura-Ramos E. Jr., 2012., El proceso lluvia-escurrimiento-erosión en laderas y microcuencas instrumentadas. Nota Técnica., *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. III, núm. 4.
- Rosas C. V. y Arribillaga Diego., INIA Tamel Aike. Potencial productivo en base a la Profundidad de los suelos del valle de Chile Chico. Informativo. No. 2. 2013. Coyhaique.
- Rubio Granados Erasmo. 2009. Manejo de escurrimientos. Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí. Iturbide 73, Salinas de Hidalgo, SLP.
- SARH, Subsecretaria de Desarrollo y Fomento Agropecuario Forestal, 1987: La erosión y conservación del suelo en México, México DF: subsecretaria de desarrollo y fomento agropecuario forestal.
- SEMARNAT, 2012. Suelos de México. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1: 250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.
- SEMARNAT-UACH. 2002. Estudio de erosión hídrica en la República Mexicana escala 1:1000 000. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. Servicio Meteorológico Nacional de México,

2011, información de precipitación y temperatura diaria. Consulta: 15 de septiembre 2018. <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/Diarios/>

Servicio Nacional Forestal y de la Fauna Silvestre (SERFOR). 2016. Guía Rápida para el Levantamiento de Suelos en Campo. Avenida 7 N° 229, Rinconada Baja, La Molina, Lima (Perú). 24 pág.

Solano de la Sala Torres José Antonio, Efecto de la erosión de la relación precipitación, escorrentía, en el proceso erosivo en diferentes usos del suelo en la cuenca del Rio Texcoco. Colegio de Postgraduados, Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Chapingo, México, 1982.

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

Steel, D. R. G. y Torrier H. J., 1988. Bioestadística (Principios y procedimientos segunda edición). Delegación Cuahutemoc, Mexico, DF. Editora Latinoamericana S.A. de C.V., 617 pag.

Steiner, K. G. 1996. Causes of soil Degradation and Development Approaches to sustainable soil management. Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. Mrgraf Velarg, Weikersheim, Germany.

Swank, W.T. y Miner, N.H. "Conversion of hardwoodcovered watersheds to white pine reduces wáter yield", Water Resources Research, 4, 5, EUA, 1968, 947-954.

Swank,. W.T. y Douglas, J.E. Streamflow greatly reduced by converting deciduous hardwood stands to pine. American Association for the Advancement of Science, EUA, 1974.

Tapia, Juan Carlos. 2012. Modelización hidrológica de un área experimental en la cuenca del río Guayas en la producción de caudales y sedimentos. Universidad Nacional de la Plata. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Maestría en Manejo Integral de Cuenas Hidrográficas., La Plata, Argentina.

- Tayupanta J., J. R. 1993. La erosión hídrica; proceso, factores y formas. Boletín de divulgación n.229 Estación Experimental " Santa Catalina" Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Ecuador. 20 p.
- Thompson L., M. 1978. Los suelos y su fertilidad. 4ta ed. REVERTÉ. Barcelona, España. Pp: 53-80.
- Thompson, L. M. y F. R. Troeh. 1998. Los suelos y su fertilidad. Ed. Reverte S. A. Barcelona, España. 649 p.
- Toledo, Alejandro. 2006. Agua, hombre y paisaje. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología. México, D. F.
- Torres R., E. 1982. Manual de conservación de suelos agrícolas. 2da ed. DIANA. México. D. F. Pp: 48-53.
- Tsukamoto, Y. 1975. "Effects of forest litters on runoff cycle in a small experimental watershed", Pub. 117 de L'Association Internationale des Sciences Hydrologiques, Symposium of Tokyo, 487-495.
- Vallejos, C.C. y Velázquez J.A. 1998. Evaluación de especies leguminosas como cultivos de cobertura y barreras vivas en el control de la erosión en cafetales jóvenes, Matagalpa, Nicaragua. Trabajo de Diploma. Universidad Nacional Agraria.
- Velásquez V. M. A., Esquivel A. G., Bueno H. P., Sánchez C. I., y F. L. Hugo E., 2014. El uso de la lluvia artificial en la investigación en zonas áridas de México. AGROFAZ. Vol. 14, núm. 2.
- Vergara et al., 2004; 2005 Vergara S., M. A., J. D. Etchevers B. y M. Vargas H. 2004. Variabilidad del carbono orgánico en suelos de ladera del sureste de México. Terra Latinoamericana 22 (3): 359-367.
- Vergara S., M. A., J. D. Etchevers B. y J. Padilla C. 2005. La fertilidad de los suelos de ladera de la Sierra Norte de Oaxaca, México. Agrociencia 39 (3):259-266.

- Vergnette, M. B. 1977. Conservación de Suelos en regiones tropicales. CIDIAT-Mérida. pp 25 – 28
- Villar Sánchez, Bernardo, Tosquy Valle, Oscar Hugo, López Salinas, Ernesto, Esqueda Esquivel, Valentín A., Palacios Pola, Gabriela, Impacto de la Pendiente y Tres Sistemas de Producción Sobre el Esgurrimiento, la Erosión y el Rendimiento de Maíz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* [en línea] 2013, 16 (Septiembre-Diciembre): [Fecha de consulta: 17 de febrero del 2019] Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93929595019>> ISSN
- Volke S. T., V. T. Juan A. y De la R. P. David A. Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación. 1ª edición. México. Mayo 2005. 141 pág. ISBN: 968-817-492-0.
- Wischmeier, W.H. 1959. A rainfall erosion index for a Universal soil- loss Equation. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 23: 246 – 249.
- Zinck, A. Suelos, información y sociedad. *Gaceta Ecológica* 76: 7-22. Instituto Nacional de Ecología. 2005.

VIII. Anexos

Trabajo en campo



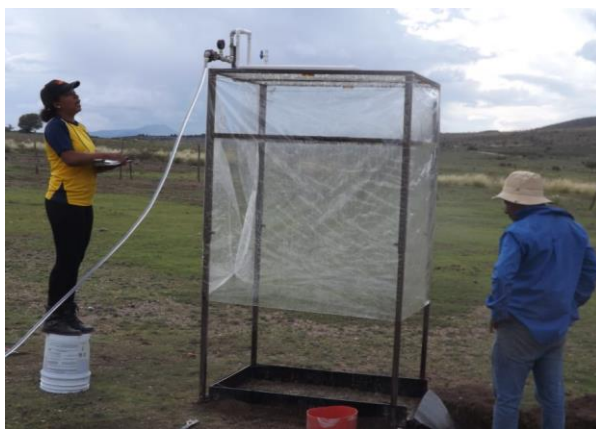
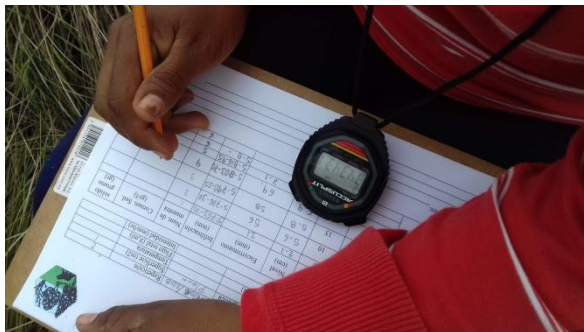
Establecimiento del simulador y de los sitios de muestreo



Medición de la altura y cobertura promedio de la vegetación existente en los sitios de muestreo.



Observación y registro de los datos en los aparatos de medición.



Ejecución de la simulación

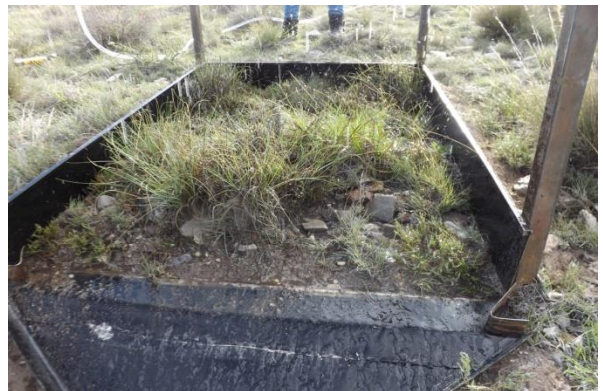


Recolección de la muestra de sedimento





Impacto de la lluvia simulada al suelo





Trabajo en laboratorio

