

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Estimación de la Erosión Hídrica en la Microcuenca Los Ángeles, Saltillo,
Coahuila.

Por:

LUIS ENRIQUE HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

INVESTIGACIÓN DESCRIPTIVA:

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Estimación de la Erosión Hídrica en la Microcuenca Los Ángeles, Saltillo,
Coahuila.

Por:

LUIS ENRIQUE HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

INVESTIGACIÓN DESCRIPTIVA:

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobada por el Comité de Asesoría:



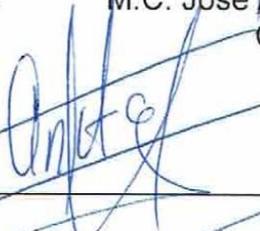
Dr. Alejandro Zárate Lupercio
Asesor principal



M.C. Héctor Darío González López
Coasesor



M.C. José Aniseto Díaz Balderas
Coasesor



Dr. José Antonio González Fuentes
Coordinador de la División de Agronomía



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2019

Agradecimientos

Al **Dr. Alejandro Zarate Lupercio** quien fungió como principal asesor y brindo su apoyo y tiempo para llevar a cabo este trabajo, al igual que su apoyo en lo largo de la carrera

Al **Sr. Pablo Rangel**, encargado del Rancho Ganadero Experimental Los Ángeles, por el apoyo incondicional dentro de las instalaciones del rancho, por todas las atenciones no me brindo y la confianza, para que mi trabajo se realizara de una manera más rápida y eficiente.

A **Xóchitl Moreno Betancur** quien siempre me dedico de su valioso tiempo para poder ayudarme en cualquier cosa que requería, y apoyo en todas las decisiones que se tomaban sin importar el tiempo que requería llevarlas a cabo. Una de esas personas que simplemente te ayudan a ser mejor en esta vida.

A **Fátima Monserrat Méndez Encina**, que su amistad incondicional siempre fue de gran ayuda e inspiradora. Ya que fue una de las personas con las que compartí la mayoría de mi tiempo dentro de la universidad, conociéndola desde primer semestre y con quien siempre conté con un respaldo, junto con sus padres.

A los compañeros **Jesús Pérez Ortiz, Víctor Alfonso Belmontes Díaz, Julio Cesar Méndez Mesa** compañeros de generación que me brindaron su apoyo en el levantamiento de datos, y en la instalación de las parcelas, amigos incondicionales que siempre estuvieron ahí cuando lo necesite.

Dedicatoria

Principalmente a **Dios** por darme el Apoyo, Conocimiento y Tolerancia para llevar a cabo este proceso tan largo, que en ocasiones solía ser bastante complicado, pero siempre me guio por el camino correcto.

A mis padres **Magdalena Hernández Sánchez y José Remedios Hernández Hernández**, quien siempre me apoyaron económicamente para que no tuviera complicaciones al estudiar, y por darme su apoyo incondicional en todas las decisiones que eh tomado, así fueran malas o buenas. Al igual que sus consejos que siempre me ayudaron a tomar el camino correcto.

A mi hermana **Sara Hernández Hernández**, que siempre me apoyo cuando más lo necesitaba, sin importar las condiciones de lo que requería. Dándome consejos e impulsándome a seguir adelante.

A mi tío **Tranquilino Hernández Sánchez**, quien siempre lo eh visco como un modelo a seguir y de quien eh aprendido muchas cosas y siempre me ha ayudado a superarme, sin mirar atrás.

Resumen

Se realizó una evaluación de la erosión/sedimentación utilizando dos métodos; uno directo utilizando parcelas permanentes con clavos y rondanas y otro indirecto, utilizando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS). Esta evaluación de la erosión se realizó en la Microcuenca “Los Ángeles”, con una superficie de 2701.24 ha. y ubicada en el sur del municipio de Saltillo, Coahuila, con un clima semiárido muy seco y tipos de vegetación de pastizal mediano abierto, matorral submontano, bosque de pino, matorral desértico micrófilo, y áreas transformadas por la agricultura de temporal en topoformas de Sierra y Bajada de Sierra.

Se instalaron de manera aleatoria cinco parcelas permanentes de muestreo en cada uno de los cinco tipos de vegetación y uso del suelo antes mencionados, dando un total de 25 parcelas de muestreo rectangulares de 1 x 1.5 m (1.5 m²) y con 15 clavos y rondanas cada una dispuestas todas en sentido perpendicular a la pendiente del terreno. La altura de los clavos a la base de la rondana (arandela) se estandarizó para todas las parcelas en 5 cm. Se realizaron cuatro mediciones trimestrales, de tal manera que se abarcó un año desde su instalación a la última medición. En cada ocasión se midió la altura del clavo, utilizando una regla graduada en centímetros con precisión a 1 mm. Adicionalmente se tomaron datos de pendiente del terreno, cobertura vegetal relativa, y muestras de suelo a los que se les determinó textura y densidad, utilizados posteriormente en la obtención de los diferentes valores de la EUPS.

Los resultados de las mediciones en la parcela indican que existió depósito de una lámina de suelo en las 25 parcelas, existiendo entonces sedimentación. Los datos se analizaron en un análisis de varianza (ANOVA), bajo el esquema de un diseño completamente al azar con cinco tratamientos y cinco repeticiones y, las variables analizadas fueron lámina promedio en mm y kg. de suelo sedimentados en mm por parcela (este último obtenido a partir de la lámina sedimentada y la densidad del suelo). Realizado el ANOVA se realizó una prueba de comparación de medias de DUNCAN para encontrar las diferencias y similitudes entre medias.

Los resultados muestran que el tipo de vegetación de matorral submontano es el que mostró mayor media de lámina y masa en kg de suelo sedimentado y estadísticamente diferente al 5% de significancia a los otros cuatro tipos de vegetación (pastizal, Bosque, matorral desértico micrófilo y agricultura de temporal), que no presentaron diferencias significativas de sus medias entre ellos.

Por otro lado, la estimación de la erosión, utilizando la EUPS en cada parcela arroja como resultado una erosión menor a 10 ton/ha/año en el matorral submontano, pastizal, matorral desértico micrófilo y agricultura de temporal, que los ubica en una clase de erosión nula incipiente o muy ligera, y solamente el Bosque de Pino en una clase de erosión moderada, pero con un valor de 10.25 ton/ha/año muy cercano al umbral de erosión incipiente. Este resultado aparentemente contradictorio con los datos obtenidos por medición directa, pueden conciliarse si se considera que la EUPS

por su estructura y valores de sus parámetros (R, K, LS Y C), aunque pudieran ser cercanos a cero, todos son positivos y en consecuencia la EUPS solamente reportará valores de erosión, nunca de sedimentación. Lo que se puede referir como coincidencia de ambos métodos (directo e indirecto), es que la EUPS arrojó una clase de erosión que puede clasificarse también como normal o no acelerada.

Palabras clave: Erosión hídrica, Sedimentación, parcelas de clavos y rondanas, Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS)

ÍNDICE DE CONTENIDO

I CAPÍTULO INTRODUCCIÓN	1
I.1 Objetivo General	2
I.2 Objetivos Específicos.....	2
I.3 Hipótesis:	3
II CAPÍTULO REVISIÓN DE LITERATURA	4
II.1 Suelo	4
II.2 Propiedades Físicas Del Suelo	4
II.3 Erosión	5
II.3.1 Importancia.....	7
II.4 Proceso De Erosión Hídrica	9
II.5 Factores Que Intervienen En El Proceso De Erosión Hídrica	11
II.5.1 Clima	12
II.5.2 Vegetación.....	13
II.5.3 Hojarasca	15
II.5.4 Tipo De Suelo.....	15
II.5.5 Topografía	16
II.5.6 Velocidad Del Flujo.....	17
II.5.7 Uso De La Tierra	18
II.6 Métodos De Estimación De La Erosión.....	18
II.7 Erosión Hídrica Potencial (EHP) Y Erosión Hídrica Actual (EHA).....	20
II.8 Sedimentación	20
II.9 Ecuación Universal De Pérdida De Suelo (EUPS).....	21
II.9.1 Factor de Erosividad de la lluvia (R).....	22
II.9.2 Factor de Erosionabilidad del suelo (K).....	25
II.9.3 El factor de longitud y Grado de pendiente (LS).....	28
II.9.4 Factor de cultivo o cobertura vegetal (C).....	29
II.9.5 Factor de prácticas mecánicas (P)	30
III CAPÍTULO MATERIALES Y MÉTODOS	31
III.1 AREA DE ESTUDIO	31

III.1.1 Localización.....	31
III.1.2 Clima	33
III.1.3 Fisiografía.....	33
III.1.4 Geología.....	36
III.1.5 Hidrología	36
III.1.6 Edafología	38
III.1.7 Vegetación.....	43
III.2 METODOLOGÍA	45
III.2.1 Metodología General	45
III.2.2 Método Directo	45
III.2.3 Método indirecto	52
Uso de la Ecuación Universal de Perdida del Suelo (EUPS)	52
IV CAPITULO RESULTADOS	57
IV.1 Método Directo	58
IV.2 Análisis de Varianza.	61
IV.2.1 Lamina Adquirida De Suelo (milímetros).....	61
IV.2.2 Prueba de media	61
IV.2.3 Masa de Suelo Adquirido (Kilogramos).....	64
IV.3 Estimación De La Erosión con El Método de la (EUPS).....	65
IV.3.1 Factor de Erosividad de la lluvia (R).....	66
IV.3.2 Factor de Erosionabilidad del suelo (K).....	66
IV.3.3 Factor de Longitud y Pendiente (LS).....	67
IV.3.4 Factor de cultivo o cobertura vegetal (C)	69
IV.3.5 Factor de prácticas mecánicas (P).....	70
IV.3.6 Erosión hídrica de la microcuenca Los Ángeles.....	70
V CAPITULO DISCUSIÓN	72
VI CAPITULO CONCLUSIONES	76
LITERATURA CITADA.....	78
VII ANEXOS	84

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Relación entre el número de tormentas y la erosión producida en Zanesville, Ohio (Según Fournier 1972).....	13
Cuadro 2. Clases de Erosión (Colín-García et al., 2013).	20
Cuadro 3. Ecuaciones para estimar la erosividad de la lluvia (R) en las diferentes regiones del país (SAGARPA, 2005).	25
Cuadro 4. Valores del Factor K, para cada tipo de suelo, según la clasificación de la FAO, CONAFOR, 2015.....	27
Cuadro 5. Valores del factor C, de acuerdo al tipo de cultivo o cobertura vegetal en función del nivel de productividad, según Figueroa et al 1991 y CONAFOR, 2015. ...	29
Cuadro 6. Factor de P utilizado para diferentes prácticas y obras de conservación del suelo y agua.....	30
Cuadro 7. Clima de la microcuenca Los Ángeles cuya clave es RH24-B-e24-XIII, de acuerdo con Koppen (1948) y modificada por García (1964).	33
Cuadro 8. Topoformas de la microcuenca, elaborada por el SIGMAPLAN sureste de Coahuila, INIFAP, 2005.	34
Cuadro 9. Unidades edafológicas de la Microcuenca Los Ángeles.....	38
Cuadro 10. Superficie en hectáreas, de acuerdo al tipo de vegetación presente en la microcuenca Los Ángeles.	43
Cuadro 11. Formatos de Campo, para el concentrado de la información.	49
Cuadro 12. Ecuación para el cálculo de la Erosividad del suelo.	53
Cuadro 13. Clasificación del suelo para el cálculo de la Erosionabilidad.	54
Cuadro 14. Factores para el cálculo de LS	55
Cuadro 15. Concentrado de la última medición, de las parcelas de experimentación en la microcuenca Los Ángeles, expresado en milímetros.	58
Cuadro 16. Concentrado de información de las parcelas en campo para la obtención de los kilogramos por parcela.	60
Cuadro 17. Análisis de varianza, para la variable de lámina adquirida de suelo.....	61
Cuadro 18. Medias obtenidas en los cinco tipos de vegetación de la microcuenca Los Ángeles, expresada en mm.....	62
Cuadro 19. Datos recabados de las tablas de Duncan.	62

Cuadro 20. Obtención de los Rangos Mínimos Estandarizados (valor de las tablas de Duncan, multiplicado por el EE).....	63
Cuadro 21. Diferencias Significativas entre los tratamientos.	63
Cuadro 22. Comparación de medias por tipo de vegetación, a través del método de Duncan.....	63
Cuadro 23. Análisis de varianza, para la variable de lámina sedimentada.	64
Cuadro 24. Comparación de medias por tipo de vegetación, a través del método de Duncan.....	65
Cuadro 25. Resultados de la EUPS descrita por Antonio Becerra Moreno.	65
Cuadro 26. Valores de K de acuerdo a la metodología de la FAO, (1980). El factor de longitud y Grado de pendiente (LS).	67
Cuadro 27. Valores para sustituir la ecuación del factor LS, descrita por Becerra, (2005).....	68
Cuadro 28. Valores del factor C, a través del cuadro descrito por Martínez, (2005).	69
Cuadro 29. Erosión Hídrica de la microcuenca Los Ángeles.	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de la degradación en la República Mexicana, Fuente: Dirección General de Estadística e Información Ambiental, SEMARNAT. México. 2013.	8
Figura 2. Nivel de degradación en la República Mexicana. Fuente: Dirección General de Estadística e Información Ambiental, SEMARNAT. México. 2013.	9
Figura 3. Proceso general de la erosión hídrica. Fuente: Cátedra de Manejo de Tierras, Facultad de Ciencias Agrarias, UNR. 2012.....	10
Figura 4. Esquematzación del proceso del suelo causado por la lluvia. Fuente: Cátedra de Manejo de Tierras, Facultad de Ciencias Agrarias, UNR. 2012.	11
Figura 5. Efecto de la cobertura vegetal en las tasas de erosión (investigación realizada por Coppin and Richards, 1990).	14
Figura 6. Diferenciaciones en las tasas de erosión (E) y deposición del terreno (D), de acuerdo a cambios topográficos de una pendiente (adoptado de Terrence et al., 2002).	17
Figura 7. Diagrama de Hjulstrom, el cual muestra la velocidad mínima requerida para que se lleve a cabo el desprendimiento de las partículas del suelo, en función de su diámetro y tamaño. (Adaptado de Hjulstrom, 1935).	18
Figura 8. Mapa de erosividad para la República Mexicana (SAGARPA, 2005).	24
Figura 9. Nomograma para determinar la erosividad del suelo (Wischmeier & Smith, 1978).	26
Figura 10. Mapa de ubicación de la microcuenca, Los Ángeles.....	32
Figura 11. Mapa de las Subprovincias Fisiográficas que se encuentran cerca de la microcuenca Los Ángeles	35
Figura 12. Mapa Geológico de la microcuenca Los Ángeles.	37
Figura 13. Mapa edafológico de la microcuenca Los Ángeles.	42
Figura 14. Mapa de Uso de Suelo y Vegetación de la microcuenca Los Ángeles.....	44
Figura 15. Distribución de los clavos, dentro de la parcela.	46
Figura 16. Mapa de Ubicación de las parcelas de experimentación de la Microcuenca Los Ángeles.	47
Figura 17. Colocación de los clavos y rondanas en el suelo.	48
Figura 18. Triangulo textural el cual se basa en el sistema que aplica el USDA según el tamaño de las partículas.	50

Figura 19. Promedio de sedimentación en cm por tipo de vegetación y orden de medición.....	57
Figura 20. Sedimentación de las parcelas en campo de la microcuenca Los Ángeles.	58
Figura 21. Medias de sedimentación de acuerdo al método de Duncan	64

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Cuadro de la primera captura de datos en campo.	84
Anexo 2. Cuadro de la segunda captura de datos en campo.....	84
Anexo 3. Cuadro de la tercera captura de datos en campo.	84
Anexo 4. Cuadro de la cuarta captura de datos en campo.	85
Anexo 5. Grados y porcentajes de erosión en las cuencas del estudio, resultado del estudio realizado por Flores, (2016).....	85
Anexo 6. Coordenadas de las parcelas registradas dentro de la Microcuenca Los Ángeles.	86
Anexo 7. Fotografías tomadas en campo, desde la instalación de parcelas y la captura de datos.	87

I CAPÍTULO INTRODUCCIÓN

El suelo representa un elemento primordial para la vida en el planeta, ya que es el principal soporte de la vegetación y participa de manera directa para el funcionamiento de cualquier tipo de ecosistema (Morgan, 2005). El territorio nacional es de 196.4 millones de ha actualmente, la degradación del suelo por causas hidrológicas se estima en un 15%, que representa a más de 108 millones de ha (SEMARNAT, 2002).

La vegetación actúa como protector para el suelo, evitando que algunos factores que afectan al suelo como pueden ser climáticos y edafológicos, erosionen de una forma más rápida y así conservar por más tiempo la vida útil del suelo (Morgan, 2005).

La erosión del suelo está directamente ligada al tipo de factor que la determina, esta dependerá del lugar en que esté ocurriendo, sin embargo, depende de ciertas variables como: el clima, la tipo de vegetación, la hojarasca, el tipo de suelo, la topografía, la velocidad del flujo y el uso de la tierra, para que esta pueda producirse (Morgan, 2005).

Los efectos del suelo son diversos, destacan la pérdida de suelo por causas hidrológicas, que se realiza a través de la sedimentación que se da por el escurrimiento de agua (Figuroa *et al.*, 1991). Esto es causado por el descubrimiento del suelo, al realizar desmontes, cambios de uso de suelo y quemas entre otras, para aprovechar los recursos, se está contribuyendo para que exista un aumento del deterioro en las capas del suelo, dejándolo desprovisto de vegetación y a merced de causas secundarias (García, 2008).

El problema de la pérdida de suelo tiene orígenes muy antiguos, se podría decir que, desde la aparición del mundo, ya que el suelo es uno de los principales elementos que han existido en el planeta (Bocco *et al.*, 1991 y Morgan, 2005). Sin embargo, la pérdida del suelo es generada por el mal uso, que las personas le dan, ya que solo

ven el beneficio propio sin darse cuenta el daño que están causando (García, 2008). Todo esto propicia a que nuevos problemas aparezcan, ya que no solo se está perdiendo el suelo si no que esto genera problemas secundarios, como son la capacidad productiva de los ecosistemas, efectos importantes sobre los cambios climáticos por medio de alteraciones indirectas en el agua y la energía, y en la modificación de diferentes ciclos biológicos (García, 2008).

Los beneficios del cuidado de las tierras, las plantaciones y reforestaciones hoy en día son primordiales para mantener un equilibrio ecológico con el ambiente, ya que estas aumentarán el nivel de producción agrícola, contribuirán a la infiltración de la lluvia y disminuirá el escurrimiento superficial (Bocco *et al.*, 1991). Estos son beneficios primarios que se tendrán con un buen uso a las tierras ya que existen muchos más beneficios que estarán en función del cuidado que las personas le den al medio ambiente (Morgan, 2005). La superficie sembrada anual en nuestro país es de 22 millones de ha, de las cuales un 75% es de temporal y solo el 25% es de riego, la mayor producción se lleva a cabo dentro del 25% que representa a las zonas de riego. Estudios revelan que al tener mayor cuidado con las tierras, estas tienden a aumentar la capacidad de producción, trayendo consigo mayores beneficios económicos a los productores y nuestro país (SAGARPA, 2012).

I.1 Objetivo General

Evaluar la erosión y/o sedimentación en cinco diferentes tipos de vegetación, utilizando parcelas de muestreo con el método de clavos y rondanas y con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.

I.2 Objetivos Específicos.

- Medir la erosión y/o sedimentación directamente por un año, en cinco diferentes tipos de vegetación, a través de parcelas permanentes utilizando el método de clavos y rondanas.

- Estimar la erosión y/o sedimentación con la utilización de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, comparando ambos métodos.

I.3 Hipótesis:

Ho: EL grado de erosión y/o sedimentación es el mismo, en todos los tipos de vegetación.

H1: El grado de erosión y/o sedimentación difiere significativamente en cada tipo de vegetación.

II CAPÍTULO REVISIÓN DE LITERATURA

II.1 Suelo

Se denomina suelo a la colección de cuerpos sólidos (orgánicos y minerales); líquidos y gaseosos; sobre la superficie del terreno que presenta estructuras o capas, que se diferencian del material de origen como resultado de adiciones, pérdida, migraciones y transformaciones de materia orgánica (CONAFOR, 2012). Los suelos se forman por la combinación de cinco grandes factores que intervienen e interactúan para dar paso a la estructura llamada suelo; material parental, clima topografía, organismos vivos y tiempo (SEMARNAT, 2002).

II.2 Propiedades Físicas Del Suelo

Las propiedades físicas del suelo se refieren a como se ve, se siente o se comporta en un medio físico en donde se desarrolla (Rodríguez, 2015). Cada suelo contiene un determinado número de propiedades físicas y químicas que los distinguen unos de otros, las propiedades más importantes a las cuales se les puede atribuir estas diferencias son únicas, ya que dependen de la naturaleza de sus componentes, de las cantidades relativas de cada una de ellas y de la manera en que se encuentran estructurados (Thompson, 1978).

Rodríguez (1982) advierte que existen seis propiedades físicas principales para describir y determinar estas propiedades físicas del suelo;

- 1) Color: En términos generales, el color nos indica el contenido de materia orgánica que existe en él, y así distinguirlo sencillamente.
- 2) Textura: Esta se relaciona con el tamaño de los granos o partículas del suelo;
 - ✓ Las más pequeñas se llaman arcillas
 - ✓ Las más grandes reciben el nombre de arenas.
 - ✓ Las que tienen un tamaño intermedio entre las arcillas y las arenas se llaman limos.

Dependiendo de los granos o partículas que estén en mayor número en el suelo, se puede hablar de suelos con textura arenosa, arcillosa o limosa.

- 3) Estructura: Esta se determina por la forma en que se agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla.
- 4) Porosidad: Al agruparse los granos o partículas del suelo para formar suelos o terrenos, siempre quedan pequeños espacios de distintas dimensiones denominados poros, que son ocupados por agua y aire.
- 5) Permeabilidad: se refiere a la velocidad con la que el agua y el aire circulan o se mueven a través de los poros del suelo.
 - ✓ Los suelos arenosos son de permeabilidad alta y los arcillosos de permeabilidad baja.
 - ✓ Así que los suelos limosos, tienen una permeabilidad intermedia evitando que se saturen demasiado y a su vez dejando transcurrir el agua.
- 6) Densidad Aparente: Es la relación entre la masa de los sólidos y el volumen total que ocupan, expresado en gr/cm^3 o ton/m^3 . Para determinar el volumen de los poros es necesario tomar una muestra del suelo, a través de un cilindro que se entierra hasta el borde en el suelo, para obtener la muestra. La forma y estilo del cilindro tiene como objetivo principal evitar que se deforme la muestra. Por último, el suelo se seca y se pesa; el valor obtenido se divide por el volumen del cilindro y poder así obtener el valor de la densidad aparente (Thompson, 1978).

II.3 Erosión

Es el proceso físico que consiste en el desprendimiento y arrastre de los materiales del suelo por los agentes naturales y el hombre (FAO, 1967). La erosión hídrica es el resultado de la energía producida por el agua al precipitarse sobre la tierra, llevando consigo una fuerza cinética e impactar con las superficies de la tierra (García, 2004).

García, (2004) Advierte que la erosión es un proceso que comprende tres fases:

- Fase 1: Desprendimiento de partículas del suelo o bien pequeñas porciones de la roca madre que se separan formando diminutos fragmentos que quedan a disposición de factores, como pueden ser el aire o el agua.
- Fase 2: Transporte, que comprende el movimiento de estas pequeñas partículas desprendidas de la roca y transportadas por la acción de los agentes erosivos, principalmente por la gravedad, el agua y el viento. Durante su transporte, las partículas pueden causar impacto en la roca madre, llevando consigo al desprendimiento de nuevas partículas que a su vez aumentan el volumen del material transportado.
- Fase 3: Almacenamiento o Deposición que no es más que la acumulación del material en las partes bajas de las pendientes o bien cuando estas son retenidas en las irregularidades del terreno o por la vegetación, causando modificaciones en el paisaje.

El tipo de erosión del suelo está determinado en su mayor parte por la energía cinética del agente transportador, siendo entonces erosión hídrica la provocada por la energía cinética de la lluvia y del posterior escurrimiento; cuando es el viento su energía cinética desprende y transporta las partículas del suelo siendo entonces erosión eólica.

El proceso de erosión del suelo puede ser natural y la causada por el hombre; la primera se debe a los fenómenos que son desencadenados por el medio ambiente, causando aumento en las tasas de erosión (Becerra, 2005), y a eso se le suman las causas provocadas por el hombre que principalmente se debe a la urbanización y al aumento de población ya que esto provoca a que se realicen desmontes y que las personas comiencen a apoderarse de terrenos naturales, destruyendo hábitats de flora y fauna, y trayendo consigo procesos degenerativos del medio físico como: pérdida de cobertura vegetal, empobrecimiento de la fertilidad del suelo, disminución de recarga de los acuíferos, incremento de escorrentía y degradación del suelo, provocando desertificación; lo que genera grandes impactos ambientales en la degradación y pérdida de suelo, ya que este es un recurso no renovable (Morgan, 1997).

Becerra, (2005) cataloga a los principales agentes que intervienen en la erosión en grupos:

- 1) Agentes Activos: son los que realizan directamente las fases del proceso de erosión; que comprende el arrastre y desprendimiento de las partículas del suelo.
- 2) Agentes Predisponentes: causas ambientales naturales o seres vivos que indirectamente influyen a la erosión del suelo. Tal como fenómenos naturales, factores topográficos; como pendiente, relieve, tipo de suelo y cubierta vegetal, y algunos causados por seres vivos como el sobrepastoreo o desmonte de terrenos.
- 3) Agente Amortiguador: tales como la vegetación que cumple un papel importante debido a su efecto de disminuir la energía cinética de la lluvia, escurrimientos superficiales, velocidad del viento y anclaje del suelo.
- 4) Agente Pasivo: como los es el suelo, ya que es el, el que recibe la acción de la erosión y de acuerdo a su grado de susceptibilidad influye en el grado de erosión ocasionado en el suelo.

II.3.1 Importancia

En el estudio del informe del medio ambiente en México”, edición (SEMARNAT, 2015) como parte del inventario Nacional Forestal y de suelos, se realizó un estudio para evaluar la degradación de los suelos causados por las intervenciones del hombre. Según esta investigación el 45.2% de la superficie del país presenta degradación producida por el hombre. El nivel de degradación predominante era ligero a moderado, mientras que los procesos más importantes de degradación fueron la química (que se debe a la pérdida de fertilidad del suelo debido a la contaminación), la erosión hídrica y la erosión eólica, que ocupan la segunda posición llevando consigo el 20% de la degradación del país. Estos tres procesos fueron responsables del 87% de los suelos degradados en el país. Entre las principales causas de degradación se identificaron el cambio de uso del suelo para fines agrícolas y el sobrepastoreo (17.5% en ambos

casos). La deforestación (7.4%) ocupa el tercer lugar, seguida de la urbanización (1.5%). Todas estas causas tienen una importante relación con la afectación de la cubierta vegetal, responsable de la conservación del suelo.

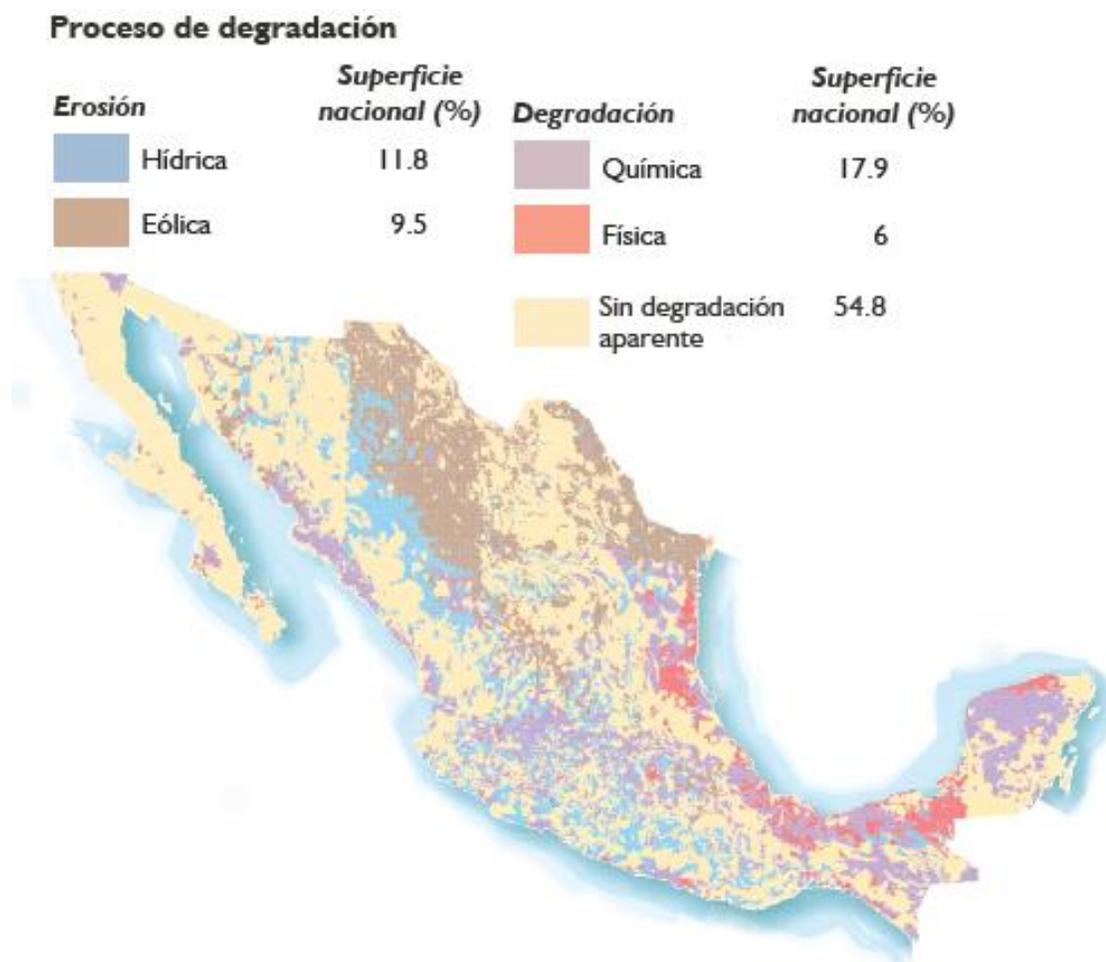


Figura 1. Distribución de la degradación en la República Mexicana, Fuente: Dirección General de Estadística e Información Ambiental, SEMARNAT. México. 2013.

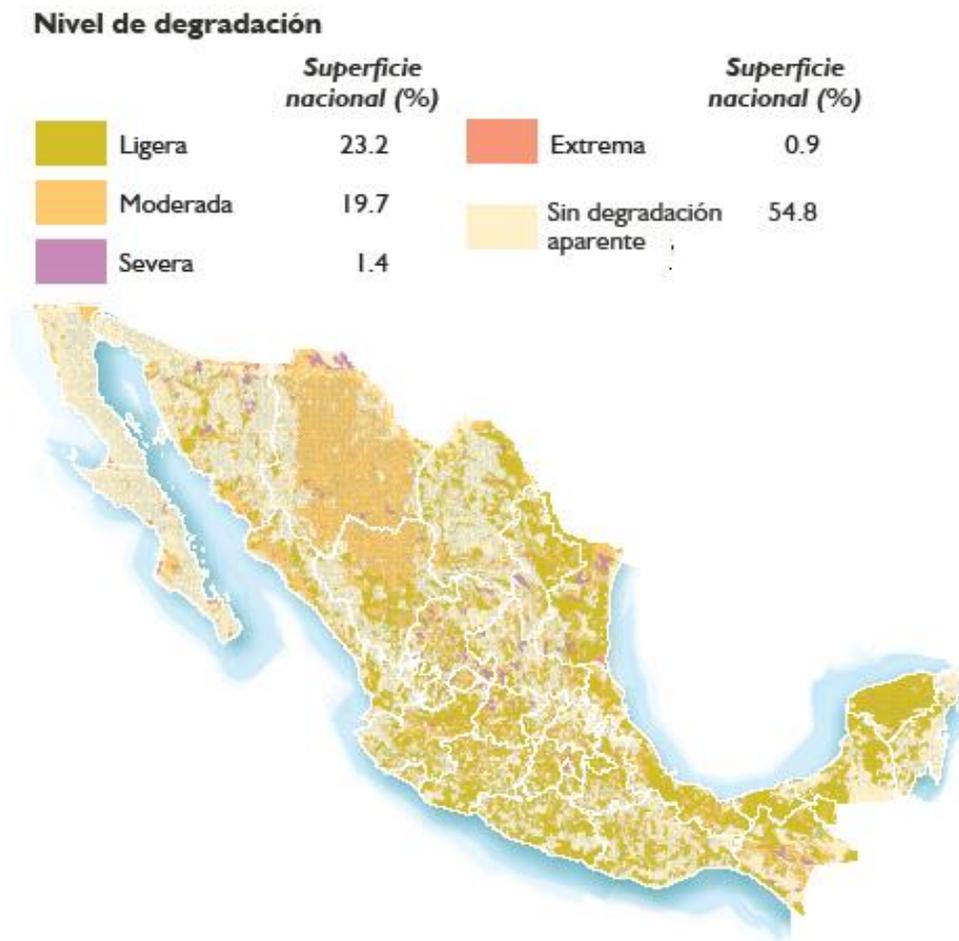


Figura 2. Nivel de degradación en la República Mexicana. Fuente: Dirección General de Estadística e Información Ambiental, SEMARNAT. México. 2013.

II.4 Proceso De Erosión Hídrica

La erosión hídrica tiene algunos procesos como el desprendimiento, transporte y sedimentación o también llamado depósito de las partículas que son desprendidas del suelo, a causa de agentes naturales como la lluvia o antrópicos por intervención del hombre.

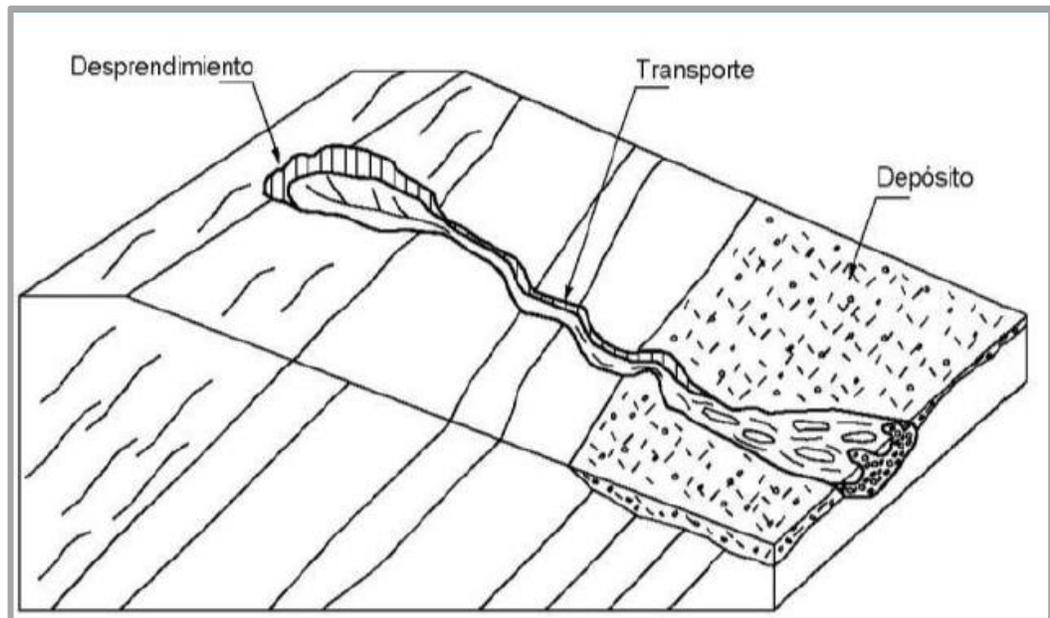


Figura 3. Proceso general de la erosión hídrica. Fuente: Cátedra de Manejo de Tierras, Facultad de Ciencias Agrarias, UNR. 2012

Según Morgan (2005) los factores como el agua, el viento, el tipo de topografía, la vegetación, el material parental y las actividades humanas son la principal causa de la erosión en el mundo. La erodabilidad del suelo es la resistencia de este para evitar la ruptura de partículas y así evitar el transporte y almacenamientos de las mismas en otras partes, causando modificaciones en el paisaje (FAO, 1967). La erosividad de la lluvia implica la magnitud de la fuerza que las gotas de lluvia tienen al impactar en el suelo y su daño va de la mano con la intensidad y duración del evento de lluvia (Morgan, 2005).

En la siguiente figura se muestra el proceso de desprendimiento de las partículas del suelo, causadas por la lluvia al impactar directamente en el suelo.

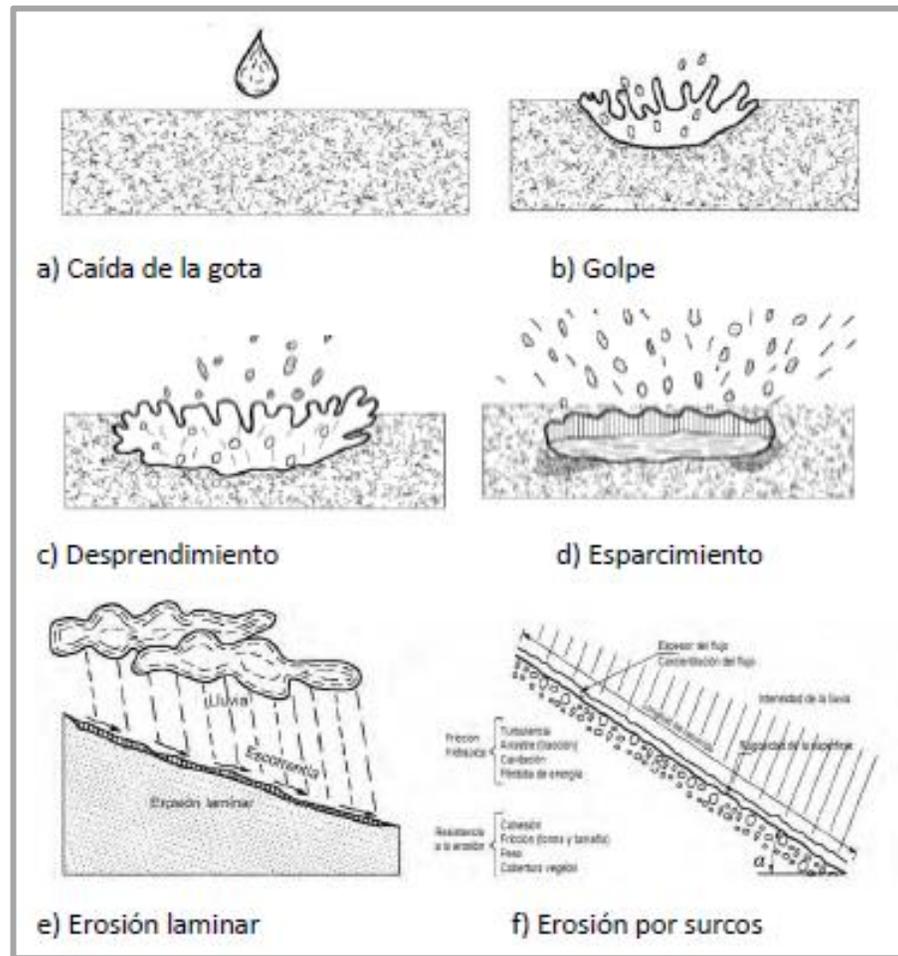


Figura 4. Esquemización del proceso del suelo causado por la lluvia. *Fuente: Cátedra de Manejo de Tierras, Facultad de Ciencias Agrarias, UNR. 2012.*

II.5 Factores Que Intervienen En El Proceso De Erosión Hídrica

Existen algunos elementos de la erosión hídrica que intervienen directamente en ella, y muchas veces son los factores que afectan a este proceso. Sin embargo, como punto de partida, se puede decir que la erosión que ocurrirá en un cierto terreno o suelo dependerá directamente de ciertas variables, las cuales se mencionan a continuación (Morgan, 2005).

- ❖ Clima
- ❖ Vegetación

- ❖ Hojarasca
- ❖ Tipo de suelo
- ❖ Topografía
- ❖ Velocidad del flujo
- ❖ Uso de la tierra

II.5.1 Clima

De las variables climáticas la más importante es la lluvia que define la magnitud del deterioro del suelo, cantidad (mm), duración e intensidad (mm/hr) son los factores que determinan la erodabilidad de los eventos ocurridos en el terreno (Morgan, 2005).

En un evento de lluvia cuya intensidad sea relativamente baja, las tasas de infiltración no se saturarán, habiendo un buen drenaje entre los poros y no se producirá un excesivo escurrimiento superficial, reduciendo el proceso de erosión laminar, así como la formación de cárcavas y riles. Por consiguiente, la lluvia no producirá erosión, ya que las gotas de lluvia no cuentan con el suficiente tamaño o la fuerza cinética para causar grandes daños en el suelo. Por otro lado, una tormenta intensa, presenta un alto potencial erosivo, ya que las partículas desprendidas al impacto de las gotas de lluvia generan mayor escorrentía superficial, debido a la pronta saturación de los poros del suelo, dando como resultado a los procesos erosivos mencionados (Morgan, 2005).

Un factor importante es la duración de la tormenta, así como la distribución temporal de su intensidad, estos son factores determinantes en la valoración de las tasas de erosión que se producen. Las tormentas de larga duración provocaran que exista un aumento en el volumen de las partículas desprendidas del suelo, al igual que una pronta saturación del suelo, y cuando esto sucede aumenta la sedimentación o transporte de las partículas a través del arrastre y su acumulación en otras partes del terreno, modificando el paisaje y trayendo consigo cambios en la vegetación y hábitats de los animales (FAO, 1967).

Cuadro 1. Relación entre el número de tormentas y la erosión producida en Zanesville, Ohio (Según Fournier 1972).

Máxima Agua Caída en 5 Minutos (mm/hr)	Numero de Tormentas	Erosión por Tormenta (ton/ha)	Erosión total (ton/ha)
0-25.4	40	3.7	148
25.5-50.8	61	6	366
50.9-76.2	40	11.8	472
76.3-101.6	19	11.4	216.6
101.7-127.0	13	34.2	444.6
127.1-152.4	4	36.3	145.2
152.5-177.8	5	38.7	193.5
177.9-254.0	1	47.9	47.9

El antecedente más adecuado para determinar la erosividad pluvial es un índice basado en la energía cinética de un evento de lluvia (Morgan, 2005). Entonces se puede confirmar que la erosividad de una tormenta está en función de su intensidad y duración, y el tamaño, diámetro y velocidad de las gotas de lluvia, está relacionado directamente con la intensidad de la tormenta, aumentando su diámetro medio (d_{50}) con la intensidad (Laws y Parsons, 1943), y esta relación solo se mantiene hasta presentar intensidades no superiores a los 100 mm/hr (Hudson, 1963). Sin embargo, con intensidades mayores a los 200 mm/hr, se produce un agrupamiento de las gotas más pequeñas, dando lugar a que el tamaño medio de las gotas vuelva a aumentar (Carter *et al.* 1974). No obstante, existe una variabilidad considerable ya que no es constante la relación entre el tamaño medio de la gota y la intensidad de lluvia; tanto el tamaño medio de la gota y su distribución de las gotas por tamaños, varían para lluvias de igual intensidad, pero con diferentes orígenes (Kinnell 1981; McIsaac 1990).

II.5.2 Vegetación

La vegetación interviene como una malla protectora o amortiguadora entre la atmosfera y el suelo (Morgan, 2005). En términos generales, la vegetación está relacionada con la densidad (pastos, hierbas y arbustos), ya que dependiendo del porcentaje de vegetación que cubra el suelo, este podrá influir en el grado de erosión

que ocurrirá en él (FAO, 1967). Los elementos aéreos, como lo son las hojas y los tallos, juegan un papel sumamente importante, ya que reducen la energía cinética de la lluvia, al igual que el movimiento y actúan como rompevientos, de modo que la erosión en el suelo se ve reducida o simplemente ya no actúan de manera directa en el suelo (Morgan, 2005). Al igual que los componentes aéreos juegan un papel muy importante para reducir la erosión del suelo, los sistemas radiculares de las plantas también contribuyen a disminuir la erosión, ya que las raíces actúan como resistencia mecánica al suelo o anclaje de tal manera que las raíces sujetan y compactan el suelo de forma que su desprendimiento sea más complicada (Garcia-Chevasich, 2008).

El aumento de la cobertura vegetal es la forma más adecuada y efectiva de contrarrestar o controlar la erosión y sedimentación. Coppin y Richards (1990) establecieron que existe una relación entre la cobertura vegetal que existen en el terreno y las tasas de erosión (Figura 5), concluyendo que terrenos con mayor densidad de vegetación tienden a tener menor erosión y sedimentación.

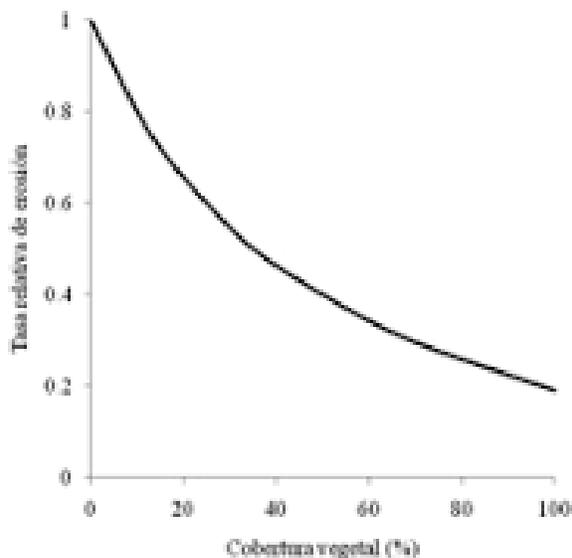


Figura 5. Efecto de la cobertura vegetal en las tasas de erosión (investigación realizada por Coppin and Richards, 1990).

II.5.3 Hojarasca

Existen lugares en la tierra en donde se podría decir que no han sido intervenidos por el hombre, esto significa que no han sido alterados, ni modificados por la presencia humana. Las capas superficiales del suelo se encuentran cubiertas por una hojarasca, compuesta primeramente por hojas y ramas provenientes de la población arbórea que se encuentran en la superficie del terreno (Morgan, 2005). La hojarasca está formada básicamente por tres capas:

- 1) L (del inglés *litter*), Constituida por material vegetal (hojarasca) no descompuesto.
- 2) D (*duff*) En esta capa el material vegetal (mantillo orgánico) se encuentra parcialmente descompuesto.
- 3) H (*humus*) La capa más importante, pues es la que posee los nutrientes en un estado disponible para las plantas, en la cual la descomposición del material vegetal es total.

De igual forma que la cobertura vegetal protege al suelo, de la erosión hídrica, la hojarasca actúa como malla protectora, evitando el impacto directo de las gotas de lluvia en la superficie del suelo. Por otra parte, la hojarasca disminuye la velocidad del flujo superficial debido al aumento en la rugosidad por la que viaja el fluido (Garcia-Chevasich, 2008).

II.5.4 Tipo De Suelo

En términos generales, se puede afirmar que la erosión hídrica, depende mucho del tipo de suelo en el cual ocurra un evento de lluvia. La erodabilidad de un suelo, está en función de variables particulares como la textura, la estructura, permeabilidad y el contenido de materia orgánica (Morgan, 2005).

Se determinó que la variable decisiva, en términos de erosión con respecto a la textura del suelo, es el porcentaje de limo que exista en él, ya que este permitirá que

las partículas son desprendidas de una forma más sencilla o en caso contrario que sea más difícil el desprendimiento de las partículas, para que pueda ocurrir un transporte de sedimentación (García-Chevasich, 2008).

II.5.5 Topografía

Existen factores como la inclinación y el largo de la pendiente que determinan el volumen y velocidad del escurrimiento superficial, que son generados a través de un evento de lluvia (Morgan, 2005). La distancia que recorre una partícula desprendida del suelo está relacionada con el grado de inclinación de la pendiente, y esta determina el lugar en el que será depositada nuevamente, pudiendo causar alteraciones o cambios en la forma topográfica del terreno (FAO, 1967). La longitud de la pendiente influye en el poder erosivo del flujo superficial de la ladera, determinando el área de almacenamiento de estas nuevas partículas, desprendidas desde la parte alta de la pendiente (Morgan, 2005).

Lo forma del terreno o específicamente la pendiente de la ladera, influye en el cálculo de las tasas de erosión, ya que estas suelen cambiar o tener variaciones dependiendo de la inclinación que se presente en el terreno (Terrence *et al.*, 2002). A continuación, se muestra una figura, en donde se presentan las formas de la pendiente y cómo influyen en las tasas de erosión, de forma que las pendientes más prolongadas tienden a tener mayor producción de sedimentos y mayor velocidad del flujo superficial, causando grandes daños en la superficie del terreno, y por otra parte se muestran terrenos casi planos, que exhiben menor erosión del suelo (Terrence *et al.*, 2002).

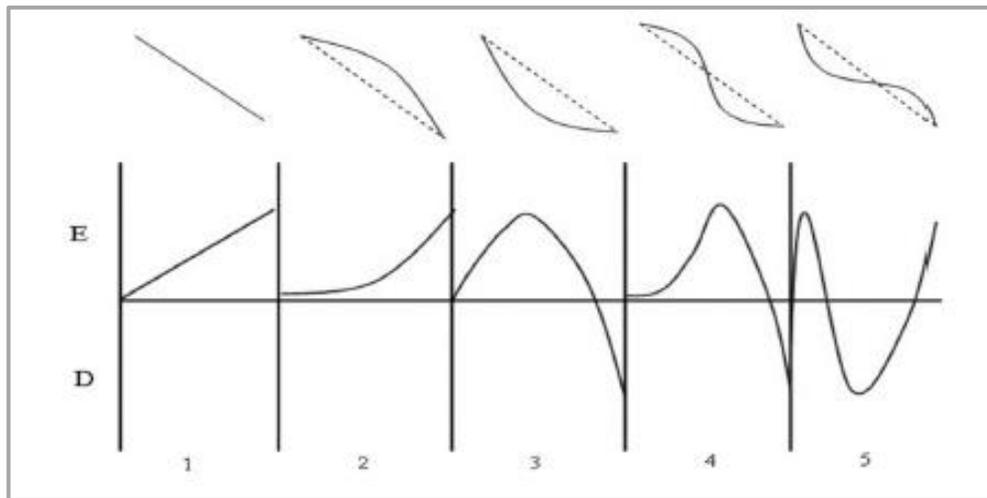


Figura 6. Diferenciaciones en las tasas de erosión (E) y deposición del terreno (D), de acuerdo a cambios topográficos de una pendiente (adoptado de Terrence et al., 2002).

II.5.6 Velocidad Del Flujo

La velocidad del flujo es constituida por tres factores que intervienen directamente en la erosión:

- 1) Vegetación.
- 2) Cantidad de cobertura vegetal (hojarasca).
- 3) Topografía (inclinación y largo de la pendiente).

Siendo cada una un factor diferente para que se lleve a cabo el proceso de erosión, sin embargo, los factores por sí solos no representan mucho riesgo en el terreno, pero en conjunto pueden ser devastadores, de tal forma que si se combina un suelo desnudo, con pendiente prolongada, el deterioro del lugar puede ser fatal (Morgan, 2005).

Es importante resaltar que la velocidad mínima para desprender y transportar partículas de suelo está en función con el diámetro y tamaño de esta (Hjulstrom, 1935).

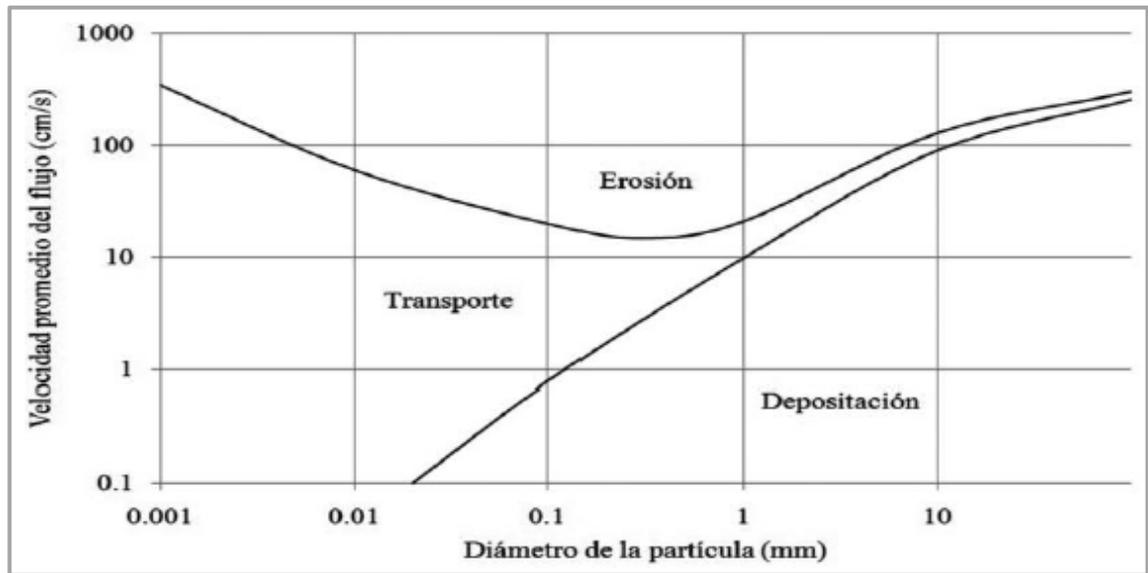


Figura 7. Diagrama de Hjulstrom, el cual muestra la velocidad mínima requerida para que se lleve a cabo el desprendimiento de las partículas del suelo, en función de su diámetro y tamaño. (Adaptado de Hjulstrom, 1935).

II.5.7 Uso De La Tierra

En la actualidad las concentraciones de sedimento en los ríos dependen, casi exclusivamente, de las actividades humanas (manejo de la tierra) a nivel de cuencas hidrográficas (García-Chevesich, 2008). El uso de la tierra es lejos el factor más importante dentro del conjunto de los factores que afectan la erosión y la sedimentación. Durante los últimos años se ha construido y urbanizado más terrenos que la suma de todas las áreas urbanas de los siglos anteriores (Terrence *et al.*, 2002). Los sitios en construcción representan la actividad humana más devastadora, en términos erosivos, debido a la agresividad espacial y temporal asociada a estos.

II.6 Métodos De Estimación De La Erosión

La erosión en términos de áreas de afectación podríamos decir que siempre son grandes, para asegurar su medición cien por ciento precisas y confiables, aun con la utilización de métodos directos como parcelas confinadas y/o colocación de clavos y

rondanas, porque siempre en estos casos de áreas pequeñas se extrapola a indicadores por hectárea o a la superficie total. El uso de modelos es una abstracción simplificada del fenómeno y como tal, tampoco es cien por ciento precisa y confiable ya que dependerá a su vez, de la precisión y confiabilidad de los factores que intervienen en el modelo. Así entonces, los tipos de estimación de la erosión son los siguientes:

- 1) **Método directo:** Para llevar a cabo este método es necesario disponer tiempo y esfuerzo, ya que las mediciones de las variables se tienen que realizar directamente en campo, interactuando con el medio físico que rodea al área de estudio. Algunos de los métodos directos más conocidos, son: uso de clavos y rondanas en una parcela, uso de estacas, cubicación de cárcavas, cuantificación de lotes de escurrimiento y cuantificación de sedimentos en una cuenca (Becerra, 1999).
- 2) **Método indirecto:** los cuales se dividen a su vez en modelos determinísticos y paramétricos;
 - ✓ Los modelos determinísticos: se refieren a procesos físicos, químicos o biológicos, que cuya solución para determinarlos es única y casi siempre se aplica el mismo método y los cuales tienen una gran ventaja, ya que los parámetros usados en el modelo pueden ser transferidos a otra área y periodo de tiempo y a su vez la resolución de estos puede llevarse a cabo a través de métodos analíticos o numéricos (Becerra, 1999).
 - ✓ Los modelos paramétricos: estos modelos presentan una descripción detallada del área de estudio y determinan mejor la variación espacial de las fuentes del problema; son modelos que se basan en la identificación de las relaciones estadísticas que existen entre las variables, calculando el factor determinante que se desee calcular, como ejemplo de este modelo se enfatiza la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Becerra, 1999).

II.7 Erosión Hídrica Potencial (EHP) Y Erosión Hídrica Actual (EHA)

La erosión hídrica potencial se define como la pérdida total del suelo en todo el año, si este estuviera descubierto siempre, de tal forma que el suelo estuviese desnudo y no se realizara ningún tipo de control o prácticas de conservación, así que la obtención de la erosión hídrica potencial es el producto de los factores de Erosividad de la lluvia, Erodabilidad del suelo, longitud y el grado de la pendiente (Colín-García *et al.*, 2013). Y por otra parte la erosión hídrica actual no es más que el cálculo de todos los factores anteriores, agregando y tomando en cuenta el factor de cultivo o cubierta vegetal (C) y el factor de prácticas mecánicas (P).

Una clasificación de la erosión muy utilizada es la que se presenta en el siguiente cuadro (2).

Cuadro 2. Clases de Erosión (Colín-García et al., 2013).

Clases de Erosión	Perdida de suelo (Ton/ha/año)
Nula o Ligera	Menor a 10
Moderada	10-50
Alta	50-200
Muy Alta	Mayor a 200

Ton= Toneladas, ha= Hectáreas.

II.8 Sedimentación

A nivel geológico, un sedimento es el material sólido que se acumula en la superficie terrestre y que surge por la acción de diversos fenómenos naturales que actúan en la atmósfera, la hidrosfera y la biosfera (Pérez, 2005). Los vientos, las precipitaciones y los cambios de temperatura son algunos de los factores vinculados al desarrollo de sedimentos. La mayoría de los procesos de sedimentación tienen lugar bajo la acción de la gravedad. Las zonas deprimidas suelen estar sometidas a la sedimentación, mientras que las áreas más elevadas de la litosfera tienden a sufrir la

erosión. Las depresiones en las cuales se acumulan los sedimentos reciben el nombre de cuencas sedimentarias (Pérez, 2005).

II.9 Ecuación Universal De Pérdida De Suelo (EUPS)

La ecuación universal de pérdida de suelo (EUPS) es un modelo diseñado para estimar la pérdida de suelo promedio por salpicamiento y en canalillo bajo condiciones específicas, todo esto por un tiempo prolongado. La ecuación agrupa las numerosas interrelaciones de parámetros físicos y de manejo que influyen en la tasa de erosión en seis principales factores, cuyos valores pueden ser expresados numéricamente para un sitio específico o bien multiplicados para conocer el valor calculado de una superficie mayor, y esto da como resultado la estimación de la cantidad de suelo perdido por unidad de superficie (hectárea) y tiempo (año), (Becerra, 2005).

La ecuación universal de pérdida de suelo sirve como instrumento de planeación para establecer prácticas y medidas de conservación de suelos, de forma que se calcule la erosión del suelo mucho antes de que se pierda, y de esta forma realizar obras de conservación y prevención (SAGARPA, 2005). El modelo matemático multifuncional, es integrado por seis procesos que intervienen en el cálculo de la erosión, como se muestra a continuación (Flores *et al.*, 2003):

$$A = R * K * LS * C * P$$

Donde:

A = pérdida de suelo en ton/ha/año.

R = Factor de erosividad de la lluvia.

K = Factor de erosionabilidad del suelo.

LS = Factor de longitud y grado de pendiente.

C = Factor de cultivo o cobertura vegetal

P = Factor de prácticas mecánicas.

Becerra (2005) determina que la ecuación básica de este modelo está constituida por dos factores que dividen la ecuación en; activo y el pasivo.

- **Factor Activo:** implica a los factores R, K y LS que es el cálculo del agua que erosiona al suelo, y con ellos se pueden cuantificar la pérdida de suelo cuando el terreno presenta las condiciones estándar para los demás factores.
- **Factor Pasivo:** en él participan los factores C y P, llamados factores secundarios, que representan la relación de pérdida de suelo entre una condición dada de campo y la condición estándar respectiva para ese factor. Debido a que son los únicos elementos que pueden ser modificados por las actividades del hombre.

II.9.1 Factor de Erosividad de la Lluvia (R).

Este factor se refiere a la energía cinética de la lluvia, ya que es una de las principales causantes (junto con la topografía y las prácticas de cultivo) de la erosión de los suelos; su proceso comienza desde el momento que las gotas de lluvia caen al suelo, impactando directamente y a su vez desprendiendo pequeñas partículas que son removidas a través del escurrimiento superficial, transportando a los sedimentos a otra parte del terreno (INIFAP.2007). De acuerdo con Wischmeier (1959) el factor de erosividad de la lluvia se define como el producto de dos características de la lluvia tempestuosa: la energía cinética total de la lluvia (E_c) y la intensidad máxima en treinta minutos (I_{30}):

$$EI_{30} = (E_c) (I_{30})$$

Donde:

EI_{30} = índice de erosividad para un evento (MJ.mm/ha.hr).

E_c = energía cinética total de la lluvia (MJ/ha).

I_{30} = intensidad máxima de la lluvia en 30 min (mm/hr).

Energía Cinética:

$$E_{c_t} = \sum_{i=1}^n (E_{c_t} * P_i)$$

Donde:

E_{c_i} = Energía cinética total para un segmento de lluvia (i) (en MJ/ha.mm)

P_i = Lamina de un segmento de lluvia (i) (en mm).

Para llevar a cabo la suma de las intensidades máximas de la lluvia en treinta minutos (I_{30}) de cada uno de los eventos registrados del año, se obtiene el índice de erosividad anual, como se indica en la siguiente fórmula:

$$R = \sum_{j=1}^m (EI_{30})$$

Donde:

R = Es el factor de erosividad de la lluvia o índice de erosividad anual de Wischmeier, expresado en MJ/ha/año.

m = número de eventos durante el año.

EI_{30} = índice de erosividad de la lluvia por evento.

La ecuación del factor de erosividad de lluvia suele ser complicada, a la hora de aplicarla en algunas partes del mundo, debido a la falta de instrumentación especializado en medir la intensidad de lluvia que se presentan, marcando una carencia de información que regularmente suelen ser indispensables para este cálculo (Flores *et al.*, 2003). Cortes (1991), genero para México, un mapa de erosividad que proporciona información de 53 estaciones meteorológicas, con periodos que varían desde los cuatro a los once años, regionalizando las estaciones para determinar áreas sujetas a condiciones similares de lluvia (Figura 8), y así poder formar catorce regiones, con diferentes valores para cada caso y de igual forma caracterizar sus respectivas ecuaciones de erosividad para el cálculo más sencillo y rápido del territorio mexicano, (Cuadro 3).

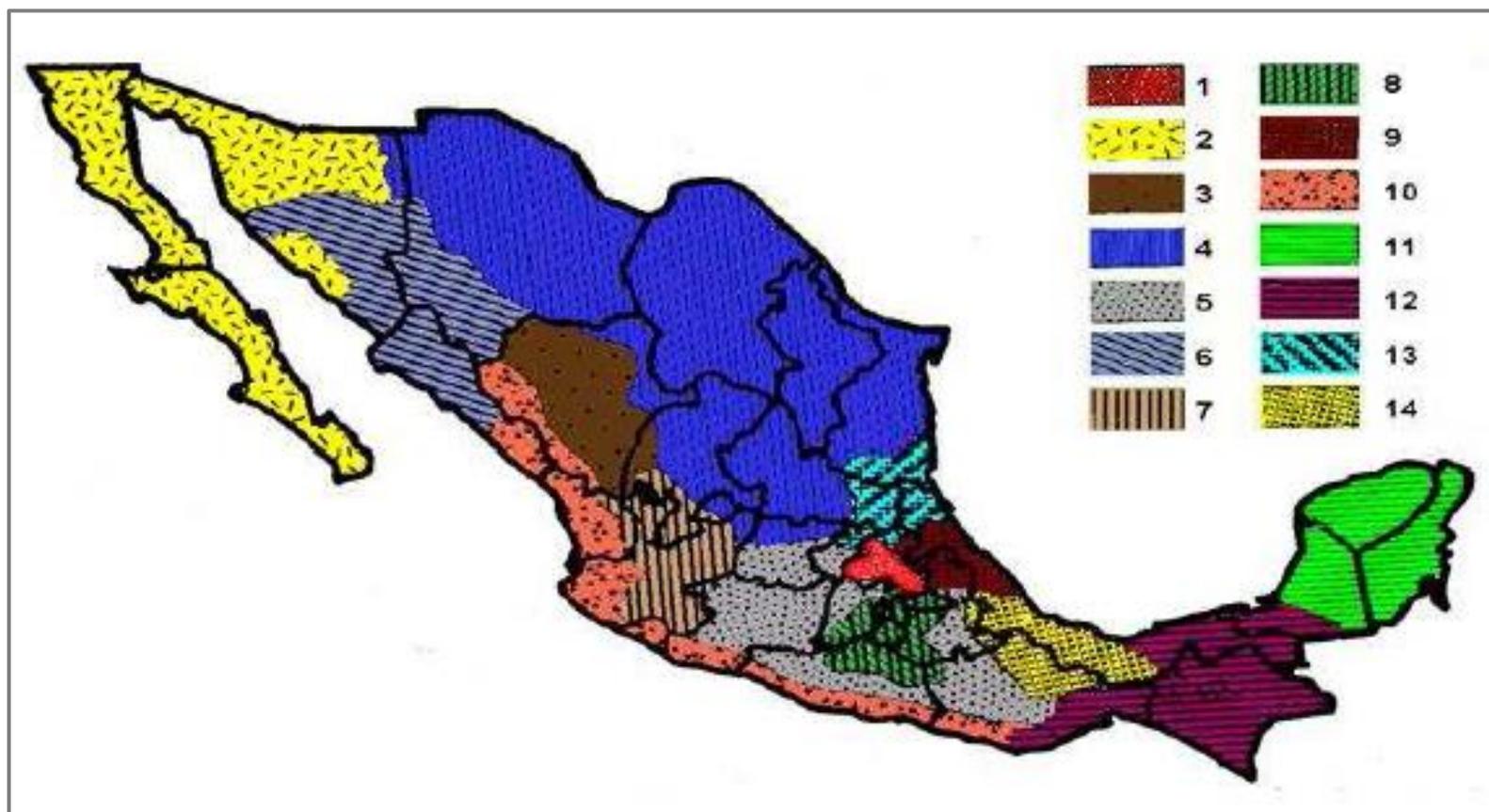


Figura 8. Mapa de erosividad para la República Mexicana (SAGARPA, 2005).

Cuadro 3. Ecuaciones para estimar la erosividad de la lluvia (R) en las diferentes regiones del país (SAGARPA, 2005).

REGION	ECUACION	R ²
I	$R=1.2078P+0.002276P^2$	0.92
II	$R=3.4555P+0.006470P^2$	0.93
III	$R=3.6752P-0.001720P^2$	0.94
IV	$R=2.8559P+0.002983P^2$	0.92
IX	$R=7.0458P-0.002096P^2$	0.97
V	$R=3.4880P-0.00088P^2$	0.94
VI	$R=6.6847P+0.001680P^2$	0.9
VII	$R=-0.0334P+0.006661P^2$	0.98
VIII	$R=1.9967P+0.003270P^2$	0.98
X	$R=6.8938P+0.000442P^2$	0.95
XI	$R=3.7745P+0.004540P^2$	0.98
XII	$R=2.4619P+0.006067P^2$	0.96
XIII	$R=10.7427P-0.00108P^2$	0.97
XIV	$R=1.5005P+0.002640P^2$	0.95

II.9.2 Factor de Erosionabilidad del suelo (K)

La erosividad del suelo, sugerido por Cook (1936), se utiliza para indicar la susceptibilidad de un suelo particular a ser erosionado. Este factor refleja el hecho de que diferentes suelos se erosionan de forma diferente, aun teniendo las mismas condiciones erosivas que los demás factores (Becerra, 1999). La erosionabilidad de los suelos está apegada a algunas propiedades de estos, tales como la distribución del tamaño de las partículas primarias, el contenido de materia orgánica, estructura del suelo, óxidos de hierro y aluminio, uniones electroquímicas, contenido de humedad y porcentaje de vegetación presente en el terreno (CONAFOR, 2015).

Para llevar a cabo el cálculo del factor K, Becerra, (1999) menciona que este factor se puede obtener a través de un monograma realizado por Wischmeier & Smith en 1978, (Figura000), en el cual solo es necesario conocer 5 parámetros del suelo, con los cuales será posible realizar el cálculo del factor:

1. Porcentaje de limos (0.002 – 0.05 mm) y arenas muy finas (0.05 - 0.10 mm).
2. Porcentaje de arena (0.1 – 2.0 mm).
3. Contenido de materia orgánica, en %.
4. Estructura
5. Permeabilidad.

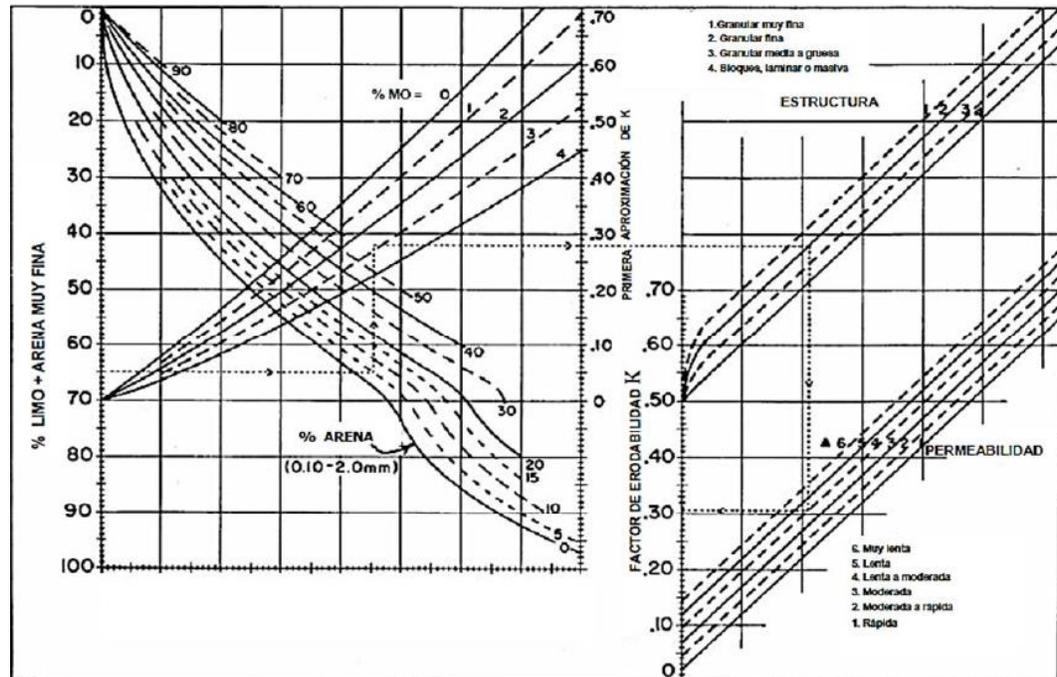


Figura 9. Nomograma para determinar la erosividad del suelo (Wischmeier & Smith, 1978).

Gracias a los nomogramas, hoy en día es más sencillo determinar el valor de k; de igual forma que en el caso del factor R, desafortunadamente existen muchas regiones del mundo en donde no se cuenta con la instrumentación necesaria para determinar los datos suficientes para llevar a cabo el proceso. Por esta razón, cuando se presentan estas circunstancias, es recomendable utilizar la guía metodológica propuesta por la FAO (1980), para calcular el valor de K a partir de la textura y el tipo de suelo, según el sistema de clasificación de la propia FAO (Becerra, 1991). A continuación, se muestra el cuadro con los valores ya establecidos y listos para usarse.

Cuadro 4. Valores del Factor K, para cada tipo de suelo, según la clasificación de la FAO, CONAFOR, 2015.

ORDEN	TEXTURA			ORDEN	TEXTURA			Ordenes de suelos de la clasificación FAO	
	G	M	F		G	M	F		
A	0.026	0.04	0.013	Lo	0.026	0.04	0.013	ACRISOLES	A
Af	0.013	0.02	0.007	Lp	0.053	0.079	0.026		
Ag	0.026	0.03	0.013	Lv	0.053	0.079	0.026	CAMBISOLES	B
Ab	0.013	0.02	0.007	M(g,a)	0.026	0.04	0.013		
Ao	0.026	0.04	0.013	N(d,e,b)	0.013	0.02	0.007	CHERNOZEM	C
Ap	0.053	0.079	0.0296	O(d,e,x)	0.013	0.02	0.007		
B	0.026	0.04	0.013	P	0.053	0.079	0.026	PODZOLUVISOLES	D
Bc	0.026	0.04	0.013	Pf	0.053	0.079	0.026		
Bd	0.026	0.04	0.013	Pg	0.053	0.079	0.026	RENDZINAS	E
Be	0.026	0.04	0.013	Ph	0.026	0.04	0.013		
Bf	0.013	0.02	0.007	Pl	0.026	0.04	0.013	FERRASOLES	F
Bg	0.026	0.04	0.013	Po	0.053	0.079	0.026		
Bh	0.0413	0.02	0.007	Pp	0.053	0.079	0.026	GLEYSOLES	G
Bk	0.026	0.04	0.013	Q(a,c,f,l)	0.013	0.02	0.007		
Bv	0.053	0.079	0.026	R	0.026	0.04	0.013	FEOZEM	H
Bx	0.053	0.079	0.026	Re	0.026	0.04	0.013		
C(g,h,b,l)	0.013	0.02	0.007	Rc	0.013	0.02	0.007	LITISOLES	I
D(d,e,g)	0.053	0.079	0.026	Rd	0.026	0.04	0.013		
E	0.013	0.02	0.007	Rx	0.053	0.079	0.026	FLUVISOLES	J
F(a,b,o,p,r)	0.013	0.02	0.007	S	0.053	0.079	0.026		
G	0.026	0.04	0.013	Sg	0.053	0.079	0.026	KASTAÑOZEM	K
Gc	0.013	0.02	0.007	Sm	0.026	0.04	0.013		
Gd	0.026	0.04	0.013	So	0.053	0.079	0.026	LUVISOLES	L
Ge	0.026	0.04	0.013	T	0.026	0.04	0.013		
Gh	0.013	0.02	0.007	Th	0.013	0.02	0.007	GREYZEM	M
Gm	0.013	0.02	0.007	Tm	0.013	0.02	0.007		
Gp	0.053	0.079	0.026	To	0.026	0.04	0.013	NITISOLES	N
Gx	0.053	0.079	0.026	Tv	0.026	0.04	0.013		
Gv	0.053	0.079	0.026	U	0.013	0.02	0.007	HISTISOLES	O
H(c,g,h,l)	0.013	0.02	0.007	V(c,p)	0.053	0.079	0.026		
I	0.013	0.02	0.007	W	0.053	0.079	0.026	PODZOLES	P
J	0.026	0.04	0.013	Wd	0.053	0.079	0.026		
Jc	0.013	0.02	0.007	We	0.053	0.079	0.026	ARENOSOLES	Q
Jd	0.026	0.04	0.013	Wh	0.026	0.04	0.013		
Je	0.026	0.04	0.013	Wm	0.026	0.04	0.013	REGOSOLES	R
Jt	0.053	0.079	0.026	W	0.053	0.079	0.026		
Jp	0.053	0.079	0.026	Wx	0.053	0.079	0.026	SOLONETZ	S
K(h,k,l)	0.026	0.04	0.013	X(b,k,l,y)	0.053	0.079	0.026		
L	0.026	0.04	0.013	Y(h,k,l,t)	0.053	0.079	0.026	ANDOSOLES	T
La	0.053	0.079	0.026	Z	0.026	0.04	0.013		
Lc	0.026	0.04	0.013	Zg	0.026	0.04	0.013	RANKERS	U
Lf	0.013	0.02	0.007	Zm	0.013	0.02	0.007		
Lg	0.026	0.04	0.013	Zc	0.026	0.04	0.013	VERTISOLES	V
Lk	0.026	0.04	0.013	Zt	0.053	0.079	0.026		

G = Textura Gruesa, M = Textura Media y F = Textura Fina.

II.9.3 El factor de longitud y Grado de pendiente (LS)

El resultado de la topografía sobre la erosión está representado por los factores L y S, la longitud de la pendiente (L), que hace referencia a la distancia del punto de origen de un escurrimiento hasta el punto donde disminuye la pendiente (se refiere a un punto donde el escurrimiento superficial encuentra un canal de salida bien establecido o donde ocurre el transporte de las partículas desprendidas del suelo, en términos generales llamado; sedimentación) y, por otra parte el factor de la pendiente (S), que indica el grado de inclinación del terreno expresado frecuentemente en porcentaje (%) (Becerra, 1999).

Generalmente estos parámetros están ligados a el hecho de que sus características topográficas aumentan, el efecto de la perdida de suelo es mayor, a menudo estos factores son representados como un factor único (Becerra, 1999).

Becerra (1999) describe una ecuación, la cual fue desarrollada a partir de la obtención de datos reales de algunos lotes de escurrimiento, con valores de 22.13 metros de longitud. Este valor es considerado como longitud estándar, permaneciendo constantes los demás factores:

$$LS = (X/22.13)^m(0.065 + 0.045s + 0.0065s^2)$$

Donde:

LS = Longitud y grado de pendiente

X = Longitud de la pendiente en metros

S = Pendiente del terreno en porcentaje

m = Exponente que depende del grado de pendiente

Mitchell (1984) establece diferentes valores del exponente (m), de acuerdo a la pendiente del terreno, expresada en porcentaje (%);

- a) $m = 0.5$ si la pendiente del terreno es mayor de 5%.
- b) $m = 0.4$ para pendientes entre el 3% y 5%.

c) $m = 0.3$ para pendientes entre el 1% y 3%.

d) $m = 0.2$ si la pendiente es menor a 1%.

II.9.4 Factor de cultivo o cobertura vegetal (C)

El factor "C" de manejo de cultivo o cobertura, es una relación directa que existe entre el tipo de suelo del lugar y la cubierta vegetal que existe en el mismo, ya que se tiene entendido que hay relación en la cantidad de suelo perdido con el tipo de vegetación o cultivo que exista cuando el suelo está desnudo (Martínez, 2005). Este factor tiene en cuenta la eficiencia de los cultivos, es decir, la cobertura vegetal en general para proteger el suelo y así reducir el daño de la gota de lluvia (Wischmeier & Smith, 1978).

Al igual que los factores anteriores se creó una tabla para facilitar el cálculo del factor "C", esta consiste el tipo de cultivo o vegetación que existe en el sitio y su nivel de productividad que se desarrolló en él (Figueroa *et al* 1991).

Cuadro 5. Valores del factor C, de acuerdo al tipo de cultivo o cobertura vegetal en función del nivel de productividad, según Figueroa et al 1991 y CONAFOR, 2015.

CUBIERTA VEGETAL	FACTOR C
Arbolado Denso	0.001- 0.003
Arbolado Clareado	0.003 - 0.009
Arbolado muy Clareado (25-60%)	0.041
Matorral con buena cobertura	0.003-0.013
Matorral Ralo	0.013-0.020
Cultivos Anuales y Herbáceos	0.25
Pastizales	0.15
Plantas Herbáceas	0.003
Cubierta Escasa (60%)	0.15-0.29
Cubierta Inapreciable	0.45

II.9.5 Factor de prácticas mecánicas (P)

El factor P de la ecuación universal de pérdida del suelo es la proporción de la pérdida de suelo que se presenta cuando se hace uso de alguna práctica específica, en comparación con la pérdida calculada en suelos cultivados en laderas sin ningún tipo de prácticas de conservación alguna (Becerra, 1999). El uso de las prácticas de conservación de suelos se utiliza para reducir la pérdida de suelo hasta alcanzar las máximas permisibles, los métodos de control de la erosión que generalmente son incluidos en este factor son el surcado al contorno, el terraceo y el cultivo en fajas (Martínez, 2005).

Martínez (2005) describe una tabla donde se muestran las prácticas más comunes de conservación y los valores de P que se registran para cada una.

Cuadro 6. Factor de P utilizado para diferentes prácticas y obras de conservación del suelo y agua.

Práctica	Valor de P
Surcado al contorno	0.75-0.90
Surcos rectos	0.80-0.95
Franjas al contorno*	0.60-0.80
Terrazas (2-7 % de pendiente)	0.50
Terrazas (7-13 % de pendiente)	0.60
Terrazas (mayor de 13 %)	0.80
Terrazas de Banco	0.10
Terrazas de Banco en contrapendiente	0.05

III CAPÍTULO MATERIALES Y MÉTODOS

III.1 Área De Estudio

III.1.1 Localización

El trabajo se realizó en la Microcuenca "Los Ángeles", hidrológicamente se ubica en la región hidrológica 24, cuenca B, subcuenca e (RH24-Be); políticamente se ubica en el municipio de Saltillo, Coahuila y comprende parte del rancho experimental los Ángeles propiedad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y también parte del Ejido la Hedionda. Esta microcuenca engloba el área de estudio y por sus dimensiones es considerada como una microcuenca como la define el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2018) y puede considerarse como área representativa de regiones con condiciones similares.

La microcuenca "Los Ángeles". Se localiza a 50 km al sur de la ciudad de Saltillo, Coahuila entre los 1750 y 2150 msnm; para llegar al área se deben recorrer 34 km sobre la carretera Federal 54, en el tramo Saltillo-Concepción del Oro y posteriormente al llegar al entronque que dirige hacia el ejido la Hedionda Grande tomar por el camino principal hacia el oriente 16 km, hasta llegar a la altura del Rancho Ganadero Experimental "Los Ángeles", de la UAAAN.

La superficie de la Microcuenca "Los Ángeles" es de 2701.24 ha y se ubica entre las coordenadas 25° 08' a 25° 05' Latitud Norte y 100° 58' a 100° 59' Longitud Oeste.

La microcuenca Los Ángeles fue delimitada en el Sistema de Información Geográfica para la Planeación y Manejo de microcuencas (SIGMAPLAM sureste de Coahuila. INIFAP, 2005) y su clave de identificación es RH24-B-e24-XIII

MAPA DE UBICACIÓN DE LA MICROCUENCA, "LOS ÁNGELES", SALTILLO, COAHUILA.

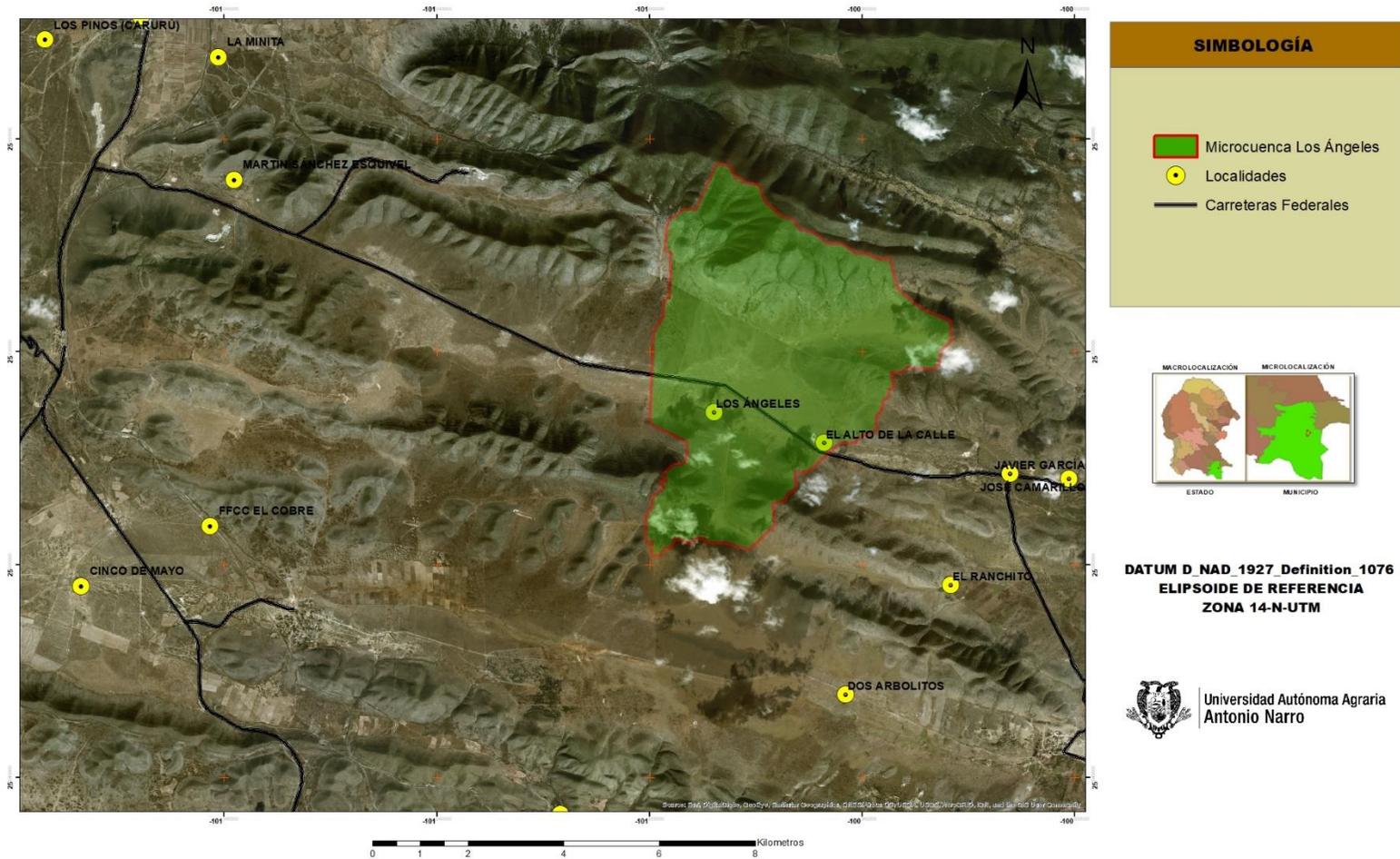


Figura 10. Mapa de ubicación de la microcuenca, Los Ángeles.

III.1.2 Clima

De acuerdo con la clasificación climática elaborada por Köppen (1948), y modificada por García (1964), el tipo de clima en la microcuenca es clima Semiseco Templado, (BS1kw) con temperatura media anual entre 12° C y 18° C, temperatura del mes más frío entre -3° C y 18° C, temperatura del mes más caliente menor de 22° C (INEGI, 2016). Debido al tamaño de la microcuenca (2071.24 ha). El clima y su descripción se mencionan en el siguiente cuadro.

Cuadro 7. Clima de la microcuenca Los Ángeles cuya clave es RH24-B-e24-XIII, de acuerdo con Köppen (1948) y modificada por García (1964).

Clave	Tipo de Clima	Descripción	Clave Subclimas	Descripción
BS1 (Estepario semiseco) Corresponde a los que tienen un cociente P/T menor de 22.9	Semiseco templado	Corresponde a templado con verano cálido, temperaturas medias, anuales de 12° a 18° C, del mes más frío entre los -3° y 18° C y del mes más cálido >18°C.	BS1kw	Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.

P/T= Índice de humedad.

III.1.3 Fisiografía

El área de estudio se ubica fisiográficamente dentro de la provincia de la Sierra Madre Oriental y comprende dos subprovincias, siendo la mayor representada en superficie dentro de la microcuenca la subprovincia de las Sierras Transversales, y en menor proporción la Subprovincia de la Gran Sierra Plegada

Topoformas

La microcuenca cuenta con un relieve muy variado, que se debe principalmente a la zona geográfica en la que se encuentra, ya que, al estar en medio de las sierras, el relieve se torna muy distinto dando lugar a terrenos con bajadas, laderas y sierras.

Cuadro 8. Topoformas de la microcuenca, elaborada por el SIGMAPLAN sureste de Coahuila, INIFAP, 2005.

Tipo de Topoformas	Superficie en Ha	Porcentaje de la Microcuenca.
Sierra	1026.47	38%
Bajada	1674.77	62%
Total	2701.24	100%

MAPA FISIAGRÁFICO DE LA MICROCUENCA, "LOS ÁNGELES", SALTILLO, COAHUILA.

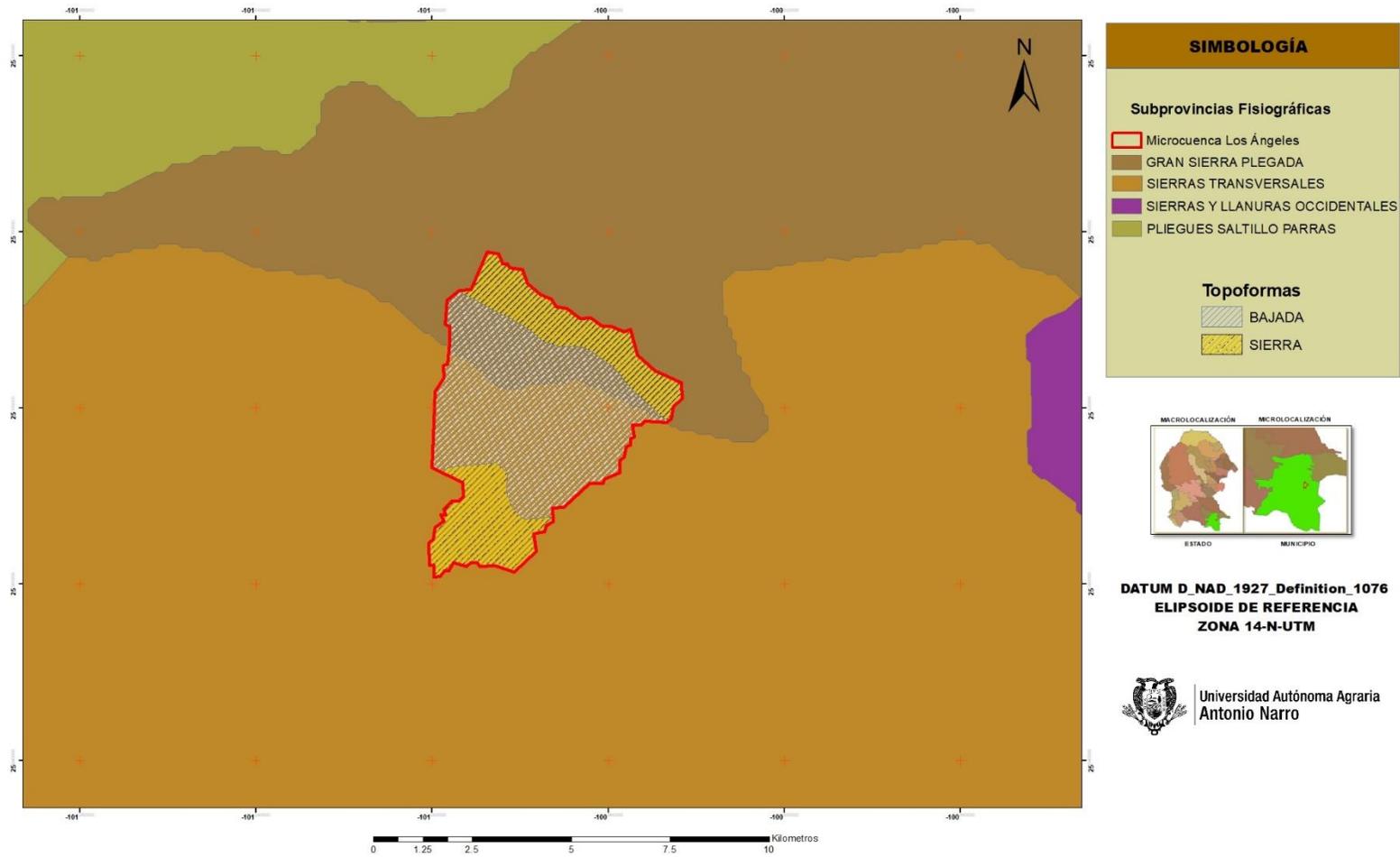


Figura 11. Mapa de las Subprovincias Fisiográficas que se encuentran cerca de la microcuenca Los Ángeles

III.1.4 Geología

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

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

III.1.5 Hidrología

La microcuenca "Los Ángeles" forma parte de la región Hidrológica Bravo-Conchos (RH24), esta región es vertiente del golfo de México y Cuencas Cerradas del Norte.

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

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

MAPA GEOLÓGICO DE LA MICROCUENCA, "LOS ÁNGELES", SALTILLO, COAHUILA.

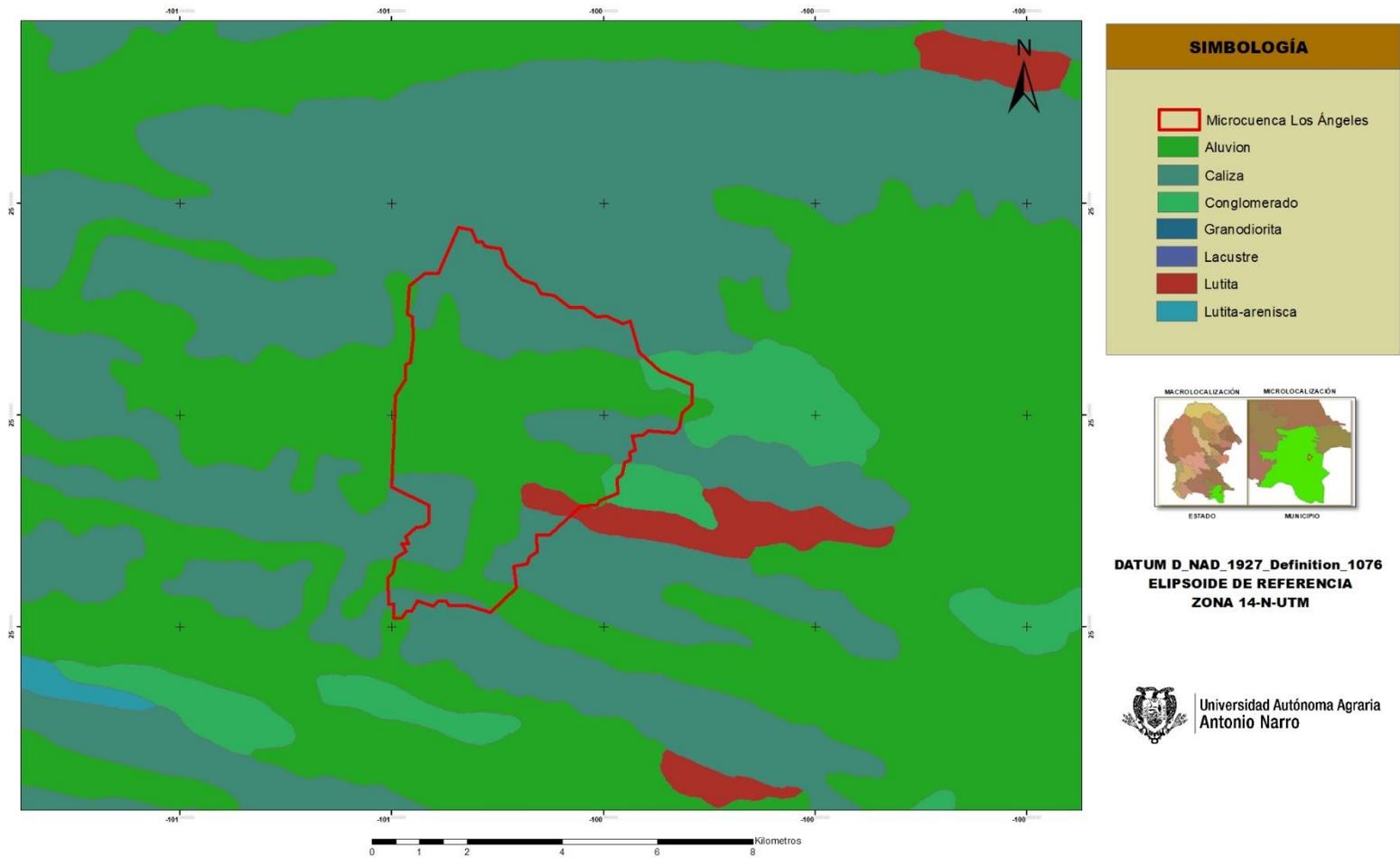


Figura 12. Mapa Geológico de la microcuenca Los Ángeles.

III.1.6 Edafología

Dentro del área de estudio (Microcuenca Los Ángeles), se encontraron seis diferentes unidades edafológicas, que se distribuyen por toda la microcuenca, siendo el litosol y el feozem calcarico, los suelos con mayor dominancia, teniendo consigo mayor superficie en el terreno.

Cuadro 9. Unidades edafológicas de la Microcuenca Los Ángeles.

Unidad Edafológica	Superficie (ha)	Superficie (%)
Castañozem Cálcico	232.29	8.60
Feozem Calcarico	717.6	26.57
Litosol	1108.34	41.03
Regosol	0.24	0.01
Rendzina	642.77	23.80
Total General	2701.24	100

Castañozem

Del latín, *castaneo*: castaño; y del ruso *zemljá*: tierra. Literalmente, tierra castaña. Suelos alcalinos que se encuentran ubicados en zonas semiáridas o de transición hacia climas más lluviosos como las sierras y llanuras del norte de Zacatecas, parte del Bolsón de Mapimí y las llanuras occidentales de San Luis Potosí, en condiciones naturales tienen vegetación de pastizal, con algunas áreas de matorral. Frecuentemente tienen más 70 cm de profundidad y se caracterizan por presentar una capa superior de color pardo o rojizo oscuro, rica en materias orgánicas y nutrientes, con acumulación de caliche suelto o ligeramente cementado en el subsuelo. En México se usan para ganadería extensiva mediante el pastoreo o intensiva mediante pastos cultivados con rendimientos de medios a altos; en la agricultura son usados para el cultivo de granos, oleaginosas y hortalizas con rendimientos generalmente altos, sobre todo si están bajo riego, pues son suelos con alta fertilidad natural. Son moderadamente susceptibles a la erosión. Su símbolo es (K).

Feozem

Del griego *phaeo*: pardo; y del ruso *zemljá*: tierra. Literalmente, tierra parda. Suelos que se pueden presentar en cualquier tipo de relieve y clima, excepto en regiones tropicales lluviosas o zonas muy desérticas. Es el cuarto tipo de suelo más abundante en el país. Se caracteriza por tener una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes, semejante a las capas superficiales de los Chernozems y los Castañozems, pero sin presentar las capas ricas en cal con las que cuentan estos dos tipos de suelos. Los Feozems son de profundidad muy variable. Cuando son profundos se encuentran generalmente en terrenos planos y se utilizan para la agricultura de riego o temporal, de granos, legumbres u hortalizas, con rendimientos altos. Los Feozems menos profundos, situados en laderas o pendientes, presentan como principal limitante la roca o alguna cementación muy fuerte en el suelo, tienen rendimientos más bajos y se erosionan con más facilidad, sin embargo, pueden utilizarse para el pastoreo o la ganadería con resultados aceptables. El uso óptimo de estos suelos depende en muchas ocasiones de otras características del terreno y sobre todo de la disponibilidad de agua para riego. Su símbolo en la carta edafológica es (H).

Litosol

Del griego *lithos*: piedra. Literalmente, suelo de piedra. Son los suelos más abundantes del país pues ocupan 22 de cada 100 hectáreas de suelo. Se encuentran en todos los climas y con muy diversos tipos de vegetación, en todas las sierras de México, barrancas, lamerías y en algunos terrenos planos. Se caracterizan por su profundidad menor de 10 centímetros, limitada por la presencia de roca, tepetate o caliche endurecido. Su fertilidad natural y la susceptibilidad a la erosión, es muy variable dependiendo de otros factores ambientales. El uso de estos suelos depende principalmente de la vegetación que los cubre. En bosques y selvas su uso es forestal; cuando hay matorrales o pastizales se puede llevar a cabo un pastoreo más o menos limitado y en algunos casos se destinan a la agricultura, en especial al cultivo de maíz

o el nopal, condicionado a la presencia de suficiente agua. No tiene subunidades y su símbolo es (1).

Regosol

Del griego *reghos*: manto, cobija o capa de material suelto que cubre a la roca. Suelos ubicados en muy diversos tipos de clima, vegetación y relieve. Tienen poco desarrollo y por ello no presentan capas muy diferenciadas entre sí. En general son claros o pobres en materia orgánica, se parecen bastante a la roca que les da origen. En México constituyen el segundo tipo de suelo más importante por su extensión (19.2%). Muchas veces están asociados con Litosoles y con afloramientos de roca o tepetate. Frecuentemente son someros, su fertilidad es variable y su productividad está condicionada a la profundidad y pedregosidad. Se incluyen en este grupo los suelos arenosos costeros y que son empleados para el cultivo de coco y sandía con buenos rendimientos. En Jalisco y otros estados del centro se cultivan granos con resultados de moderados a bajos. Para uso forestal y pecuario tienen rendimientos variables. El símbolo cartográfico para su representación es (R).

Rendzina

Del polaco *rzedzic*: ruido. Connotativo de suelos someros que producen ruido con el arado por su pedregosidad. Estos suelos se presentan en climas semiáridos, tropicales o templados. Se caracterizan por tener una capa superficial abundante en materia orgánica y muy fértil que descansa sobre roca caliza o materiales ricos en cal. Generalmente las rendzinas son suelos arcillosos y poco profundos -por debajo de los 25 cm- pero llegan a soportar vegetación de selva alta perennifolia. En el estado de Yucatán se utilizan también para la siembra de henequén con buenos rendimientos y para el maíz con rendimientos bajos. Si se desmontan se pueden usar en la ganadería con rendimientos bajos a moderados, pero con gran peligro de erosión en laderas y lomas. El uso forestal de estos suelos depende de la vegetación que presenten. Son moderadamente susceptibles a la erosión, no tienen subunidades y su símbolo es (E).

Subunidades Del Suelo

Calcárico

Del latín *calcareum*: calcáreo. Suelos ricos en cal y nutrientes para las plantas. Unidades de suelo: Feozem, Fluvisol, Gleysol y Regosol.

Cálcico

Del latín *calx*: cal. Suelos con una capa de color blanco, rica en cal, y que se encuentra en forma de polvo blanco o caliche. En los Chernozems y Castañozems esta capa tiene más de 15 centímetros de espesor. Los suelos con esta subunidad tienen fertilidad que va de moderada a alta. Unidades de suelo: Cambisol, Castañozem, Chernozem, Luvisol, Xerosol y Yermosol.

MAPA EDAFOLÓGICO DE LA MICROCUENCA, "LOS ÁNGELES", SALTILLO, COAHUILA.

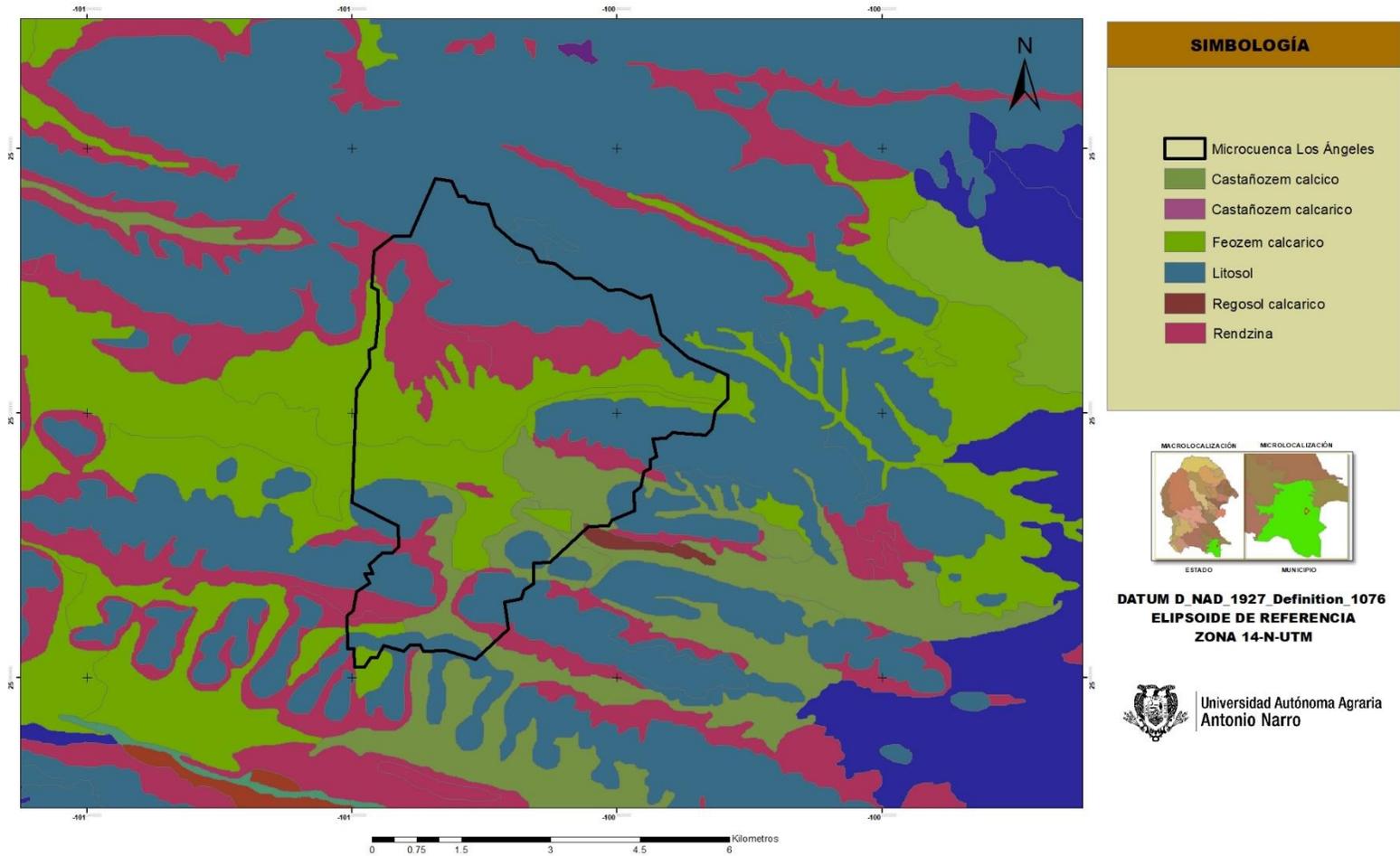


Figura 13. Mapa edafológico de la microcuenca Los Ángeles.

III.1.7 Vegetación

La microcuenca comprende de cinco tipos de vegetación de acuerdo a la carta temática de Uso de Suelo y Vegetación, elaborada por el SIGMAPLAN sureste de Coahuila, INIFAP, 2005.

En las partes altas de la microcuenca se puede encontrar arbolado de bosque de pino y encino de entre los 7 y 12 metros de altura, principalmente compuesto de especies de *Pinus cembroides*.

En las partes de pie de monte se encuentran zonas de Matorral Submontano y Matorral Desértico Micrófilo combinadas con chaparral e izotales. En el valle predomina el pastizal, siendo este el que mayor territorio de la microcuenca abarca.

A continuación, se enlistan los tipos de uso de suelo y vegetación que se encuentran dentro del área de la microcuenca.

Cuadro 10. Superficie en hectáreas, de acuerdo al tipo de vegetación presente en la microcuenca Los Ángeles.

Tipos de Vegetación	Superficie (Ha)	Superficie (%)
Agricultura de Temporal	38.9625	1.44
Bosque de Pino y Encino	261.795	9.69
Matorral Desértico Micrófilo	1002.8125	37.12
Matorral Submontano	174.9767	6.48
Zacatal	1222.695	45.26
Total	2701.24	100.00

MAPA DE USO DE SUELO Y VEGETACIÓN DE LA MICROCUENCA, "LOS ÁNGELES", SALTILLO, COAHUILA.

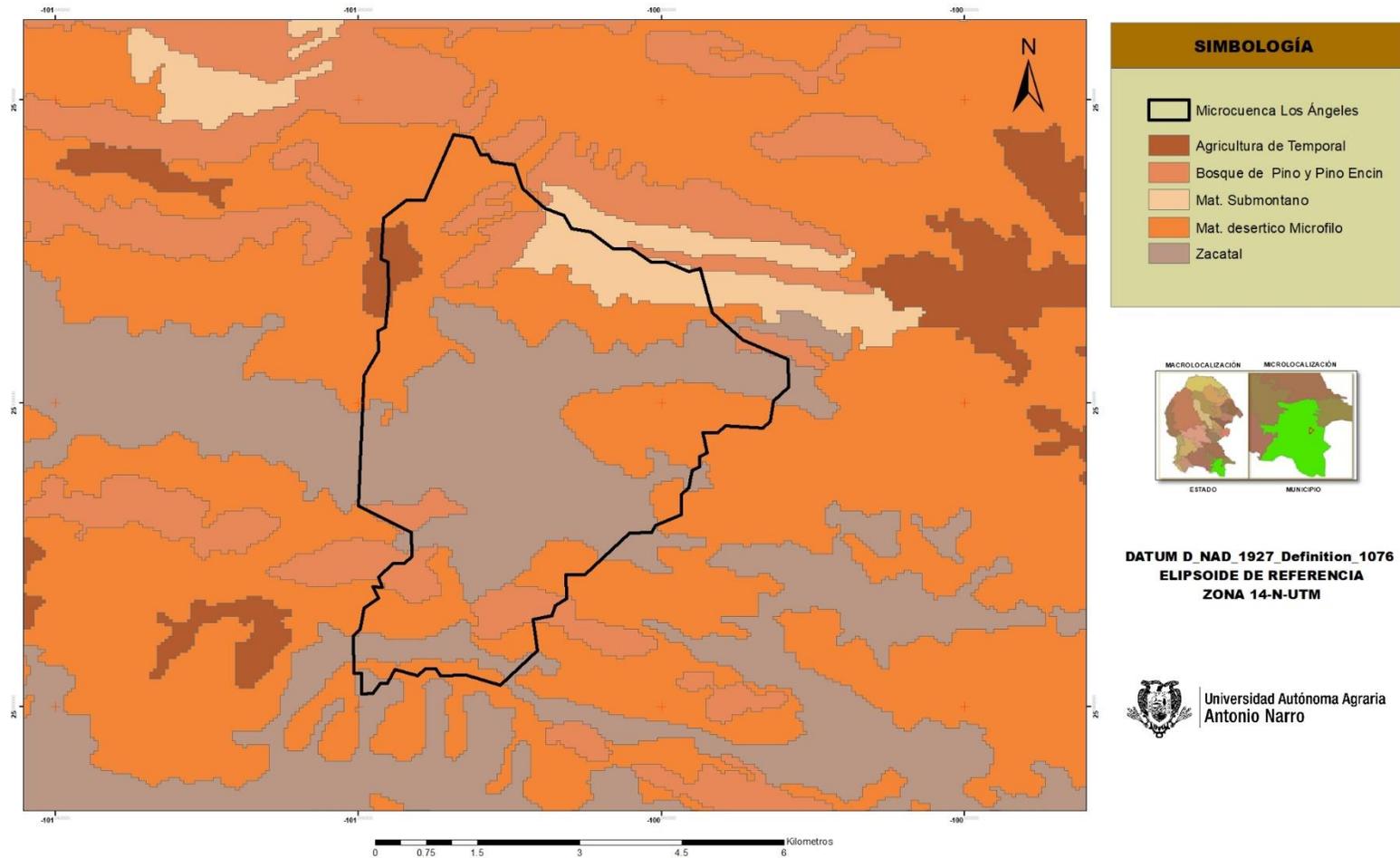


Figura 14. Mapa de Uso de Suelo y Vegetación de la microcuenca Los Ángeles.

III.2 METODOLOGÍA

III.2.1 Metodología General

El presente trabajo utilizó dos métodos para llevar a cabo una comparación entre estos; el método de clavos y rondanas, que es un método directo y el de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo el cual es un método indirecto, los cuales se llevaron a cabo con los datos recabados en campo y otros más obtenidos de tablas de para un mejor análisis.

III.2.2 Método Directo

Un método directo se caracteriza por obtener la información que se requiere a través de la interacción con el medio físico, en el cual proveerá los datos para realizar los análisis correspondientes. En este caso el método directo que se aplicó es el de los clavos y rondanas, durante un año, obteniendo datos en campo.

III.2.2.1 Método de Clavos y Rondanas

Ubicación de las parcelas

Ubicada la microcuenca y los tipos de vegetación, se marcaron 25 puntos, cinco por cada tipo de vegetación de manera aleatoria, para posteriormente colocar las parcelas en campo (Figura 16).

Instalación de las parcelas en campo

Una vez definida la ubicación de las parcelas, se procedió a colocar los clavos y rondanas. En este caso se utilizaron parcelas de 1m x 1.5m (Figura 15), que en su interior se colocaron 15 clavos, distribuidos sistemáticamente (Figura 16), y en similares condiciones, teniendo una medida estándar para cada uno de ellos (5 cm), que van de la cabeza del clavo a la rondana colocada en el suelo (Colegio Postgraduados Chapingo, 1982). La función de la rondana es medir que cantidad de

suelo se gana o se pierde durante un determinado tiempo, para que de esta forma se pueda estimar la erosión hídrica del suelo.

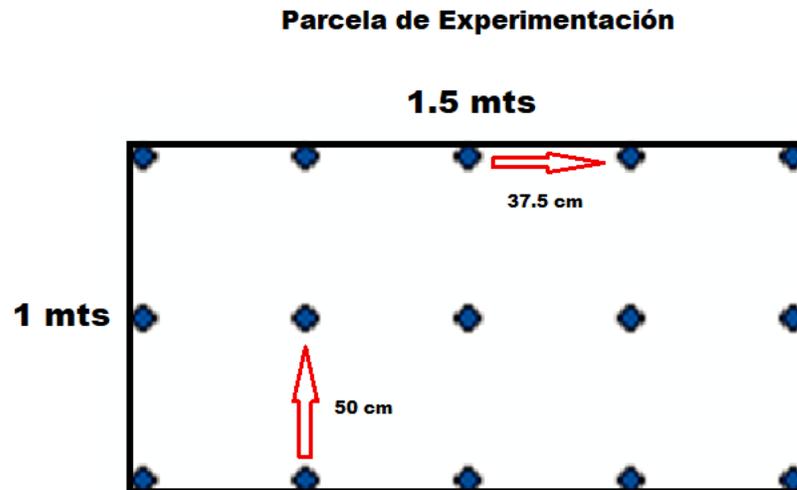


Figura 15. Distribución de los clavos, dentro de la parcela.

Monitoreo y Mantenimiento de las Parcelas

Las parcelas se instalaron el día 3 de marzo del 2018, y se tomaron datos cada 3 meses, en el mes de junio, septiembre, diciembre y por último en el mes de marzo del año 2019, de esta forma transcurrió un año desde la instalación de las parcelas hasta el término del levantamiento de datos.

En cada visita, si era necesario, se procedía a la reinstalación de clavos y rondanas debido a que dentro de la microcuenca existe un libre pastoreo de ganado bobino y caprino, por lo cual en ocasiones las parcelas se veían afectadas y dañadas, debido a la presencia de estos animales. Por lo cual se tenía que reestablecer el clavo que se perdía, colocándolo en sus condiciones originales.

MAPA DE UBICACIÓN DE LAS PARCELAS DE EXPERIMENTACION DE LA MICROCUENCA, "LOS ÁNGELES", SALTILLO, COAHUILA.

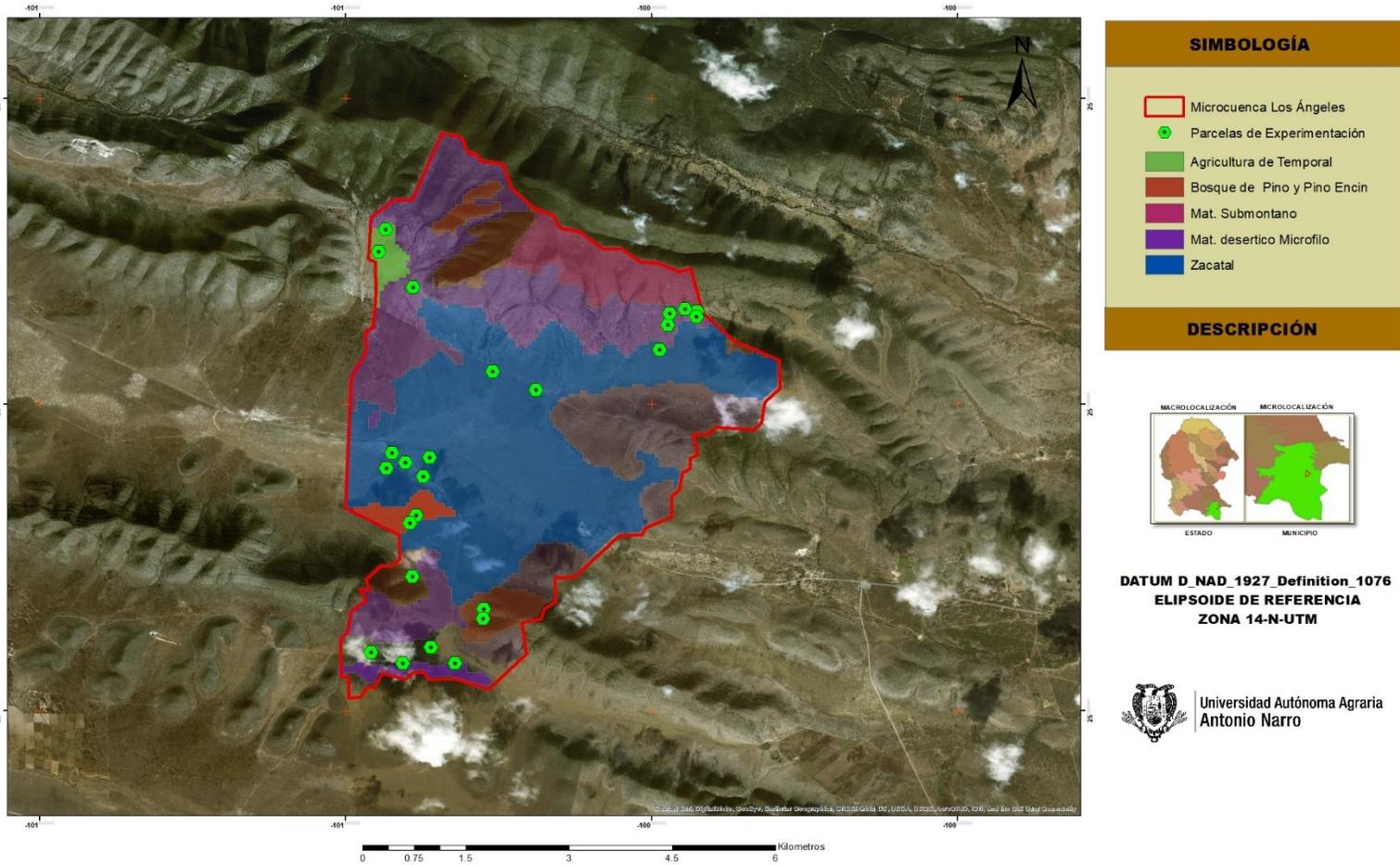


Figura 16. Mapa de Ubicación de las parcelas de experimentación de la Microcuenca Los Ángeles.

III.2.2.2 Muestras de suelo

Para la obtención de información de densidad y textura de suelo en cada sitio fue necesaria llevar a cabo el método de los anillos, que consta en colocar un anillo de metal de 8 cm de diámetro por 10 cm de longitud en el suelo y enterrarlo con un mazo de metal, y sacarlo, excavando por las orillas del cilindro de forma que el material contenido dentro de él no se moviera, de esta forma se colocaba todo lo recabado dentro de una bolsa de plástico y se guardaba para analizarla en gabinete.

III.2.2.3 Tratamiento De Los Datos y Variables De Estudio

Erosión / Sedimentación

Para obtener la ya sea la erosión ó la sedimentación, se utilizó una regla graduada en centímetros con precisión a un milímetro, la cual se colocaba de forma vertical, de forma que el 0 de dicha regla se mantuviera en la parte de abajo, pegada a la rondana y simplemente se anotaba el número que estuviera al borde de la cabeza del clavo, sin importar si este fuera mayor o menor.

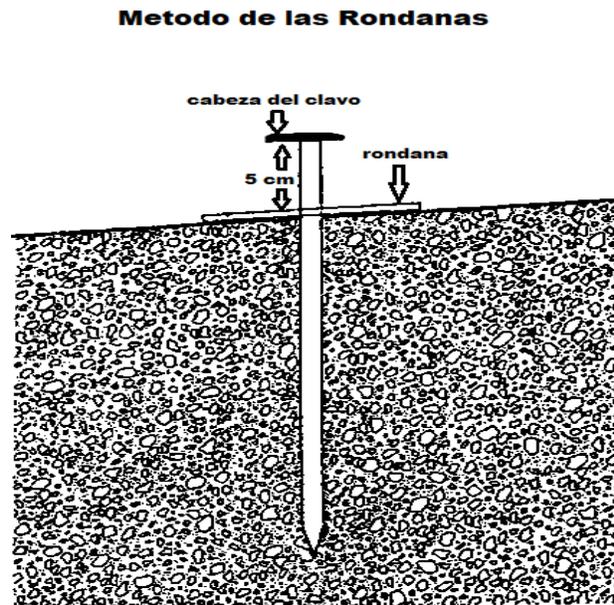


Figura 17. Colocación de los clavos y rondanas en el suelo.

Toda la información recabada se concentraba en los formatos siguientes, para control de los datos.

Cuadro 11. Formatos de Campo, para el concentrado de la información.

Vegetación:				
Parcela:				
Latitud:		Longitud:		
Tipo de Suelo				
Pendiente				
Fecha	03/06/2018	01/09/2018	07/12/2018	09/03/2019
# de Clavo	1° Medición	2° Medición	3° Medición	4° Medición
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
\bar{x}				

Pendiente

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

Textura

Para la determinación de la clase textural se realizó mediante la metodología de sedimentación; la sedimentación de sólidos está gobernada por la ley de Stokes, que

indica que las partículas sedimentan fácilmente cuando mayor es: su diámetro, su peso específico comparado con el líquido y cuando menor es la viscosidad del líquido.

La metodología consiste en pesar 150 gramos de suelo, dicho material se coloca en un vaso de precipitado con 100 ml de agua destilada; la mezcla se calienta por 10 minutos, para posteriormente agregar 50 ml de peróxido de hidrogeno, el cual se debe agitar continuamente por 15 minutos, para dejar que el calor y la sustancia quemén la materia orgánica. Al término del proceso anterior la mezcla se coloca en una probeta y se le adiciona 150 ml de agua destilada para dejar reposar el suelo para que asienten las partículas por dos horas; una vez asentadas el suelo se toman lecturas del volumen de cada una de los agregados primarios (arena, limo y arcilla). Conocidos los volúmenes individuales se calcula la porción relativa de cada una para que con el uso del triángulo de textura (Figura 20) determinar la textura de cada una de las muestras (Rucks, L *et al*, F., 2004).

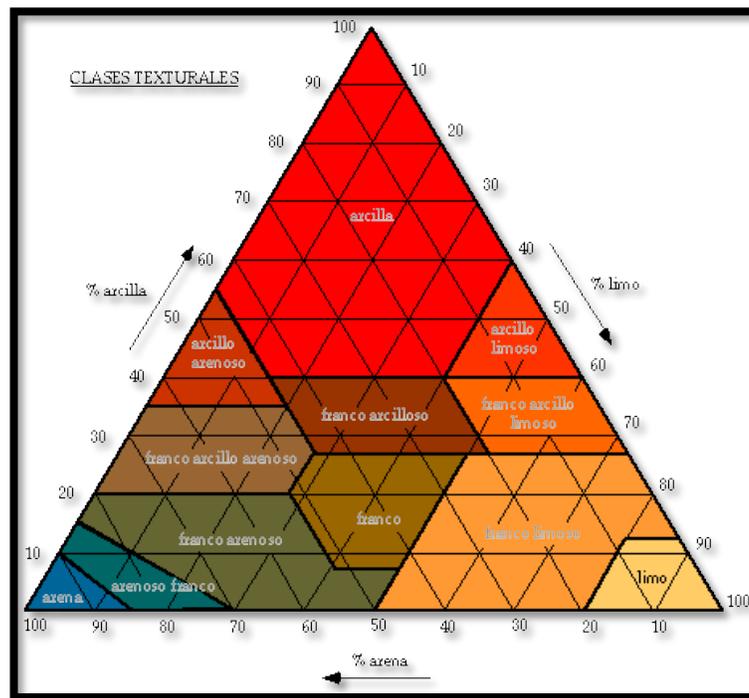


Figura 18. Triángulo textural el cual se basa en el sistema que aplica el USDA según el tamaño de las partículas.

Densidad

Durante la última medición de los datos en campo, se tomó por parcela una muestra de suelo de 51 cm³ con un anillo de metal, muestra que en el laboratorio fue pesada y posteriormente secada en una estufa a 65°C por 72 horas, con esta información se estimó el contenido de humedad de suelo (%) y la densidad aparente (g/cm³) por la relación del peso seco y el volumen extraído, de acuerdo a la siguiente fórmula:

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

$$\text{Densidad Aparente} = \frac{\text{Peso Seco}}{\text{Volumen (cm}^3\text{)}}$$

III.2.2.4 Análisis De Los Datos

Análisis de varianza

Para probar las hipótesis planteadas al principio de este documento, se realizó un análisis de varianza bajo un diseño completamente al azar con cinco tratamientos (cinco tipos de vegetación), con cinco repeticiones cada una. El modelo estadístico es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + e_{ij}$$

Y_{ij} = es el j-ésimo elemento perteneciente al i-ésimo tratamiento.

μ = es la media general.

τ_i = efecto debido al i-ésimo tratamiento.

e_{ij} = error experimental asociado al j-ésimo elemento del i-ésimo tratamiento.

Donde los tratamientos están en función de cinco tipos de vegetación: Agricultura de Temporal, Bosque de pino y encino, Matorral desértico micrófilo, Matorral

submontano y Zacatal. Y con cinco repeticiones por tratamiento, lo cual nos lleva a tener un total de 25 parcelas distribuidas por toda la microcuenca.

Comparación de Medias

Posterior al análisis de varianza, en caso de encontrar significancia se realizó una prueba de comparación de medias, utilizando el método de Duncan, para encontrar las diferencias y similitudes entre tratamientos.

III.2.3 Método indirecto

Uso de la Ecuación Universal de Perdida del Suelo (EUPS)

El uso de la EUPS según lo describe Becerra (1999) es uno de los más conocidos para calcular la erosión hídrica del suelo, y de los más aplicados en el país, debido a su buena y práctica aplicación de datos. Considera en su análisis que el proceso de un área es el resultado de la interacción de factores naturales (Clima, suelo y topografía) y del impacto de factores influenciados por el hombre (uso y manejo de la tierra). Además, que es un método que permite contar con una solución rápida y con bajo presupuesto (Pastrana, 2014).

$$A = R * K * LS * C * P$$

Donde:

A = pérdida de suelo en ton/ha/año.

R = Factor de erosividad de la lluvia.

K = Factor de erosionabilidad del suelo.

LS = Factor de longitud y grado de pendiente.

C = Factor de cultivo o cobertura vegetal

P = Factor de prácticas mecánicas.

Factor de Erosividad de la Lluvia (R)

Para llevar a cabo este factor fue necesario conocer un mapa de la república descrito por Cortes en 1991, el cual facilita el cálculo de este factor, ya que la república es dividida en 14 regiones, refiriéndose a la erosividad de la lluvia y se generaron

ecuaciones que permiten la estimación del factor R de la EUPS en función de la lluvia anual para cada una de las regiones. Para poder llevar a cabo la ecuación solo fue necesaria conocer la precipitación en milímetros del área de estudio.

Cuadro 12. Ecuación para el cálculo de la Erosividad del suelo.

Región	Ecuación	R ²
IV	$R=2.8559P + 0.002983P^2$	0.97

Factor de Erosionabilidad del suelo (K)

La CONAFOR, 2015 describe un cuadro que facilita el cálculo del Factor K, ya que en este cuadro podemos encontrar las unidades y subunidades del suelo y clasificarlos de acuerdo a su clave o nombre y simplemente interceptando con la clase textural del suelo (Gruesa, Media y Fina), nos da como resultado el factor de Erosionabilidad (K) del suelo.

Cuadro 13. Clasificación del suelo para el cálculo de la Erosionabilidad.

Repetición	Vegetación	Tipo de Suelo	Clave (Orden)	Textura
1	Matorral Submontano	Rendzina	E	gruesa
2		Rendzina	E	gruesa
3		Litosol	I	gruesa
4		Litosol	I	gruesa
5		Litosol	I	gruesa
1	M. Desértico Micrófilo	Litosol	I	gruesa
2		Litosol	I	gruesa
3		Rendzina	E	gruesa
4		Rendzina	E	gruesa
5		Rendzina	E	gruesa
1	Zacatal	Feozem calcarico	H	fina
2		Feozem calcarico	H	fina
3		Feozem calcarico	H	fina
4		Feozem calcarico	H	fina
5		Feozem calcarico	H	fina
1	Bosque de Pino-Encino	Rendzina	E	media
2		Rendzina	E	media
3		Litosol	I	media
4		Rendzina	E	media
5		Litosol	I	media
1	Agricultura de Temporal	feozem calcarico	H	fina
2		feozem calcarico	H	fina
3		feozem calcarico	H	fina
4		feozem calcarico	H	fina
5		feozem calcarico	H	fina

Factor de longitud y grado de pendiente (LS)

Becerra (1999) describe una ecuación, la cual fue desarrollada a partir de la obtención de datos reales de algunos lotes de escurrimiento, con valores de 22.13 metros de longitud. Este valor es considerado como longitud estándar, permaneciendo constantes los demás factores:

$$LS = (X/22.13)^m(0.065 + 0.045s + 0.0065s^2)$$

Donde:

LS = Longitud y grado de pendiente

X = Longitud de la pendiente en metros

S = Pendiente del terreno en porcentaje

m = Exponente que depende del grado de pendiente

L es el factor longitud de pendiente, expresa la relación de pérdida de suelo de una pendiente con una longitud dada y la pérdida de suelo de una pendiente con una longitud estándar de 22.13 m, con idénticos valores de erodabilidad y gradiente de pendiente; **S** es el factor de gradiente de pendiente, expresa la relación de pérdida de suelo de una gradiente de pendiente específica y la pérdida de suelos de una pendiente con gradiente estándar de 9%. Bajo otras condiciones similares, definen el efecto de la inclinación de la pendiente sobre la pérdida de suelo por unidad de área; es por ello el valor de 22.13

Según Viessman (1995) para la Longitud de la pendiente en metros se realizó un experimento con más de 10000 parcelas agrícolas, en condiciones similares, para la obtención de una media: dando como resultado un 72.60 metros para la longitud de la pendiente.

Cuadro 14. Factores para el cálculo de LS

Repetición	Vegetación	Constante	X	m	S
1		22.13	72.6	0.5	5.24

2	Matorral Submontano			0.5	12.28
3				0.5	19.44
4				0.5	6.99
5				0.5	10.51
1	M. Desértico Micrófilo	22.13	72.6	0.5	10.51
2				0.5	30.57
3				0.5	6.99
4				0.4	3.49
5				0.4	3.49
1	Zacatal	22.13	72.6	0.3	1.75
2				0.3	1.75
3				0.4	3.49
4				0.3	1.75
5				0.4	3.49
1	Bosque de Pino-Encino	22.13	72.6	0.5	17.63
2				0.5	30.57
3				0.5	26.79
4				0.5	21.26
5				0.5	21.26
1	Agricultura de Temporal	22.13	72.6	0.3	1.75
2				0.3	1.75
3				0.3	1.75
4				0.3	1.75
5				0.3	1.75

Factor de cultivo o cobertura vegetal (C)

Para determinar este factor, se utilizó la tabla descrita por Figueroa *et al.* (1991), en la cual se maneja el nivel de productividad, dependiendo el tipo de cultivo o vegetación presente.

Factor de prácticas mecánicas (P)

Para el caso del factor P, que se refiere a la práctica de técnicas mecánicas dentro del área de estudio, se decidió considerar dicho factor como 1, ya que dentro de la microcuenca no existe ninguna practica mecánica alguna.

IV CAPITULO RESULTADOS

Los datos de la última medición proporcionaron la información necesaria para analizarlos, ya que inicialmente se esperaba un aumento de longitud entre la cabeza de los clavos y las rondanas, obteniendo de esto la erosión que se pudiera tener dentro de la microcuenca. Ahora bien, después de analizar los datos, se pudo notar que no se encontró erosión, pero si sedimentación que fue la ganancia de partículas del suelo en las parcelas trayendo consigo un aumento entre la longitud del suelo a la cabeza del clavo (Figura 17).

A continuación, se muestra el promedio por cada tipo de vegetación con respecto a cada levantamiento de datos, en donde se puede apreciar que en los cinco tipos de vegetación la tendencia en cada visita es la misma, teniendo un resultado mínimo de sedimentación en la primera medición, ya que en su segunda y tercera medición son muy parecidas, pero teniendo un descenso algo notable en su cuarta y última medición. En la siguiente grafica se puede apreciar que no hay un tipo de vegetación que rebase la altura del clavo, el cual inicialmente se colocó a cinco cm, entonces al estar por debajo de su media, la sedimentación es notable en todos los tipos de vegetación.

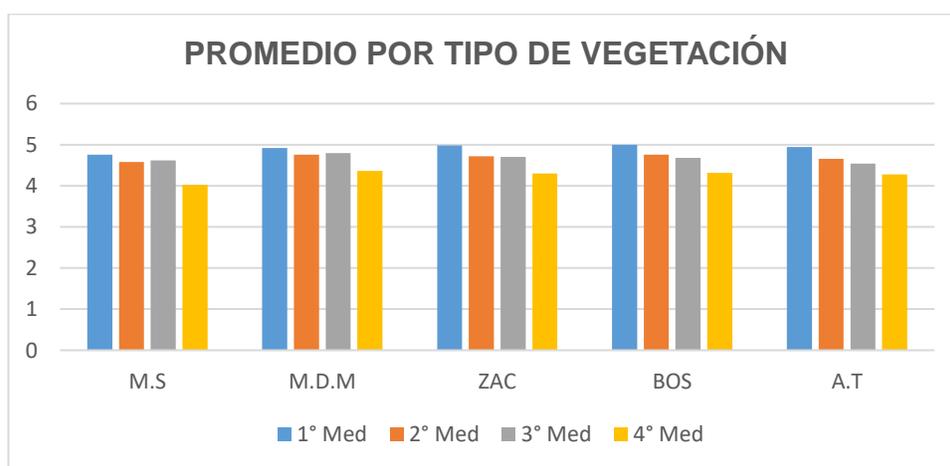


Figura 19. Promedio de sedimentación en cm por tipo de vegetación y orden de medición.



Figura 20. Sedimentación de las parcelas en campo de la microcuenca Los Ángeles.

IV.1 Método Directo

Los datos de lámina obtenida en milímetros se muestran en el cuadro 15, en donde se puede apreciar el total de suelo sedimentado durante el año que se realizó el experimento, expresado en cada parcela. En donde cada tipo de vegetación tiene cinco repeticiones, llevando consigo el diseño experimental.

Cuadro 15. Concentrado de la última medición, de las parcelas de experimentación en la microcuenca Los Ángeles, expresado en milímetros.

Ac	M.S		M.D.M		ZAC		BOS		A.T	
	4° Med (cm)	Adq (mm)								
R1	4.0	10	4.4	6	4.2	8	4.3	7	4.1	9
R2	3.8	12	4.4	6	4.6	4	4.2	8	4.1	9
R3	4.0	10	4.0	10	4.2	8	4.5	5	4.4	6
R4	3.9	11	4.4	6	4.1	9	4.1	9	4.7	3
R5	4.4	6	4.6	4	4.4	6	4.5	5	4.1	9

*Los clavos se colocaron a 5 cm de altura.

Dónde: R1 = al número de repetición (Parcela) y Tipo de vegetación (M.S = Matorral Submontano, M.D.M = Matorral Desértico Micrófilo, ZAC = Zacatal, BOS = Bosque de pino y encino, A.T = Agricultura de Temporal).

Para realizar el cálculo, en nuestro caso de sedimentación, del total de las Ton/Ha/año es importante contar con tres parámetros indispensables; lamina de suelo sedimentada en mm, densidad del suelo y las dimensiones de la parcela.

Una vez conocidos estos factores se determina la cantidad de suelo añadido en cada parcela en kilogramos a través de la siguiente expresión:

$$Kg = \frac{(\text{suelo adquirido en cm} * \text{tamaño de la parcela en cm}^2 * \text{Densidad})}{1000}$$

Al conocer los kilogramos de suelo sedimentados por parcela simplemente se hace la conversión a toneladas y se divide en los metros por hectárea para obtener las Ton/Ha/año.

$$\text{Sedimentacion Ton.Ha. año} = \frac{(kg * 6666.66)}{1000}$$

Cuadro 16. Concentrado de información de las parcelas en campo para la obtención de los kilogramos por parcela.

Vegetación	repetición	Kg por parcela	Promedio
Matorral Submontano	R1	17.07	13.74
	R2	10.42	
	R3	13.72	
	R4	12.18	
	R5	15.33	
M. Desértico Micrófilo	R1	20.03	13.29
	R2	10.37	
	R3	6.85	
	R4	13.82	
	R5	15.40	
Zacatal	R1	16.66	13.11
	R2	17.20	
	R3	13.47	
	R4	7.76	
	R5	10.46	
Bosque de Pino-Encino	R1	18.44	12.36
	R2	9.82	
	R3	14.76	
	R4	13.91	
	R5	4.88	
Agricultura de Temporal	R1	9.04	9.77
	R2	6.88	
	R3	10.15	
	R4	8.52	
	R5	14.27	

IV.2 Análisis de Varianza.

IV.2.1 Lamina Adquirida De Suelo (milímetros).

La hipótesis nula establece que todos los tipos de vegetación presentan el mismo nivel de sedimentación, mientras que la hipótesis alternativa advierte que al menos una es diferente de las demás.

Cuadro 17. Análisis de varianza, para la variable de lámina adquirida de suelo.

Fuentes de variación	GI	SDC	S ²	Fcal	F tab	
					5%	1%
Tratamiento	4	36.56	9.14	1.87*	2.87	4.43
Error	20	97.60	4.88			
Total	24	134.16				

*como la Fcal es menor que la Ftab, podemos concluir que no existen diferencias significativas entre los tipos de vegetación o que al menos una es diferente, por lo cual se debe aplicar una prueba de comparación de medias.

Como se observa en el cuadro 22 existen diferencias significativas en al menos un tipo de vegetación por lo que se declara a la hipótesis nula como falsa y se toma la hipótesis alternativa.

Para un mejor análisis e información más detallada acerca de las diferencias de sedimentación entre los cinco tipos de vegetación se llevó a cabo la comparación de medias a través del método de Duncan.

IV.2.2 Prueba de media

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

Cuadro 18. Medias obtenidas en los cinco tipos de vegetación de la microcuenca Los Ángeles, expresada en mm.

Vegetación	Media (mm)
Matorral Submontano	9.80
Matorral Desértico Micrófilo	6.40
Zacatal	7.00
Bosque de Pino y Encino	6.80
Agricultura de Temporal	7.20

IV.2.2.1 Comparación de medias por el método de Duncan

Los resultados muestran que el Matorral Submontano presenta la mayor tasa de sedimentación en comparación a los demás tratamientos, mientras los demás tipos de vegetación tienen similitudes entre ellas, dejando a un lado diferencias entre las medias (Zacatal, Bosque de Pino y Encino, Agricultura de Temporal, Matorral Desértico Micrófilo)

Calculamos el error estándar de la media

$$EE = 0.9879$$

Cuadro 19. Datos recabados de las tablas de Duncan.

Tabla de Duncan			
$\infty = 5 \%$		$\infty = 1 \%$	
p	q	p	Q
2	2.95	2	4.02
3	3.1	3	4.22
4	3.18	4	4.33
5	3.25	5	4.4

Cuadro 20. Obtención de los Rangos Mínimos Estandarizados (valor de las tablas de Duncan, multiplicado por el EE).

Rangos Mínimos Estandarizados					
$\infty = 5 \%$			$\infty = 1 \%$		
p	q	RME	p	q	RME
2	2.95	2.9144	2	4.02	3.9715
3	3.10	3.0626	3	4.22	4.1691
4	3.18	3.1416	4	4.33	4.2777
5	3.25	3.2108	5	4.4	4.3469

Cuadro 21. Diferencias Significativas entre los tratamientos.

Cuadro de Doble entrada						
RME		3.21	3.14	3.06	2.91	
		M.D.M	BOS	ZAC	A.T	M.S
		6.40	6.80	7.00	7.20	9.80
M.S	9.80	3.4*	3.0	2.8	2.6	0.0
A.T	7.20	2.6	0.4	0.2	0.0	
ZAC	7.00	2.4	0.2	0.0		
BOS	6.80	2.2	0.0			
M.D.M	6.40	0.0				

La diferencia significativa entre la media de dos tratamientos que sea mayor que el rango mínimo estandarizado se considera significativa y se marca con un *.

Cuadro 22. Comparación de medias por tipo de vegetación, a través del método de Duncan.

Tratamientos	Medias	Significancia	
		5%	1%
MS	9.80	a	a
AT	7.20	b	b
ZAC	7.00	b	b
BOS	6.80	b	b
MDM	6.40	b	b
EE		0.9879	0.9879

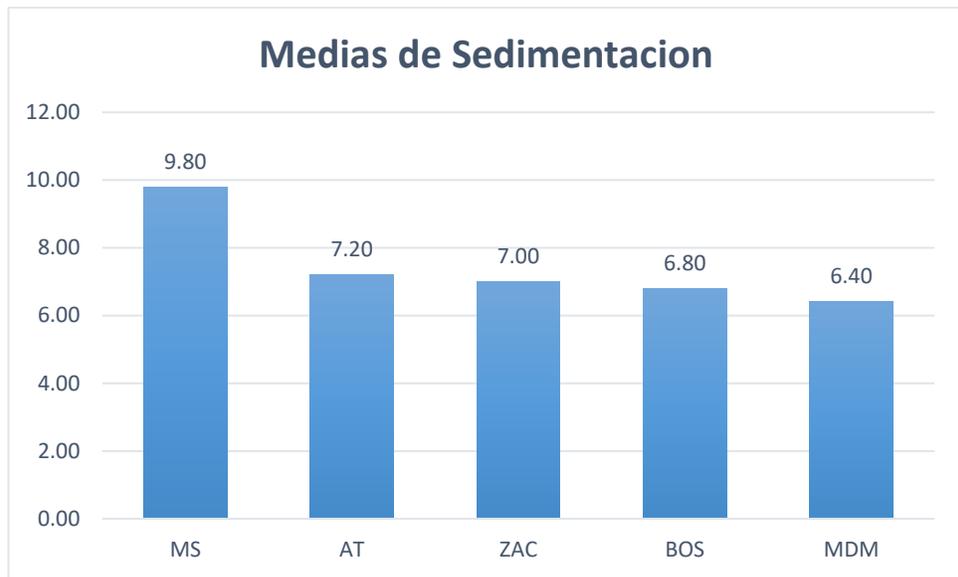


Figura 21. Medias de sedimentación de acuerdo al método de Duncan

IV.2.3 Masa de Suelo Adquirido (Kilogramos)

Se realizó un análisis de varianza con datos de masa de suelo adquirido por parcela y tipo de vegetación, dando el mismo resultado que con la lámina sedimentada.

Cuadro 23. Análisis de varianza, para la variable de lámina sedimentada.

Fuentes de variación	GI	SDC	S ²	Fcal	F tab	
					5%	1%
tratamiento	4	224.84	56.21	4.25	2.87	4.43
Error	20	264.57	13.23			
Total	24	489.41				

Los resultados muestran que el Matorral Submontano presenta la mayor tasa de sedimentación (peso o masa) en comparación a los demás tratamientos (Zacatal, Bosque de Pino y Encino, Agricultura de Temporal y Matorral Desértico Micrófilo). Siendo el Matorral Submontano el único con diferencias entre los tratamientos.

IV.2.3.1 Prueba de Duncan

Cuadro 24. Comparación de medias por tipo de vegetación, a través del método de Duncan.

Tratamientos	Medias	Significancia	
		5%	1%
MS	16.78	a	a
AT	11.95	b	b
ZAC	11.64	b	b
BOS	11.10	b	b
MDM	7.37	b	b
EE		1.6266	1.6266

IV.3 Estimación De La Erosión con El Método de la (EUPS).

De acuerdo a las tolerancias descritas por Colín *et al* García, 2013 muestran que los resultados obtenidos a través del cálculo de la Ecuación Universal de Perdida de Suelo, propuesta por Antonio Becerra, cuatro de los cinco tipos de vegetación (Matorral Submontano, Matorral Desértico Micrófilo, Zacatal y Agricultura de Temporal), están dentro de la clasificación de erosión nula o ligera, las cuales no representan algún problema de erosión para la microcuenca. Por otra parte, el único tipo de vegetación que presenta una clase de erosión moderada es la de Bosque de Pino y Encino, y se podría decir con un umbral muy cercano de erosión a los otros tipos de vegetación.

Cuadro 25. Resultados de la EUPS descrita por Antonio Becerra Moreno.

Tipo de Vegetación	Ton/Ha/año	Clasificación de la Erosión
Matorral Submontano	9.97	Nula o Ligera
M. Desértico Micrófilo	8.72	Nula o Ligera
Zacatal	0.50	Nula o Ligera
Bosque de Pino-Encino	10.26	Moderada
Agricultura de Temporal	0.58	Nula o Ligera

IV.3.1 Factor de Erosividad de la lluvia (R).

Los datos de precipitación se obtuvieron de la estación climatológica; Huachichil con ID 5146, obtenida del Servicio Meteorológico Nacional, dando como resultado una precipitación media anual de 362 mm, para toda la región del suroeste de Coahuila, que es donde se localiza la microcuenca Los Ángeles.

La ecuación desarrollada con los datos de precipitación queda de la siguiente manera.

$$R = (2.8559 * 362) + (0.002983 * 362^2)$$

$$R = 1424.74$$

IV.3.2 Factor de Erosionabilidad del suelo (K)

Para conocer el tipo de suelo presente en la microcuenca se utilizó el software; Arcgis, con el cual se integraron cartas vectoriales de tipo de vegetación y edafología presente dentro de la microcuenca Los Ángeles y así realizar un corte en donde solo nos mostrara, los tipos de suelos que se encuentran en la microcuenca.

Se utilizó el mismo procedimiento que la metodología descrita por Becerra, pero en este caso se utilizó un cuadro propuesto por la FAO en 1980, el cual muestra el valor de K, a partir de la textura y el tipo de suelo, sistema de clasificación de la propia FAO.

Cuadro 26. Valores de K de acuerdo a la metodología de la FAO, (1980). El factor de longitud y Grado de pendiente (LS).

Repetición	Vegetación	Tipo de Suelo	Clave	Textura	Factor_K
1	Matorral Submontano	Rendzina	E	gruesa	0.13
2		Rendzina	E	gruesa	0.13
3		Litosol	I	gruesa	0.13
4		Litosol	I	gruesa	0.13
5		Litosol	I	gruesa	0.13
1	M. Desértico Micrófilo	Litosol	I	gruesa	0.13
2		Litosol	I	gruesa	0.13
3		Rendzina	E	gruesa	0.13
4		Rendzina	E	gruesa	0.13
5		Rendzina	E	gruesa	0.13
1	Zacatal	Feozem calcarico	H	fina	0.007
2		Feozem calcarico	H	fina	0.007
3		Feozem calcarico	H	fina	0.007
4		Feozem calcarico	H	fina	0.007
5		Feozem calcarico	H	fina	0.007
1	Bosque de Pino-Encino	Rendzina	E	media	0.02
2		Rendzina	E	media	0.02
3		Litosol	I	media	0.02
4		Rendzina	E	media	0.02
5		Litosol	I	media	0.02
1	Agricultura de Temporal	feozem calcarico	H	fina	0.007
2		feozem calcarico	H	fina	0.007
3		feozem calcarico	H	fina	0.007
4		feozem calcarico	H	fina	0.007
5		feozem calcarico	H	fina	0.007

IV.3.3 Factor de Longitud y Pendiente (LS).

Dentro de la microcuenca se tiene que tomar un valor estándar para la longitud de la pendiente del terreno. Según Viessman *et al.* (1995), un valor de 72.60 metros se denomina como una media para poder determinar la longitud de la pendiente, así

que se tomó este dato que fue sacado de más de 10,000 parcelas agrícolas experimentales, en diferentes pendientes de terreno, para poder así determinar una media. Se desarrolló la ecuación para el cálculo de longitud y pendiente, obteniendo los siguientes resultados, como se muestra en el cuadro 32. En donde se sustituyeron los valores en la siguiente ecuación:

$$LS = (X/22.13)^m(0.065 + 0.045s + 0.0065s^2)$$

Cuadro 27. Valores para sustituir la ecuación del factor LS, descrita por Becerra, (2005).

Repetición	Vegetación	Pendiente (%)	<i>m</i>	Constante	Media.A	Factor LS
1	Matorral Submontano	5.24	0.5	22.13	72.6	0.87
2		12.28	0.5			2.89
3		19.44	0.5			6.15
4		6.99	0.5			1.26
5		10.51	0.5			2.27
1	M. Desértico Micrófilo	10.51	0.5	22.13	72.6	2.27
2		30.57	0.5			13.61
3		6.99	0.5			1.26
4		3.49	0.4			0.48
5		3.49	0.4			0.48
1	Zacatal	1.75	0.3	22.13	72.6	0.23
2		1.75	0.3			0.23
3		3.49	0.4			0.48
4		1.75	0.3			0.23
5		3.49	0.4			0.48
1	Bosque de Pino-Encino	17.63	0.5	22.13	72.6	5.21
2		30.57	0.5			13.61
3		26.79	0.5			10.75
4		21.26	0.5			7.17
5		21.26	0.5			7.17
1	Agricultura de Temporal	1.75	0.3	22.13	72.6	0.23
2		1.75	0.3			0.23
3		1.75	0.3			0.23
4		1.75	0.3			0.23
5		1.75	0.3			0.23

IV.3.4 Factor de cultivo o cobertura vegetal (C)

Para determinar este factor, se utilizó la tabla descrita por Figueroa *et al*, (1991), en la cual se maneja el nivel de productividad, dependiendo el tipo de cultivo o tipo de vegetación presente. Los resultados se presentan en el cuadro 33.

Cuadro 28. Valores del factor C, a través del cuadro descrito por Martínez, (2005).

Repetición	Vegetación	Factor_C
1	Matorral Submontano	0.02
2		
3		
4		
5		
1	M. Desértico Micrófilo	0.013
2		
3		
4		
5		
1	Zacatal	0.15
2		
3		
4		
5		
1	Bosque de Pino- Encino	0.041
2		
3		
4		
5		
1	Agricultura de Temporal	0.25
2		
3		
4		
5		

IV.3.5 Factor de prácticas mecánicas (P)

Para el caso del factor P, que se refiere a la práctica de técnicas mecánicas dentro del área de estudio, se decidió considerar dicho factor como 1, ya que dentro de la microcuenca no existe ninguna practica mecánica alguna.

IV.3.6 Erosión hídrica de la microcuenca Los Ángeles

Al concluir todos los procesos para la determinación de cada uno de los factores que intervienen en el método del cálculo de la erosión hídrica, nos dio como resultado, el cuadro 34, en donde se puede apreciar cada factor determinado y el resultado que es la erosión hídrica de cada una de las parcelas. Y al aplicar la ecuación universal de perdida de suelo, nos da el resultado del total de Ton/Ha/Año.

$$A = R * K * LS * C * P$$

Cuadro 29. Erosión Hídrica de la microcuenca Los Ángeles.

Repetición	Vegetación	R	K	LS	C	P	Erosión Total (Ton/Ha/año)	Ton/Ha/Año
1	M.S	1424.74	0.13	0.87	0.02	1	3.22	9.97
2				2.89			10.72	
3				6.15			22.79	
4				1.26			4.68	
5				2.27			8.43	
1	M.D.M	1424.74	0.13	2.27	0.01	1	5.48	8.72
2				13.61			32.77	
3				1.26			3.04	
4				0.48			1.17	
5				0.48			1.17	
1	ZAC	1424.74	0.01	0.23	0.15	1	0.35	0.5
2				0.23			0.35	
3				0.48			0.72	
4				0.23			0.35	
5				0.48			0.72	

Repetición	Vegetación	R	K	LS	C	P	Erosión Total (Ton/Ha/año)	Ton/Ha/Año
1	BOS	1424.74	0.02	5.21	0.04	1	6.09	10.26
2				13.61			15.9	
3				10.75			12.56	
4				7.17			8.38	
5				7.17			8.38	
1	A.T	1424.74	0.01	0.23	0.25	1	0.58	0.58
2				0.23			0.58	
3				0.23			0.58	
4				0.23			0.58	
5				0.23			0.58	

Al concluir con el método de la EUPS, de este se obtuvieron resultados que muestran que hay cuatro tipos de vegetación (matorral submontano, matorral desértico micrófilo, zacatal y agricultura de temporal) que tienen niveles de erosión nula o ligera que no representan algún problema de erosión, y por otra parte el único tipo de vegetación que rebasa este nivel es la de bosque de pino y encino, llegando al nivel moderado, pero el resultado muestra un total de Ton/ha/año bastante cerca del nivel de erosión nulo o ligera, por lo que ningún resultado de erosión de los tipos de vegetación de la microcuenca Los Ángeles podría tomarse como un problema.

V CAPITULO DISCUSIÓN

Contrastando los datos obtenidos, es evidente resaltar que a través del método de clavos y rondanas se esperaba adquirir erosión, obteniendo sedimentación en los cinco tipos de vegetación presentes en la microcuenca. El resultado del método de la Ecuación Universal de Perdida de Suelo (EUPS), descrita por Antonio Becerra; la estima como nula o insignificante en cuatro tipos de vegetación (Matorral Submontano, Matorral Desértico Micrófilo, Zacatal y Agricultura de Temporal), y solo un tipo de vegetación (Bosque de pino y encino) presentó erosión a nivel moderado, pero con un umbral muy cercano a erosión nula o insignificante, por lo que es evidente que dentro de la microcuenca no se tiene erosión a un nivel que represente problema.

Conforme al análisis estadístico realizado a la cantidad de sedimentación obtenida para cada tipo de vegetación en el presente trabajo y a la cantidad de suelo adquirido en Kilogramos, midiéndolas en cada tipo de vegetación se llega a la conclusión que no se acepta la hipótesis nula, debido a que, un tipo de vegetación, en este caso el Matorral submontano, resultó estadísticamente con menor sedimentación a los otros.

Método Directo (Clavos y Rondanas)

El método llevado a cabo durante un año, en donde se midió directamente la cantidad de sedimentación en cada parcela por tipo de vegetación; resultó que la media en altura de los clavos para todas las parcelas fue de 4.26 centímetros, que corresponde a una media de 7.40 milímetros de suelo adquirido, observando que las dimensiones, numero de clavos y orientación con respecto a la pendiente, fueran similares en todas las parcelas y que la precipitación según la estación climatológica Huachichil, fue de 362 milímetros en todo el año. Resultando una media de la tasa de sedimentación de 12.46 kilogramos por parcela.

Comparando con el trabajo de investigación realizado por Pizarro y Cuitiño (2002), en donde se realizó un experimento, calculando la erosión hídrica con el método de clavos y rondanas, en dos predios experimentales (denominados Picazo y Panguilemo) pertenecientes a la Universidad de Talca, Chile. En cada predio se instalaron tres parcelas experimentales, con dimensiones de 10 m de largo por 1.2 m de ancho, con un total de 140 clavos por parcelas (420 clavos por predio), en suelos totalmente desnudos y con una pendiente media del terreno de 5 y 10%. Obteniendo los siguientes resultados: a) predio Picazo, en este predio la erosión neta equivale a una lámina de altura media igual a 4.50 mm, lo cual señala una pérdida de suelo neta de 31.2 ton/ha. Esto ha resultado de la diferencia entre la altura media de erosión igual a 3.52mm (44.7 ton/ha) y la altura media de sedimentación igual a 1.06 mm (13.5 ton/ha), con una densidad aparente de 1.27 gr/cm³. b) predio Panguilemo, en este predio se ha obtenido que la erosión neta media correspondió a una altura de 1.62 mm (26.4 ton/ha), diferencia generada entre la altura media de erosión igual a 2.0 mm (32.6 ton/ha) y la altura media de sedimentación igual a 0.38 mm (6.2 ton/ha), con una densidad aparente de 1.63 gr/cm³. La comparación estadística entre las situaciones estudiadas, para el mismo período, indica que no existen diferencias significativas en las alturas medias siendo algo más altas en el predio Picazo. Los resultados expresados en ton/ha, señalan diferencias significativas, en el predio Panguilemo (mayor densidad aparente), lo que ha generado mayores resultados en ton/ha en todos los procesos.

Ahora bien, los resultados del trabajo de investigación realizados por Pizarro y Cuitiño, (2002), muestran que existe erosión en sus áreas evaluadas; mientras que en este estudio se obtuvo sedimentación. Se debe considerar que el porcentaje de pendiente es similar al del presente trabajo, pero la precipitación aumenta considerablemente en comparación con la existente en la microcuenca los Ángeles, además los predios del trabajo en comparación se realizaron en suelos completamente desnudos, teniendo densidades aparentes mayores a los de este estudio y con climas totalmente distintos.

Método Indirecto (EUPS)

Para la descripción del método de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, se obtuvieron datos de factores determinantes: como la precipitación total del año que fue de 362 milímetros, la cual sirvió para el cálculo del factor de erosividad (R) obteniendo como resultado 1424.74, para el cálculo de la erosionabilidad (K) se utilizó un cuadro descrito por la FAO, 1980, en donde cada tipo de vegetación es descrita en función de su clase textural y su tamaño de partículas, para el factor de longitud y pendiente (LS) fue diferente para cada parcela debido a que se presenta una pendiente distinta, continuando con el cálculo de la EUPS el resultado del factor de cultivo o cobertura (C) utilizó un cuadro descrito por Figueroa *et al*, (1991) en donde solo es necesario conocer el tipo de vegetación presente para obtener el coeficiente, y por último el factor de prácticas mecánicas (P), se tomó como valor uno, ya que dentro de la microcuenca no existen ninguna práctica. Los resultados de la EUPS muestran que cuatro de los cinco tipos de vegetación tienen un nivel de erosión nula o ligera, y solo un tipo de vegetación es diferente, con un nivel de erosión moderada descrito antes (cuadro 29).

Flores, (2016) muestra los resultados de la erosión hídrica, a través del método de Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS), en tres cuencas de la República Mexicana (Pichucalco, San Pedro y Sonora), cuyos resultados obtenidos de erosión en cada clasificación de los niveles permisibles, se obtuvo desde nula o insignificante hasta severas o muy altas, teniendo estos resultados debido a que los factores de erosividad son muy distintos en las tres cuencas y aunque el factor de erosionabilidad, longitud y pendiente es muy parecido, estos tienden a cambiar cuando la precipitación es diferente para cada caso, considerando que el factor de prácticas mecánicas y el factor de cobertura vegetal es diferente en cada cuenca, es evidente que los niveles de erosión serán muy distintos entre las cuencas. En el anexo 5 se muestra una tabla con los porcentajes de erosión obtenida por cada nivel permisible, que fue el resultado de la evaluación, mostrando claramente erosión en todos sus niveles.

Al comparar los resultados de Flores, (2016) con los de la presente investigación, claramente difieren debido a lo encontrado sobre la erosión en todos los niveles permisibles, en cambio en esta investigación solo se tienen dos niveles de erosión permisible; cuatro tipos de vegetación (Matorral submontano, Matorral desértico micrófilo, Zacatal y Agricultura de temporal) se encuentran en nivel nulo o ligero y solo el tipo de vegetación de Matorral submontano rebasa ese nivel llegando a moderado, pero analizando los datos podemos ver que es mínimo el rango rebasado que bien se podría considerar en nula o ligera.

Es evidente observar que los tipos de vegetación tiene diferencias en los resultados aunque no son muy grandes, y esto puede ser afectado directamente por los factores de erosionabilidad (k) y el Factor de cultivo o cobertura vegetal (C), que dentro de la fórmula de la Ecuación Universal de Perdida de Suelo (EUPS) descrita por Antonio Becerra se obtienen por medio de tablas descritas por otros autores, lo que nos lleva a pensar si realmente se ajustan a lo calculado en la microcuenca, ya que por muy parecido que sean, siempre tienden a tener un rango mínimo de diferencia, influenciando directamente en los resultados.

Por otro lado, la EUPS por su estructura solamente puede reportar valores positivos, nunca negativos que sería el caso de sedimentación encontrada. Lo que es determinante en dado caso la longitud y grado de pendiente, que debiera tomar en cuenta el cambio de sentido de la pendiente, como sería el caso de laderas cóncavas o compuestas. Es necesario realizar un análisis de sedimentación en estos casos.

VI CAPITULO CONCLUSIONES

El estudio permitió calcular la cantidad de erosión y sedimentos en 25 parcelas de estudio e inferirlo a valores por kilogramos por parcela y ton/ha/año, por medio de la comparación de dos métodos: el método directo de los clavos y rondanas y el indirecto de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo. Al llevar a cabo ambos métodos se apreció que los resultados fueron distintos, ya que en el método de clavos y rondanas se obtuvo sedimentación y en el método de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo se obtuvo erosión.

Por los resultados obtenidos es concreto reafirmar que la sedimentación dentro de la microcuenca Los Ángeles es el principal resultado de ambos métodos, ya que el método de la Ecuación Universal de Perdida de Suelo, al ser una ecuación que fue creada para el cálculo de la erosión, no indica valores de sedimentación y la erosión obtenida a través de este método, es clasificada como insignificante en los niveles de erosión permisibles.

A través del método directo de clavos y rondanas se obtuvo que el tipo de vegetación con mayor sedimentación dentro de la microcuenca Los Ángeles fue la de matorral submontano, la cual presentó 9.80 mm de media en lámina de suelo adquirido, tanto al uno como al cinco por ciento de significancia, en comparación a los demás tipos de vegetación (Matorral desértico micrófilo, Zacatal, Bosque de pino y encino y Agricultura de Temporal), que bien si tuvieron poca diferencia, de acuerdo a las pruebas de medias del método de Duncan no existen diferencias significativas entre las medias de los tipos de vegetación.

Al conocer los resultados de ambos métodos se puede pensar que no se tuvo erosión en la microcuenca Los Ángeles por factores como el clima y el porcentaje de cobertura vegetal, aunque este último no se evaluó y pudiera ser un factor determinante en el estudio, dando paso a la obtención de sedimentación. Las

precipitaciones registradas en todo el año fueron de 362 mm, factor que influenció en el resultado del cálculo.

La microcuenca los Ángeles registró muy baja erosión llegando a considerarse como nula o no relevante, por lo que se puede interpretar que dentro de la microcuenca no existe erosión, al menos erosión que se pueda considerarse como acelerada ó arriba de la normal.

De acuerdo a los resultados obtenidos con la comparación de ambos métodos (Clavos y rondanas y la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo), es necesario mencionar que el tiempo en el que se llevó a cabo el presente estudio (un año), fue muy poco debido a que existen factores importantes que cambian año con año (clima y precipitación), lo cual influye en los resultados, por lo que se podría recomendar para presentes estudios, en monitorear las variables necesarias durante un periodo más extenso de tiempo, como un mínimo de cinco años.

LITERATURA CITADA

- Becerra M. A. 2005. Escorrentía, erosión y conservación de suelo. 1ª Reimpresión Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México. 375p.
- Becerra M. A. 1999. Escorrentía, erosión y conservación de suelo. 1ª Reimpresión Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México. 375p.
- Bocco, G., M. Mendoza y A. Velázquez 1991. Sensores remotos geomorfológicos regionales y basados en SIG cartografía. Geomorfología 39 (3-4): 211-219.
- Brandt, C 1989. Las distribuciones de tamaño de las caídas de caída debajo de las copas de vegetación. Catena 16: 507-524.
- Carter, C.; Creer, J.; Braud, H.; Floyd, J. 1974. Características de las gotas de lluvia en el centro sur de Estados Unidos. Aportaciones de la American Society of Agricultural Engineers 17: 1033-1037.
- Colín-García G., L. A. Ibáñez-Castillo., J. Reyes-Sánchez y R. Arteaga- Ramírez. 2013. Diagnóstico de la erosión hídrica de la cuenca del Rio Pichucalco. Ingeniería Agrícola y Biosistemas. 5 (1): 23-31 p.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2012. Criterios técnicos para la ejecución de proyectos de conservación y restauración de suelos Zapopan, Jalisco, México. 76 p.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2015. Protección, restauración y conservación de suelos forestales. 3ª ed. Tres 60 Editores. México. 70 p.
- Coppin, N.; Richards, I. 1990. Uso de vegetación en ingeniería civil. CIRIA/Butterworths, Londres.

- Cortes T, H. 1991. Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados. Tesis M.C. México, MX: Colegio de postgraduados. Montecillo. 168 00.
- FAO, 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma. 86 p.
- Figueroa, S. B., A. Amante O., H. G. Cortes T., J. Pimentel L., E. S. Osuna C., Rodríguez O. J. M. y Morales F. F. J. 1991. Manual de predicción de pérdidas de suelos por erosión. SARH. Colegio de postgraduados. 166 p.
- Flores L., H., E., M. Martínez M., J. L. Oropeza M., E. Mejía S. y R. Carrillo G. 2003. Integración de la EUPS a un SIG para estimar la erosión hídrica del suelo en una cuenca hidrográfica de Tepatitlán, Jalisco, México. Terra Latina. 21 (2): 233-244 p.
- Flores I. E. 2016. Estimación De La Pérdida De Suelo Por Erosión Hídrica En Tres Cuencas De La República Mexicana, Utilizando La Ecuación Universal De Pérdida De Suelo. Universidad Nacional Autónoma De México. Ciudad de México. P 102-106.
- Fournier F. 1972. Conservación de suelos. MUNDI-PRENSA. España. Pp: 14-67.
- García L. E., D. J. Palma-López, J. Zavala C., A. García L., N. Del Rivero B. y A. Triano S. 2008. Cartografía de suelos, uso actual y vegetación del área de influencia de las bacterias Jujo, Tecominoacán, Artesa y CPG. Ciudad PEMEX. Colegio de Postgraduados, Instituto Mexicano del Petróleo. H. Cárdenas, Tab. 157 p.
- García, E.2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Copen. Serie Libros No. 6 Instituto de Geografía, UNAM. México D. F. 90 p.

- García-Chevasich P. A. 2008. Procesos y control de la erosión. Departamento de hidrología y ciencias atmosféricas. Universidad de Arizona. EU. 240-289 p.
- Gutiérrez, C. J., A. Zárate L., L.A. Natividad B. J. A. Díaz Gy J. G. Medina T. 1988. Infiltración y producción de sedimentos en tres tipos de suelo ocupados por pastizal mediano abierto. Manejo de pastizales. SOMMAP. Vol. 2(1). Saltillo, Coahuila, México.
- Hjulstrom, F. (1935) Estudios de la actividad morfológica de los ríos ilustrados por el río Fyris. Boletín del Instituto Geológico de la Universidad de Uppsala, 25, 221-527.
- Hudson, Norman. 1963. Conservación de suelo. Ed. Reverte.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2007. Predicción de riesgo a la erosión hídrica a nivel microcuenca. San Luis Potosí, México. 66 p.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2001. Edafología (G14C44) y (G14C43). 1:1000000. México. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>. (3 de mayo de 2015).
- Instituto Nacional de Estadística Y Geografía (INEGI). 2014. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Villa Corzo, Chipas. 9 p. <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datosgeograficos/07/07107.pdf>. (3 de mayo de 2015).
- Instituto Nacional de Estadística Y Geografía (INEGI). 2016. Conjunto de datos vectoriales geológicos (G14C44) y (G14C43). 1:1000000. Saltillo, México.

<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/geologia/default.aspx>. (3 de mayo de 2015).

- Kirkby M., J. Y C. Morgan. R. 1984. Erosión del suelo. LIMUSA. México D.F. Pp: 55-152.
- Kinnell, P.I.A. 1981. Splash erosion of primary particles and aggregates. Soil Science Journal 40: 966-968.
- Köppen W., Graz y Geiger R. Handbuch der Klimatologie. Munich (Band I, Teil C. Berlín, 1936)
- Köppen W. 1948, Climatología (versión directa de Grundriss der Klimatologie 1923, 1931 por Hendrichs Perez), con un estudio de los climas de la Tierra. Fondo de Cultura Económica, Mexico-Buenos Aires.
- Martínez M., M. y V. J. Fernández. 2005. Jerarquización de acciones de conservación de suelos a partir de cuencas hidrológicas. Manuscrito. SARHDGCSA. México. 12 p.
- Morgan, J. 1997. Erosión y conservación del suelo. 2ª ed. Madrid, España.
- Morgan, R.P.C 2005. Erosión y conservación del suelo. Blackwell Publisher, Oxford, Londres.
- Pérez, F. 2005. Teoría De La Sedimentación. Instituto De Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Catedra De Hidráulica Aplicada A La Ingeniería Sanitaria. Paraguay.
- Pizarro T.R., H. M. Cuitiño. 2002. Método De Evaluación De La Erosión Hídrica Superficial En Suelos Desnudos En Chile. Escuela De Ingeniería Forestal, Universidad De Talca, Chile. P 165-169.

- Rodríguez V., J. 1982. Física de suelo, principio y aplicaciones. Talleres de OFFSET DICA, S.A., Independencia 1. México D.F. Pp: 35 y 238.
- Rodríguez A. O. 2015. Obras de Conservación de Suelos en Cárcavas, para Contrarrestar la Erosión en los Predios Fracción la Pochota y El Zapote, Villa Corzo, Chiapas. 23-27p.
- Rucks, L., F., Kaplan, A., Ponce de León, J., Hill, M.2004. Propiedades físicas del suelo. Facultad de Agronomía Universidad de la Republica. Montevideo-Uruguay.
- Rzedowski, J. 1972. Vegetación de México. Primera edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Limusa, S. A. México. 504 p.
- Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2012. Control de cárcavas. México. 9 p. <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUS/SA/Control%20de%20carcavas.pdf>. (3 de mayo de 2015).
- Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2005. Estimación de la erosión del suelo. Estado de México. 30 p.
- Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2002. NOM-021-RECNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. 2ª ed. Diario Oficial de la federación. México. 85 p.
- Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2013. Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. Indicadores clave, de desempeño ambiental y de crecimiento verde. México. 38-47 p.

- Thompson L., M. 1978. Los suelos y su fertilidad. 4ta ed. REVERTÉ. Barcelona, España. Pp: 53-80.
- Terrence, J.; Foster, G.; Renard, K. 2002. Procesos de erosión del suelo, predicción, medición y control. John Wiley and Sons, Nueva York, NY. 338 p.
- Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. 1965. La predicción de la erosión por lluvia se pierde en las tierras de cultivo al este de las montañas rocosas. USDA agr. Manual 282.
- Wischmeier, W. H., C.B. Jonson, and B. V. Cross. 1959. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. J. Soil and Wat. Conserv. 26: 189-192.
- Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. 1978. Predicción de las pérdidas por erosión debida a la lluvia, una ventaja para la planificación de la conservación, USDA; Manual de agricultura 537. Sci. Y Educ. Administración. USDA Washington, D.D.59-p.
- Zingg. A. W. 1940. Grado y longitud de la pendiente de la tierra ya que afecta la pérdida de suelo en la escorrentía. Ing Agrícola. 21: 59-64

VII ANEXOS

Anexo 1. Cuadro de la primera captura de datos en campo.

1° MED	M.S	M.D.M	ZAC	BOS	A.T
R1	4.6	4.9	5	5.2	5
R2	4.9	5	5	4.9	4.9
R3	4.7	4.9	5	5	5
R4	4.6	4.8	4.9	4.9	4.9
R5	5	5	5	5	4.9
	23.8	24.6	24.9	25.0	24.7

Anexo 2. Cuadro de la segunda captura de datos en campo.

2° MED	M.S	M.D.M	ZAC	BOS	A.T
R1	4.5	4.8	4.6	4.8	4.9
R2	4.7	4.7	5	4.6	4.4
R3	4.4	4.6	4.6	5	4.7
R4	4.5	4.7	4.7	4.6	4.8
R5	4.8	5	4.7	4.8	4.5
	22.9	23.8	23.6	23.8	23.3

Anexo 3. Cuadro de la tercera captura de datos en campo.

3° MED	M.S	M.D.M	ZAC	BOS	A.T
R1	4.5	4.8	4.5	4.8	4.8
R2	4.9	4.7	4.9	4.5	4.3
R3	4.6	4.7	4.5	4.9	4.6
R4	4.3	4.8	4.8	4.5	4.6
R5	4.8	5	4.8	4.7	4.4
	23.1	24.0	23.5	23.4	22.7

Anexo 4. Cuadro de la cuarta captura de datos en campo.

4° MED	M.S	M.D.M	ZAC	BOS	A.T
R1	4	4.4	4.2	4.3	4.1
R2	3.8	4.4	4.6	4.2	4.1
R3	4	4	4.2	4.5	4.4
R4	3.9	4.4	4.1	4.1	4.7
R5	4.4	4.6	4.4	4.5	4.1
	20.1	21.8	21.5	21.6	21.4

Anexo 5. Grados y porcentajes de erosión en las cuencas del estudio, resultado del estudio realizado por Flores, (2016).

Grados de erosión (ton/ha año)		Porcentaje (%)		
		Pichucalco	San Pedro	Sonora
Nula	0 a 2	25.36	28.77	58.22
Ligera	2 a 10	13.93	24.75	13.14
Moderada	10 a 50	12.05	29.07	12.81
Alta	50 a 200	37.29	10.95	8.50
Muy alta	>200	11.36	6.45	7.33
	$\Sigma=$	100.000	100.000	100.000

Anexo 6. Coordenadas de las parcelas registradas dentro de la Microcuenca Los Ángeles.

ID	Vegetacion	X	Y
1	Matorral Submontano	302614.19	2780812.10
2	Matorral Submontano	302641.82	2780977.89
3	Matorral Submontano	303003.60	2781003.42
4	Matorral Submontano	302994.09	2780926.62
5	Matorral Submontano	302841.72	2781045.78
6	M. Desertico Microfilo	299051.71	2775972.26
7	M. Desertico Microfilo	299735.37	2775954.51
8	M. Desertico Microfilo	299263.74	2781412.06
9	M. Desertico Microfilo	298817.53	2781929.56
10	M. Desertico Microfilo	298917.59	2782254.32
11	Zacatal	300860.94	2779898.97
12	Zacatal	302496.92	2780453.72
13	Zacatal	300299.04	2780178.05
14	Zacatal	299425.00	2776197.64
15	Zacatal	298634.92	2776130.60
16	Bosque de Pino-Encino	299254.19	2778106.74
17	Bosque de Pino-Encino	299168.46	2777994.13
18	Bosque de Pino-Encino	299190.69	2777221.30
19	Bosque de Pino-Encino	300128.03	2776736.62
20	Bosque de Pino-Encino	300117.59	2776598.28
21	Agricultura de Temporal	299129.43	2778868.73
22	Agricultura de Temporal	299355.33	2778670.14
23	Agricultura de Temporal	299446.83	2778939.02
24	Agricultura de Temporal	298951.63	2779009.83
25	Agricultura de Temporal	298875.36	2778792.64

Anexo 7. Fotografías tomadas en campo, desde la instalación de parcelas y la captura de datos.

