



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

Control de la Erosión del Suelo por medio de Técnicas de Bioingeniería en el Parque Ecológico Cubitos, en el Estado de Hidalgo.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE BIÓLOGA

P R E S E N T A

Ana Laura Jácome Chávez

ÁREA ESPECÍFICA: CIENCIAS AMBIENTALES

LABORATORIO DE CONTAMINACIÓN Y

FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS

DIRECTORA DE TESIS: DRA. ESTHER MATIANA GARCÍA AMADOR.

México, D.F. Septiembre de 2013





Dedicatoria a la Vida que he tenido

Agradezco haber nacido el día, mes y año que nací.

*Agradezco a mi vida, la vida que he vivido y él como
la he vivido.*

Agradezco a esta vida.

*Agradezco las fuerzas con las que he luchado para
seguirme superando aun mas y mas.*

*Agradezco a los lugares y las zonas y las personas que
he conocido y las vivencias y experiencias que he
tenido a su lado.*

Agradezco la vivencia de mi primer beso.

*Agradezco al primer novio que tuve y espero con
ansias al último que tendré, ya que con él compartiré
el resto de mi vida, así lo espero yo.*

*Agradezco haber conocido mis primeras experiencias,
aunque no*

Quiero conocer las últimas.

*Agradezco haber conocido por primera vez el mar, fue
la sensación más hermosa que he experimentado y
agradezco con la persona que lo conocí ya que a él lo
quise mucho y creo que aun lo hago y lo seguiré
haciendo por mucho tiempo más.*

*Agradezco cada instante que he reído a morir, las
veces que he llorado hasta quedarme sin lágrimas, los
momentos que me he sentido triste y las veces que me
he quedado sola (que han sido varias).*



Agradezco el día y la noche las cuales me dicen que el tiempo está presente siempre y que este no perdona.

Agradezco haber llorado por el amor, el des amor que he sentido muchas veces.

Agradezco las veces que se me hizo conocer a los chicos que me gustaron y agradezco más haberme besado varias veces con algunos de ellos.

*Agradezco las amistades que he tenido en esta vida, los amigos que he conocido que han sido pocos en verdad, los cuales me hicieron crecer como persona, aprendí de ellas muchas cosas buenas y muchas otras malas, mas malas que buenas, como buenos amigos
😊.*

Agradezco mi primer borrachera que tuve y con las personas que estuve en ese momento, además de las tonterías que hicimos y que hoy en día solo una sonrisa aparece al recordarlas.

Agradezco las otras que le siguieron a la primera y a los amigos con las que las viví.

Agradezco mis salidas y llegadas a los lugares que he querido.

Agradezco las aventuras que he tenido y anhelo las que me hacen falta.

Agradezco a los profesores de las escuelas por las que he pasado y no han sido por fuera de ellas. Los profesores que me han enseñado a crecer y a aprender todo lo que hoy se y a veces he llevado a cabo, y a los maestros de la vida que aun me faltan por conocer.



Agradezco con gran cariño a la UNAM escuela que terminé de formarme y que le estoy agradecida por haberme acogido en su familia estudiantil y que me ha terminado de preparar para el mundo laboral.

Agradezco por lo que conozco y espero más de lo que no conozco aún.

Agradezco los miedos que he tenido y los miedos que he superado, esperando conocer los que me faltan y los que aun no conozco.

Agradezco haber practicado box que después del básquet fue y será mi devoción y mi gusto, en el cual me desestrece varias veces de un día pésimo.

Pero sobre todo me falta agradecer a las personas más importantes en mi vida que han estado siempre que los he necesitado y las veces que yo he creído que no los necesitaba ellos siempre han estado ahí para mí, a los que les agradezco todo lo que soy, lo que he sido y lo que seré, a esas personas que me han dado tanto y no me han pedido nada devuelta, a las personas que siempre estarán a mi lado pase lo que pase, a las personas que adoro aun que tengamos tantas cosas en controversia y diferencias en nuestras formas de pensar, a las personas que no sé cómo les pagare todo lo que me han dado incondicionalmente. Por eso hoy les agradezco, gracias a ustedes por todo lo que soy, gracias por tantas cosas que me han dado desde que tengo memoria y desde antes.

A mi familia:

GRACIAS APAITO ME HAS DADO UNA GRAN HERENCIA QUE SE QUE NISIQUIERA CREES HABERME DADO Y QUE HOY EN DIA ESO ES LO QUE ENSEÑO A MIS HERMANOS,



TE QUIERO Y SIEMPRE ESTAS EN *My mind and my heart.*

GRACIAS AMAITA POR HABERME DADO UN POQUITO DE TI Y ASI ME DISTE LA VIDA Y TODA MI VIDA ME HAS DADO TANTO, ME HAS HEREDADO TANTO Y LO PRINCIPAL ES ESTAR FIRME ANTE UNA ADVERSIDAD, TE ADORO TU SIEMPRE ESTAS EN *My mind and my heart forever.*

GRACIAS A MIS CHAPARROS QUE SE HAN CONVERTIDO EN MIS HIJOS Y DE LOS CUALES HE APRENDIDO TANTO Y ME HAN OBLIGADO A MANTENERME ACTUALIZADA, LOS ADORO USTEDES SIEMPRE ESTAN EN *my heart.*

GRACIAS A MI HERMANA MENOR MARY POR ENSEÑARME A NO PERECER ANTE LOS FRACASOS DE LA VIDA TU ME HAS ENSEÑADO A SER ASTUTA EN MUCHAS COSAS Y EN MUCHOS MOMENTOS TE QUIERO *always*

Agradezco en demasía a toda mi familia que esta tan lejos pero para mí esta tan cerca este triunfo que hoy se presenta a mí, es mío y de ustedes.

♥ *Con amor y mucho cariño Aní...*



Dedicatoria

Dedico este trabajo a todas las personas de las que me he rodeado y de las cuales he aprendido tanto de mil maneras diferentes “mis amigos, gracias”.

Un día una de mis profesoras de la prepa me dijo una frase que me dejó marcada “cada cabeza es un mundo” y lo he comprobado día a día y hoy soy capaz de decir conozco millones de mundos gracias.

Dedico este trabajo que me ha costado tanto y que me ha dejado buenos y malos sabores de boca a los profesores que han hecho posible mi culminación de este proyecto que me puse como una meta, en especial a la doctora Esther que ha sido mi amiga, antes que mi profesora y que me ha ayudado en los momentos que sentí desfallecer al pensar que no podía terminar este proyecto, gracias profesora.

Agradezco a los sinodales que ayudaron a la mejora de mi trabajo, y que aun al culminar de mi tesis me han seguido enseñando, ya que uno no deja de aprender y lo corroboro, gracias profe Ramiro, profa Elvia, con cariño a la profa Lety, y a la profa Soco por su dedicación al progreso de mi trabajo.

Agradezco también a los encargados del Parque Ecológico Cubitos que hicieron posible que este trabajo lograra desarrollarse con éxito gracias a todos, gracias biólogo.

Y al final pero no menos importantes dedico este trabajo a mi gran familia, mis apaitos, y mis hermitos, que quiero que sepan que este trabajo no solo es mío sino es también de ellos ya que han vivido en carne propia mis altas y mis bajas, mis ratos de



*alegría, de soledad y de tristeza y aunque sea yo la
que aparece como autora sabemos que yo no sería
nada sin ustedes y por eso este triunfo que soñé
cuando era una niña de 7 años y que por fin
culminó también es de ustedes y para ustedes.*

*Gracias muchas gracias a todos..... Aní
beloved*

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Páginas
Resumen	1
I. Introducción	2
II. Marco teórico	3
2.1 Suelo	3
2.2 Degradación de suelos	3
2.3 Erosión hídrica	4
2.4 Erosión eólica	6
2.5 Degradación química	7
2.6 Consecuencias de la erosión	8
2.7 Cubierta vegetal	8
2.8 Técnicas de recuperación de cubierta vegetal	9
2.8.1 Técnicas nucleadoras	9
2.8.2 Trasposición de suelo	10
2.8.3 Posaderos artificiales	10
2.9 Técnicas de bioingeniería	11
2.10 Evaluación de la erosión	13
2.11 Control de la erosión	14
III. Justificación	16
3.1 Pregunta de investigación	17
IV. Hipótesis	17
V. Objetivos	17
5.1 General	17
5.2 Particulares	17
VI. Metodología	18
6.1 Zona de Estudio	18
6.1.1 Clima	19
6.1.2 Flora	20
6.1.3 Fauna	21
6.2 Trabajo de campo	21
6.2.1 Evaluación de la erosión	21

6.3 Muestreo de suelo	22
6.4 Selección de especies	23
6.5 Evaluación del porcentaje de vegetación	23
6.6 Localización de las zonas de estudio	23
6.7 Implementación de las técnicas de bioingeniería	25
6.7.1 Técnicas para recuperación de vegetación	25
6.7.2 Técnicas para recuperación de suelo	26
6.8 Trabajo de laboratorio	30
VII. Resultados y discusión	30
7.1 Parámetros físicos	30
7.2 parámetros químicos	32
7.3 Evaluación de la erosión	36
7.4 Técnicas de bioingeniería	37
7.4.1 Posaderos artificiales	37
7.4.2 Zanjas o canales	39
7.4.3 Barreras de rocas	42
7.4.4 Diques	44
7.4.5 Acolchados	48
7.5 Cubierta Vegetal	51
VIII. Conclusiones	53
IX. Referencias	55

ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas
FIGURA 1 Tipos de cárcavas	6
FIGURA 2 Mapa satelital del parque ecológico cubitos en el estado de Hidalgo	18
FIGURA 3 Foto satelital donde muestra la distribucion del parque y la zona de estudio	19
FIGURA 4 Método modificado de clavos y rondanas	22
FIGURA 5 Método de la Corcholata	22
FIGURA 6 Vista panorámica de la Zona Alta (ZA)	23
FIGURA 7 Vista panorámica de la Zona Baja (ZB)	24
FIGURA 8 Vista panorámica de la Zona media (ZC)	24
FIGURA 9 Establecimiento del posadero	25
FIGURA 10 Elaboración de la zanja	26
FIGURA 11 Distribución de las barreras de rocas	27
FIGURA 12 Diques en la cárcava donde se muestra la entrada y la salida	28
FIGURA 13 Implementación de los acolchados	29
FIGURA 14 Posadero situado en cada zona de estudio	37
FIGURA 15 Posaderos decaídos por el viento	38
FIGURA 16 Acumulación de materiales disgregados (clastos) en las zanjas de las tres zonas de estudio	39
FIGURA 17 Zanja en la ZA presencia de plantas y acumulación clastos.	40
FIGURA 18 (a) Zanja de la ZC y (b) y la presencia de plantas acompañantes	40

FIGURA 19	(a) Zanja de la ZB con agaves trasplantados. (b) Presencia de plantas acompañantes en la zanja de la ZB.	41
FIGURA 20	Represa de rocas en la ZA y plantas nativas	42
FIGURA 21	Represa de rocas entre las zonas A y B, la presencia de plantas acompañantes	43
FIGURA 22	Acumulación de materiales disgregados (clastos) en las barreras de rocas de la ZA y entre ZA/ZB; B=barrera de Rocas.	43
FIGURA 23	(a) Diques en la ZB al inicio y (b) presencia de plantas acompañantes al final del experimento.	45
FIGURA 24	Diques colocados en la ZC y la presencia de plantas acompañantes alrededor de los diques	46
FIGURA 25	Acolchados de la ZB, Crecimiento de los individuos trasplantados	48
FIGURA 26	Acolchados en la ZA, con retención de materiales disgregados y la presencia de algunas plantas acompañantes.	49
FIGURA 27	Acolchados de la ZB con acumulación de materiales disgregados y algunas plantas acompañantes.	50

ÍNDICE DE CUADROS

		Páginas
CUADRO 1.	Parámetros físicos del suelo de las tres zonas de estudio (Parque Ecológico Cubitos Pachuca, Hidalgo)	31
CUADRO 2.	Parámetros Químicos del suelo de las tres zonas de estudio (Parque Ecológico Cubitos Pachuca, Hidalgo)	35
CUADRO 3.	Crecimiento de los individuos trasplantados de la ZB y ZC.	44
CUADRO 4.	% de Cubierta Vegetal, caracterización del suelo del parque ecológico cubitos	51

RESUMEN

En de México hay suelos muy propensos a la erosión; lo que provoca pérdida de la materia orgánica y decremento de la capacidad de intercambio iónico, alterando sus condiciones físicas y químicas, dificultando la supervivencia de la vegetación. Este trabajo tiene el objetivo de controlar la erosión que presenta el Parque Ecológico Cubitos con el fin de recuperar el suelo y la cubierta vegetal.

Este Parque se encuentra localizado en el suroeste de la ciudad de Pachuca, en el Estado de Hidalgo, México, a 20°, 06' y 33" latitud Norte, 98°, 44' y 60" longitud Oeste, es una área natural protegida, con una superficie de 132 hectáreas.

En el Parque se ubicaron tres zonas de estudio con diferente grado de erosión para aplicar técnicas de bioingeniería como: barreras físicas de rocas, zanjas de infiltración, geomallas orgánicas (yute), enramados, diques con plantas, posaderos artificiales, acolchados. Se realizó el análisis de suelo de las tres áreas y se encontró que la concentración de Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K) son cantidades bajas de acuerdo a la NOM-021 RECNAT-2000; en dos años se han recuperado cinco centímetros de suelo; las especies trasplantadas nativas, se encuentran vivas y en promedio han crecido seis centímetros. En los acolchados se han encontrado excretas con semillas principalmente de las familias gramineae y asteraceae, algunas de las cuales germinaron y se consideraron como plantas acompañantes. Se puede concluir que el empleo de estas técnicas a mediano plazo permite la recuperación del suelo y la cubierta vegetal.

I. INTRODUCCIÓN

En México existen zonas que por su ubicación geográfica son susceptibles a la erosión, sin embargo el mayor grado de afectación lo ha provocado el hombre por el uso agrícola, pecuario y urbano y se debe considerar que la deforestación, la erosión y la escasez de agua potable están entre las diez principales causas que ponen en peligro la vida en el planeta Tierra. Se estima que alrededor de dos mil millones de hectáreas (15% de la superficie terrestre) en el mundo sufren algún tipo de degradación edáfica y su efecto más visible es la disminución de la producción de biomasa vegetal, menor enraizamiento de las plantas y poca disponibilidad de elementos nutritivos. En México la mayor pérdida de suelo se produce por su erosión (SEMARNAT, 2001).

En el Parque Ecológico "Cubitos", la erosión es un problema grave debido principalmente a los incendios que se presentan en la época seca del año y también a que el sitio tiene laderas con pendientes arriba de las 6°, lo que provoca una pérdida de cubierta vegetal, por lo que ayudar a su control en el área deteriorada del Parque por medio del empleo de técnicas de bioingeniería, en donde se emplean materiales vegetales vivos (plantas), inertes (rocas) y geotextiles (yute) ayudará a la estabilización y mejoramiento de la estructura del suelo, aumentando su fertilidad y facilitando el establecimiento de una cubierta vegetal.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 SUELO: es una mezcla de minerales, materia orgánica, agua y aire, y se forma por la acción de cinco factores: material parental, topografía, clima, tiempo y actividad biológica. Su proceso de formación es largo y tarda desde cientos hasta miles de años, por lo que el suelo es considerado como frágil y un recurso natural no renovable.

El suelo bien conservado contiene los nutrientes para que la vegetación crezca fuerte y sana; para producir los alimentos que consumimos a diario y la mejor forma de conservarlo, es mantener la cubierta vegetal, su importancia radica en que es una capa protectora sobre la superficie del suelo, por lo que controla la erosión y desertificación (Hudson, 1995; FAO, 2000).

2.2 Degradación de suelos: es cualquier proceso que conduzca a una disminución gradual o acelerada, temporal o permanente, de su capacidad productiva. La degradación no solo depende de la intervención del hombre, sino del clima y de la naturaleza de los suelos (Plasencia, 1996). Se considera que existen tres tipos de degradación del suelo: Erosión hídrica, eólica y degradación química (salinización y sodificación); procesos que pueden ser directa o indirectamente, provocados o acelerados a través de la actividad agrícola.

La erosión, entendida como resultado de la intervención humana, con diferentes finalidades, ha adquirido con el paso del tiempo una magnitud tal, que hoy día se le considera uno de los principales problemas ambientales a nivel global, asociada en gran medida a la deforestación. Así, en América del Sur casi 250 millones de Hectáreas de terreno se encuentran afectados por la degradación del

suelo (PNUMA, 2000), es la erosión la principal amenaza con 68% del terreno afectado; unos 100 millones de Hectáreas se han degradado como consecuencia de la deforestación en tanto que unos 70 millones de hectáreas se han sometido a procesos de pastoreo intensivo. Existen diferentes definiciones de erosión entre las cuales se considera la de Pla (1989), donde señala que la erosión es la pérdida total o parcial del suelo arrastrado por el agua y a veces por el viento y que este efecto es mayor cuando la superficie esta roturada, sin cubierta vegetal o muy poco desarrollada, en dependencia con la pendiente y las lluvias; este autor plantea que los efectos provocados por la erosión pueden ser directos e inmediatos, a mediano y largo plazo. Viers (1978) y Roose (1981) consideran que no solo es el flujo de partículas sólidas arrancadas a la superficie del suelo en t/ha/año, sino también al escurrimiento, que constituye el flujo líquido que transporta estas partículas. Febles y Miranda (1988), señalan que la erosión no es una entidad, sino un fenómeno concreto esencialmente discontinuo cambiante en modalidad y en efectos. Couso (1994), la define como el proceso de remoción, desprendimiento y arrastre de las partículas de suelos por el agua o por el viento, provocando muchas veces la disminución irreversible de su capacidad productiva. De acuerdo a Pacheco (2010), es el desgaste de la tierra por efecto del viento y del agua.

2.3 Erosión Hídrica es la remoción del suelo bajo la acción del agua, esto afecta tanto a las zonas de las cuales se retira el sustrato como aquellas que son sepultadas por el depósito de sedimentos. La estimación sobre la superficie afectada por la erosión en México, son muy diferentes pero a partir de 1965 todas coinciden en que supera el 60% del país (Rzedowski, 2006).

Se considera que los suelos con pendiente de 1-3 % tienen limitaciones erosivas, se puede utilizar intensivamente, pero en la

época de lluvias debe estar protegido del efecto de las gotas de lluvia mediante cobertura vegetal. Es preciso que con pendientes de 3-5%, la preparación del suelo deba hacerse antes de que se inicie el periodo lluvioso o después de este. Se recomienda la aradura y siembra en contorno o perpendicular a la mayor pendiente (Riverol, 1995; Riverol *et al.*, 1996).

La erosión por el agua tiene varias consecuencias negativas, afecta a la productividad agrícola por la reducción de la disponibilidad de agua, la capacidad de retención del agua, los niveles de nutrimentos, materia orgánica y profundidad del suelo (Pimentel *et al.*, 1995).

La erosión del suelo procede en tres etapas: (I) “Batido o Dispersión”, (II) “Erosión laminar” y (III) “Arroyuelos y Cárcavas” (Römken *et al.*, 2002).

(I) El **Batido o Dispersión** es la separación de las partículas pequeñas del suelo por el impacto de las gotas de lluvia.

(II) La **Erosión Laminar** se refiere a una eliminación uniforme del suelo de la superficie, en una serie de capas delgadas. Para que la erosión laminar ocurra es necesario que haya un suelo superficial nivelado lo cual es un caso raro generalmente un suelo superficial a nivel o nivelado, tiene pequeñas depresiones en las cuales se acumula el agua.

(III) Los **Arroyuelos** se borran al hacer el primer cultivo del campo, aun cuando este se haga con una rastra de picos y en consecuencia la erosión laminar del suelo no es tan obvia.

Las **Cárcavas** son una de las expresiones de la erosión superficial, y ocupa, dentro de esta el nivel máximo de manifestación precedida por la erosión en forma de salpicadura, laminar y en surcos; surge generalmente luego de la erosión laminar y la erosión en surcos, al

aumentar el volumen de escorrentía o su velocidad y es de difícil control.

La *formación de cárcavas* ocurre por tres procesos: (1) erosión por caídas de agua, (2) erosión en los canales y (3) erosión causada por congelación y deshielos, generalmente más de un proceso se encuentra activo. Las Cárcavas se pueden clasificar por la forma de la sección, por su profundidad y área de drenaje y por su continuidad a lo largo de la pendiente. Se conocen tres tipos de cárcavas: **Tipo "U"** esta se forma cuando el suelo superficial tiene la misma resistencia que el subsuelo; **Tipo "V"** se forma cuando el subsuelo tiene más resistencia que el suelo superficial y **Tipo trapezoidal** que se forma cuando el suelo es muy resistente a la erosión, esto sucede en zonas de tepetate (Figura 1) (SAGARPA, 2011).

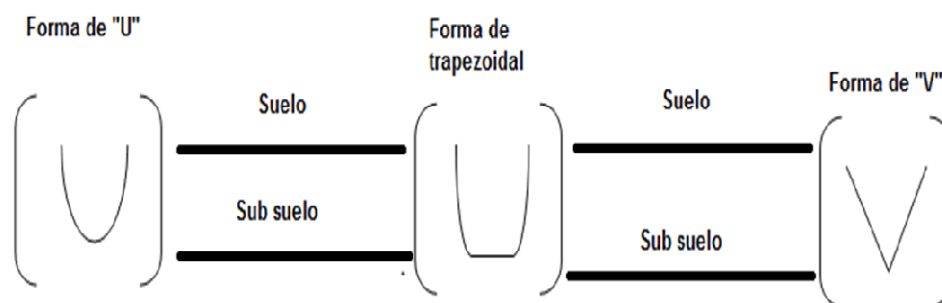


Figura. 1 Tipos de Cárcavas

2.4 Erosión Eólica: cuando el viento es el agente que provoca el deterioro, se reconocen las mismas modalidades de erosión superficial más la deformación, cuando se forman dunas. La deformación por viento no es un problema extendido en México, mientras que la que está asociada al agua comprende más de 22.7 millones de hectáreas. La movilidad del sustrato en las cárcavas o dunas es muy alta por lo que pocas plantas llegan a germinar en

estas condiciones son arrastradas junto con el suelo cuando aún son pequeñas.

Para la erosión eólica se estimó que 89% del territorio nacional está afectado, principalmente en regiones áridas del norte del país (en los desiertos Chihuahuenses y Sonorenses), y en amplias zonas de Veracruz, Guerrero y Oaxaca. Hay entidades donde prácticamente toda su superficie tiene erosión eólica como: Aguascalientes, Baja California Norte, Baja California sur, Durango, Sonora y Zacatecas (Skujins, 1991).

La erosión por el viento ocurre en suelos sin protección o parcialmente cubiertos por vegetación. Las tolvaneras ocurrirán durante los periodos en que el suelo se está preparando para ser sembrado y antes que un cultivo haya alcanzado suficiente tamaño para protegerlo, también puede ocurrir cuando el terreno se encuentra en descanso. Una gran parte de esta, ocurre también sobre grandes extensiones de pastizales cuando estos han sido sobre pastoreados. La erosión eólica alcanza sus mayores proporciones en las regiones áridas y semiáridas; sin embargo esta causa mayor daño tanto en suelos de cultivo como en regiones húmedas, aunque el fenómeno es menos espectacular y atrae menos la atención (Skujins, 1991).

2.5 Degradación química: tiene lugar bajo diferentes condiciones, la forma más común es la salinización que es el incremento de la cantidad de sales en el suelo. Las zonas áridas, las cuencas cerradas y las costas tienen suelos naturalmente salinos. El riego puede agravar la salinidad cuando se emplea agua de mala calidad rica en minerales como el sodio, tal es el caso del líquido extraído por bombeo o las aguas negras. También un riego excesivo puede elevar el manto freático formando sal en la superficie. Los terrenos con drenaje deficiente y/o alta evaporación son particularmente

susceptibles a la salinidad; la mayoría de las plantas ven reducido su desempeño en suelos salinos, lo que abate los rendimientos de las cosechas (Porta, 1999; Skujins, 1991)

2.6 Consecuencias de la erosión: la erosión disminuye la fertilidad del suelo al perderse con el agua los nutrimentos esenciales para los cultivos y provoca además otro problema de gran envergadura, la sedimentación (suelos desplazados del lugar original y depositado en otro); decrecen los rendimientos de los cultivos de importancia económica. Con el ascenso del relieve y la intensidad de los aguaceros unidos a la mala protección de los suelos y a la acción del hombre a la que están expuestos, es de esperar un rápido deterioro. La erosión puede ser controlada o reducida a un mínimo cuando se adoptan medidas apropiadas de conservación de suelos. Se estima que la degradación de tierras agrícolas puede bajar la producción alimentaria mundial entre el 15 a 30 % durante los primeros 25 años (Buringh, 1989), por lo que debe hacerse hincapié en la necesidad de aplicar técnicas de conservación de suelos (Henderson, 1982).

2.7 Cubierta Vegetal: La vegetación controla la erosión en las cárcavas al incrementar la infiltración y reducir la escorrentía, ofrece protección física al suelo frente al impacto de la lluvia y la escorrentía, y reduce la velocidad del agua al aumentar la resistencia hidráulica del terreno; por lo tanto reduce la capacidad erosiva del agua. Si la velocidad se reduce lo suficiente, sedimenta los materiales que son arrastrados. A partir de este momento se puede regenerar la vegetación natural (Hudson, 1982).

La intensidad de la erosión no depende solo del clima y otros factores naturales sino también del estado de la cobertura vegetal, la intensidad de los efectos erosivos es más pronunciada en los suelos donde la vegetación es débil (Bonilla, 1992). El recubrimiento vegetal

es uno de los principales indicadores del estado de un ecosistema o paisaje (Zhou *et al.*, 2007).

El manejo de las diferentes formas de cubierta, ya sea coberturas muertas, rotación de cultivos, asociaciones, intercalamiento, métodos de labranza mínima y cero labranzas, utilizados independientes o combinados, son medidas eficaces para la conservación de suelos y el agua (Hernández *et al.*, 1980; Altieri, 1996a). Se ha observado que el crecimiento de las gramíneas reduce la escorrentía entre 50 a 60% y las pérdidas de suelo por la erosión entre 60 a 80% (Morgan, 1986). El área alrededor de las cárcavas al ser sembrada con una forestación, logra reducir la escorrentía entre un 65 a 90% y las pérdidas de suelo por erosión entre 75 a 90% (Morgan, 1986).

La importancia de realizar la recuperación de la cubierta vegetal, radica en que ésta es el principal factor para el control de la erosión, por medio de la estabilización y mejoramiento de la estructura del suelo, aumentando su fertilidad y facilitando la evolución de este (Cortina, 1993; Zhou y Shangguan, 2007).

2.8 TÉCNICAS DE RECUPERACIÓN DE CUBIERTA VEGETAL

2.8.1 Técnicas nucleadoras: en la actualidad se emplean estas técnicas (Reis *et al.*, (2003) para la recuperación de la cubierta vegetal, éstas se conciben como la formación de núcleos, dejando gran parte de las áreas vegetadas para las eventualidades locales, o sea, para acción de la propia regeneración natural. La Nucleación como propuesta para la Restauración de la Conectividad del Paisaje, la trabajaron Yarrantón y Morrisón (1974), donde mostraron que algunos organismos vegetales tienen capacidad de formar micro-hábitats, mejorando las condiciones ambientales y atrayendo una serie de otros organismos, formando de esta manera, núcleos de diversidad.

La nucleación representa una potencialidad de integración de los paisajes fragmentados, una vez que genera efectos locales (en áreas degradadas a restaurar) y efectos de contexto (en áreas desconectadas por la fragmentación). Para que este proceso nucleador sea efectivo en el paisaje y haga la promoción de la conectividad, es imprescindible que los flujos biológicos ocurran en los dos sentidos: entre los “fragmentos-área en restauración” y “área restaurada-paisaje” (Tres y Reis, 2007).

2.8.2 Transposición del suelo: al considerar que las áreas en formación están carentes de varias formas de vida, la transposición del suelo representa una excelente estrategia de incorporar vida vegetal y animal (banco de semillas, propágulos, microorganismos, hongos, bacterias, lombriz de tierra, algas, etc.), propiciando la formación de pequeños nichos de regeneración y colonización. Como una de las ventajas de esta técnica, es la gran heterogeneidad del material genético introducido, es imprescindible que todos los fragmentos vecinos al área degradada estén representados en las muestras del suelo (cerca de 1m² de suelo y 10 cm de profundidad) (Reis *et al.*, 2003).

2.8.3 Posaderos artificiales representan la mejor estrategia de conectividad de las unidades del paisaje. Este artificio va ganando espacio en las restauraciones y resultados significativos fueron obtenidos por Espíndola (2005), Bechara (2006) y Tres (2006), que mostraron su fuerte poder nucleador. La principal acción de los posaderos consiste en su función del trampolín ecológico. La implantación de esta estructura que imita retoños secos de plantas (posadero seco) o árboles vivos (posadero vivo) genera flujos biológicos en ambas direcciones para conectividad. A medida que una diversidad de especies, atraídas por los posaderos, deposita semillas en las áreas degradadas, formando un núcleo alogénico,

propicio para conectar fragmentos a las áreas en restauración; estos núcleos generan modificaciones en la estructura biológica del ambiente, ya que representan focos de concentración de propágulos, atrayendo una gran cantidad de consumidores; de esta manera actúan como facilitadores para la formación de una nueva cadena trófica en las áreas en colonización (Tres y Reis, 2007).

2.9 Técnicas de bioingeniería: La bioingeniería comprende una serie de técnicas que utilizan principalmente material vegetal vivo, como elementos de construcción o combinándolo con materiales inertes con el fin de ayudar a establecer las condiciones físicas necesarias e ideales dentro de las primeras fases, es decir, cuando el material todavía no ha llegado a su efectividad máxima.

Estas técnicas de bioingeniería se dividen en 2 grupos:

- I. **Técnicas de estabilización con material vivo o ingeniería naturalística:** estas se basan únicamente en la utilización de material vivo como estacas, planta adulta, rizomas, semillas, ramas, trenzados vivos de ribera, cobertura en ramas en márgenes y fajitas vivas. Cuya finalidad es cubrir y resguardar la superficie de laderas amenazadas o dañadas, protegiendo la superficie del suelo contra el impacto de lluvias intensas, granizo, corriente de agua, viento, hielo y otras formas de erosión. El efecto en la profundidad del suelo tiene una importancia secundaria.
La protección de la superficie mejora las condiciones micro climático, especialmente la humedad y la temperatura tanto en el suelo como en la capa del aire más próxima al terreno. Esto favorece el desarrollo de la vegetación natural. Los métodos de la protección superficial deben aplicarse siempre que se necesita una protección rápida en una gran extensión (Schiechtl, 2002; Sangalli, 2005).

Algunas técnicas que se incluyen en este grupo son:

- Colchones de ramas
- Colocación en diagonal de empalizadas trenzadas

II. **Técnicas mixtas de estabilización con material:** pueden lograrse estructuras eficaces para corregir la erosión, estabilizar ciertas secciones de laderas, lechos de causes o cárcavas de erosión empleando una combinación de materiales muertos y materiales vivos. Donde la base de la estructura es un soporte de fibra vegetal o gravas, en el que se estructura la planta aumentando el grado de resistencia y supervivencia de esta en los primeros estadios de establecimiento. El desarrollo y estructuración de la planta es muy rápido y eficiente ya que estos soportes inertes, dotan a la planta de buenas condiciones para la primera fase de adaptación en el medio.

Cuando se comparan con las construcciones de ingeniería convencional, los sistemas vivos tienen muchas ventajas incluyendo entre ellas una mayor duración, una eficacia superior, menos mantenimiento, reducción del costo total y una compatibilidad estética mejor con el paisaje circundante.

Algunas de estas técnicas que se incluyen en este grupo son:

- Construcción de muros de sostenimiento con lechos de ramas
- Lecho de ramas vivas en cárcavas
- Construcción de lechos de ramas vivas en cárcavas

(Schiechtl, 2002; Sangalli, 2005)

Otra técnica de Bioingeniería empleada, son los geotextiles, este se usa para el control de la erosión y se realiza a partir de materiales

naturales o sintéticos, incluyendo yute, coco, sisal de cereales, paja, nylon, hojas de palma, polipropileno, poliéster y polietileno (Rickson, 2006; Bhattacharyya, 2010; Sarsby, 2007). Los geotextiles contruidos a partir de materiales orgánicos son muy eficaces en el control de la erosión y el establecimiento vegetal (Langford y Coleman, 1996).

Geotextiles (Yute): Las propiedades del yute son relevantes en la aplicación de los requisitos establecidos para la aplicación de un buen drenaje y su instalación en los suelos blandos hasta que el suelo débil gane fuerza (Aashto *et al.*, 1990; Chattopadyay *et al.*, 1997; Chakravarty, 2005). Debido a las propiedades que presenta este se utiliza en las técnicas de bioingeniería (represa de rocas, control de agua de escorrentía y diques) para ayudar a controlar la erosión con un mayor potencial.

2.10 Evaluación de la Erosión: La adquisición de los datos reales en la pérdida de suelo es un tema muy complejo, con problemas técnicos que son difíciles de resolver. Los datos de las medidas experimentales deben interpretarse de acuerdo con el método utilizado para obtener buenos resultados y dependen de la escala espacial de la medición. Los métodos y la escala de medición, deben ser diseñados de acuerdo a los objetivos de la investigación. Muy a menudo los datos de erosión del suelo disponible para un área no reflejan con precisión las tasas de erosión de esa zona sino que debe interpretarse la comparación de tratamientos o microambientes entre las parcelas. La validez de las mediciones depende sobre la idoneidad de los métodos de los objetivos del proyecto de investigación (Hayward, 1968; Hudson, 1993).

La evaluación de la erosión se puede hacer de manera indirecta o directa. A su vez los métodos indirectos se dividen en los determinantes y los parámetros; los primeros están basados en

ecuaciones matemáticas a objeto de describir los procesos involucrados en el modelo, tomando en consideración las leyes de conservación de la materia y energía. Por otra parte, los modelos de tipo paramétricos se basan en la identificación de relaciones estadísticamente significativas entre variables, que se asume son importantes, cuando se cuenta con una razonable base de datos (León, 2003).

La estimación de erosión por métodos directos, implica el montaje de ensayos en campo con mediciones frecuentes o periódicas; si bien las pérdidas calculadas corresponden al fenómeno conforme éste ocurre en la realidad, las técnicas para su estimación son muy variadas, y en función de ello lo es asimismo su confiabilidad. Las ventajas en términos de precisión que se derivan de los ensayos directos en campo son claras, como por ejemplo el método de clavos y rondanas (Cortina, 1993).

Los métodos directos más conocidos son las parcelas de escurrimiento y las parcelas con clavos de erosión. Las parcelas de escurrimiento involucran la captación del caudal líquido y sólido, pero son difíciles de implementar por costos y tecnología. Por su parte, la metodología de los clavos de erosión es un método experimental sencillo, directo, de gran precisión y principalmente de bajo costo, en los cuales la estimación de pérdida de suelo se realiza totalmente en terreno.

2.11 Control de la erosión: El control de las cárcavas debe estar dentro del plan de manejo de una zona de producción, conservación y protección y debe considerarse como un sistema de recuperación de zonas degradadas y de protección de las obras de infraestructura hidro-agrícolas o de caminos en partes de las áreas de drenaje de las cárcavas (Sagarpa, 2011).

- **Control de Cárcavas**

El control efectivo de las cárcavas requiere la estabilización del fondo y de la cabecera de las mismas; los métodos principales para corregirlas y evitar su crecimiento son emparejamiento del terreno, suavización de taludes y construcción de protecciones; es necesario cercar el área para evitar el paso de personas y ganado (Rivera, 2000).

- a) Control de agua de escorrentía (zanjas, canalículos o acequias)**

Esta técnica resulta útil para regular el gran volumen del flujo directo o de la escorrentía superficial en las zonas semiáridas, se realiza una desviación del escurrimiento de la cabecera de la cárcava, y/o en laderas con riesgos de erosión creciente, esto es fundamental para el control de su crecimiento; la forma más común de controlar el agua de escorrentía ha sido mediante la construcción de estructuras de captación llamadas zanjias, canalículos o acequias, que cortan el recorrido del flujo de agua sobre el terreno, disponiéndolo más rápidamente y en forma adecuada, a un canal natural u otra estructura receptora sin que se produzca erosión (Francke *et al.*, 1998; Francke *et al.*, 1999).

- b) Dique en la Cárcava**

Un dique representa una obra relevante en el control de erosión en zonas de cárcavas al regular el flujo hídrico y contener los sedimentos transportados. La vida útil del dique se estima superior a 10 años. Para el control de cárcavas se recomienda realizar una serie de diques en el lecho de éstas.

c) Represa de rocas

Esta es una técnica muy atractiva por su bajo costo en aquellos sitios donde la roca es abundante y cercana, siendo su mayor utilidad en zanjales de moderada pendiente y áreas de drenaje pequeñas; su ventaja sobre presas hechas con otros materiales como madera, ramas y alambre, estriba en su mayor resistencia y durabilidad, ya que permanece en contacto permanente con la cárcava (Francke *et al.*, 1998).

d) Zanjales de coronación

Las zanjales de coronación son una especie de canales que por lo regular se construyen en la parte alta de las parcelas, con el fin de proteger los terrenos de las lluvias fuertes. Estas se construyen tratando de desviar el agua proveniente de las partes altas sin causar daños de erosión en partes bajas (FAO, 2000).

III. JUSTIFICACIÓN

Debido a los graves problemas de erosión que existen en el parque por incendios ocasionales, lluvias torrenciales en las laderas de pendientes altas, pérdida de vegetación y suelo en algunas laderas y ser un lugar de paso, se plantea recuperar este sitio, utilizando estrategias que controlen la pérdida de suelo, por lo que es importante realizar el control y la recuperación de la cubierta vegetal por medio de técnicas de bioingeniería como son las zanjales, diques y barreras de rocas con el fin de detener la pérdida de suelo y acolchados (yute) para evaluar su importancia en la recuperación de la cubierta vegetal, ya que proporciona una mejor oportunidad de conservar humedad y retener suelo.

3.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿El empleo de técnicas de bioingeniería como diques en cárcavas, represas de rocas, zanjas de coronación ayudarán a controlar la erosión y el empleo de posaderos a la recuperación de la cubierta vegetal?

17

IV. HIPÓTESIS

Las técnicas de bioingeniería como: diques, zanjas, acolchado y represa de rocas en suelo erosionado promoverán la retención de suelo y propiciarán la recuperación de la cubierta vegetal.

V. OBJETIVOS

5.1 GENERAL

Evaluar el control de la erosión del suelo en el Parque Ecológico Cubitos a través de diferentes técnicas de bioingeniería con el fin de recuperar la cubierta vegetal.

5.2 PARTICULARES:

- Realizar análisis físico y químico del suelo, antes de aplicar las técnicas y después de un año.
- Evaluar la erosión del suelo en el Parque Ecológico por el método de las corcholatas y reglas.
- Aplicar técnicas de control de erosión como son los diques, zanjas, represas de roca y acolchados
- Evaluar el % de cobertura vegetal después de aplicar las técnicas.

VI. METODOLOGÍA

6.1 Zona de Estudio: El Parque Ecológico Cubitos, fue decretado como área natural protegida, en la categoría de parque estatal el 30 de diciembre del 2002, en una superficie de 132 ha. Se localiza en Pachuca Hidalgo, entre los paralelos 20° 06' 33" d e longitud oeste y 98° 44' 60" de latitud norte y a una altitud de 24 29 msnm. Pertenece al sector del parte agua de la Región Sur de la Sierra de Pachuca y los lomeríos que lo conforman se ubican en la Provincia Ecológica de los Lagos y Volcanes de Anáhuac (Figura 2).

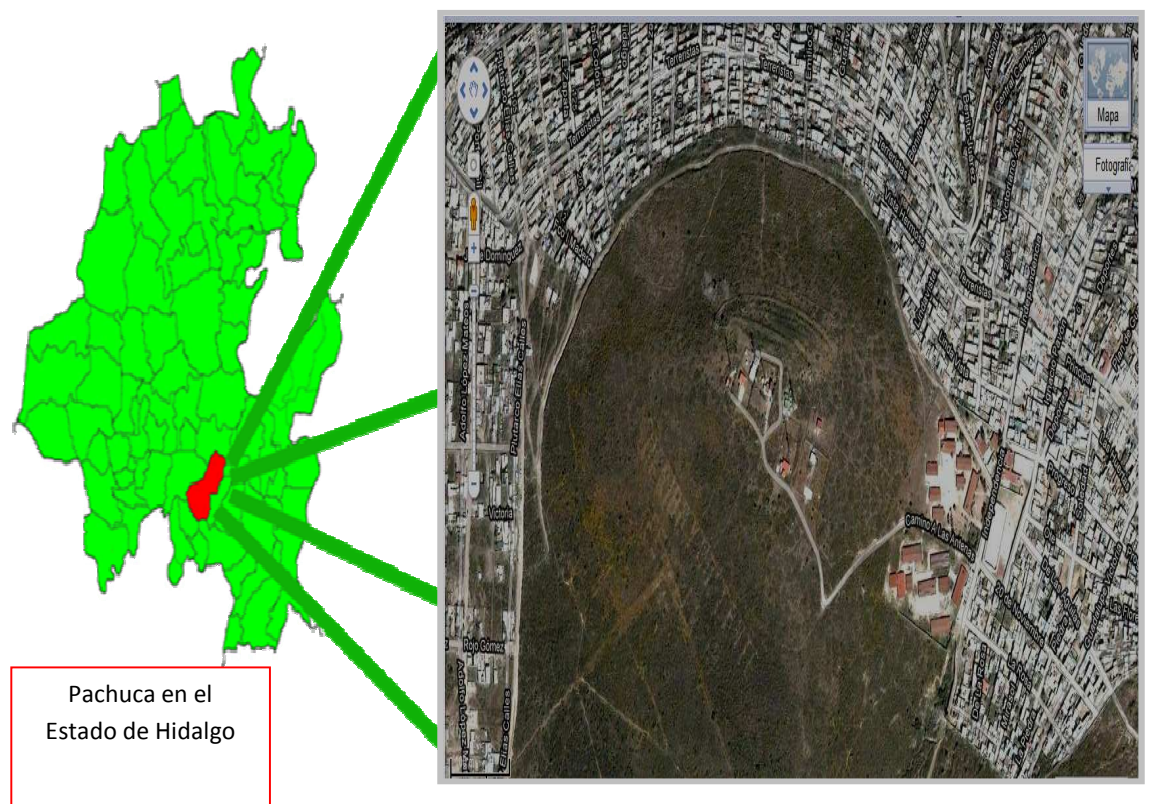


Figura 2. Mapa satelital del parque Ecológico Cubitos ubicado en el Estado de Hidalgo.

El parque se encuentra dividido en tres zonas: *zona de recuperación*, *zona de uso restringido* y *zona de uso intensivo*; las dos primeras corresponden a la reserva ecológica del Parque y en la última se han construido obras como la Casa Ecológica (ecotecnias), Museo Natural (eco regiones del Estado), Tuzuario (ciclo biológico de roedores menores "tuzas"), así mismo cuenta con un jardín botánico

(cactáceas, agaves y opuntias, etc.), un bosque (diferentes especies de pinos), un laberinto, 17 viveros y por último el Centro de Información y Documentación del Medio Ambiente (CIDMA) (Figura 3).

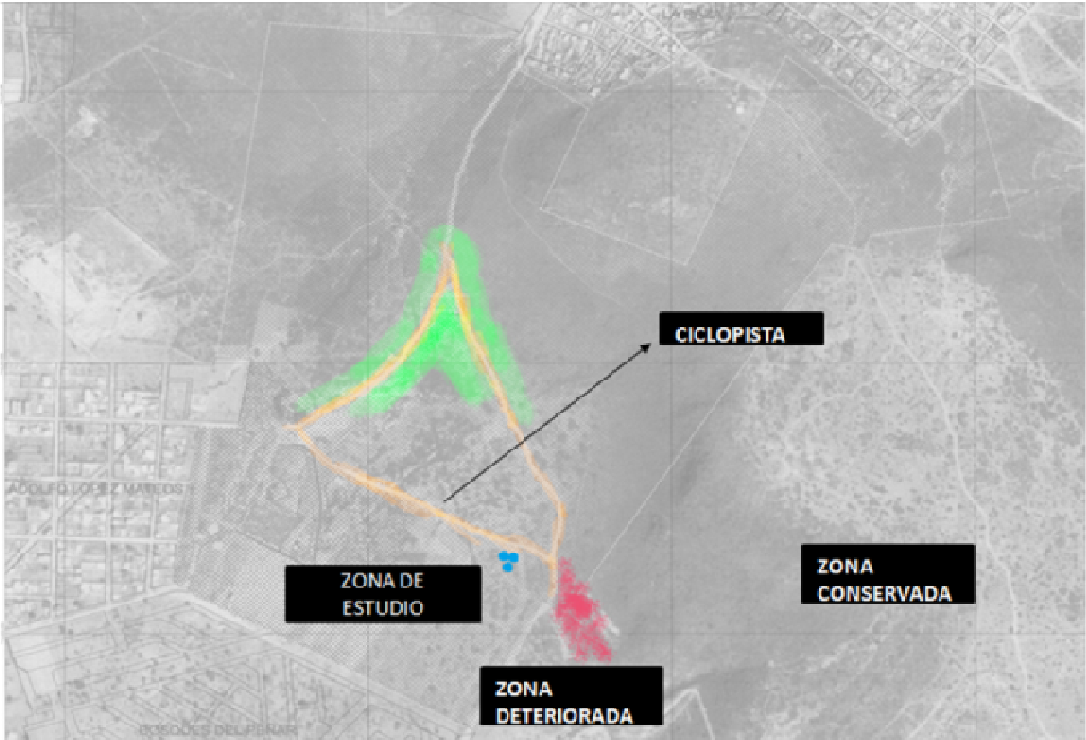


Figura 3. Foto satelital donde muestra la distribución del parque y la zona de estudio (puntos azules).

6.1.1 Clima: De acuerdo a la clasificación de Köppen modificado por García (2003), presenta un clima semiseco (BS1) templado con verano cálido. Los registros mínimos de temperatura son de 10 °C aunque el rango normal es de 8.5°C, respecto a la temperatura máxima es de 22.7°C, anualmente la temperatura máxima se registra en el mes de abril con 27.95 °C y la mínima en febrero con 1.01°C. La precipitación muestra un comportamiento errático donde los mínimos anuales ocurren cada cinco años con 291 mm. Los meses más lluviosos son julio con 83.56 mm y septiembre con 117.8 mm,

mientras que en diciembre se registran los valores mínimos de 7.15 mm (García, 2003).

6.1.2 Flora: Los tipos de vegetación presentes son: matorral micrófilo, matorral rosetófilo y matorral crasicaule. La flora está constituida por 141 especies, 101 géneros y 37 familias; de acuerdo a la NOM (059-SEMARNAT-2001), cuatro especies están sujetas a protección especial.

La vegetación del parque corresponden a un material xerófilo, dentro de dicha clasificación predominan principalmente dos tipos de matorral: micrófilo, rosetófilo. Además en el área se localiza un pastizal inducido posiblemente a partir del matorral desértico rosetófilo.

El matorral rosetófilo prospera cuando hay pendientes moderadas y alta pedregosidad, y en él se presentan especies como *Agave lechuguilla*, para algunas áreas menos abundantes se observan *Mammillaria magnimama*, *M. biuncifera*, *Ferocactus latispinus*, *Echiocereus cinerascens*, *Coryphanta sp* y *Stenocactus sp*, que constituyen parte de los estratos inferiores. En el estrato medio superior encontramos a *Dalea versicolor*, *Zaluzamia augusta*, *Baccharis conferta*, *Jatropha spp*, *Senecios praecox* y micrófilos como *Mimosa biuncifera*, cuya alternancia se observa con frecuencia en la porción oeste del parque, *Opuntia streptacantha*, *Yuca filifera*, *Dasylirion acrotriche*. En el estrato arborescente se observan pocos elementos de *Schinus molle*, es escaso y los pocos ejemplares existentes presentan mutilaciones (Barrios y Medina, 1996; COEDE, 2004). En cuanto al matorral espinoso, este se ubica en la porción central, oeste y sur, entre los 2290 y los 2320 m de altitud, tienen suelos más profundos de textura fina con pendientes ligeras que permiten su acumulación, observándose alta pedregosidad (Barrios y Medina 1996).

6.1.3 Fauna: Con respecto a la fauna silvestre, el grupo de los anfibios está representado por dos especies, dos géneros y dos familias; los reptiles por seis especies, cinco géneros y cuatro familias; las aves por 23 especies, 22 géneros y 14 familias y los mamíferos presentan 20 especies, 17 géneros y siete familias.

Así mismo se han registrados 36 especies, 30 géneros y siete familias de lepidópteros; cuatro especies, tres géneros y tres familias de arácnidos y 56 especies, 33 géneros y seis familias de abejas. Cinco especies están amenazadas, dos especies están sujetas a protección especial, una especie se encuentra en peligro de extinción y una especie se considera como rara (NOM-059-SEMARNAT-2001).

6.2 TRABAJO DE CAMPO

Se realizó un recorrido por el parque ecológico seleccionando el área con mayor deterioro del suelo que propició la pérdida de cubierta vegetal y se eligieron tres zonas de estudio de 40 m² cada una.

6.2.1 Evaluación de la erosión: se evaluó la erosión del suelo en las tres zonas de estudio por el método de corcholatas y el método de Reglas (modificado de clavos y rondanas).

- a) Método de Reglas (modificado clavos y rondanas).** Se utilizaron reglas de fierro de 30 cm de largo, se marcaron al centro (15 cm) con un anillo rojo a lo ancho de la regla (Figura 4), la cual se introdujo en el suelo hasta la marca de los 15 cm. Se colocaron a distancias de 5 metros formando un transecto (Pizarro, 2006), con tres repeticiones en ladera y planicie con y sin vegetación.

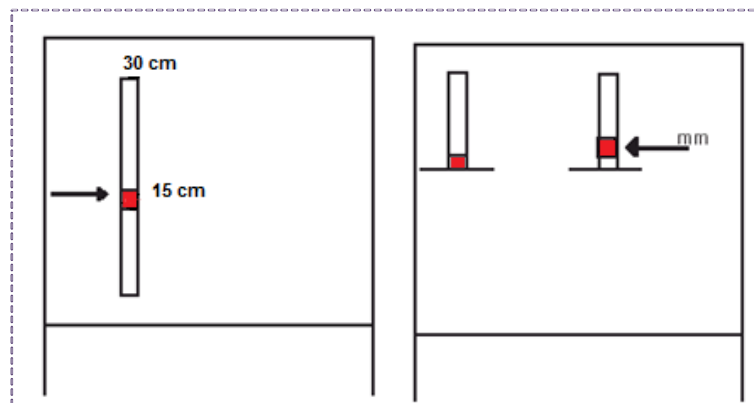


Figura 4. Método modificado de clavos y rondanas

b) Método de la Corcholata. Se utilizaron corcholatas (tapa roscas) de plástico de refresco, estas se colocaron de manera superficial sobre el suelo en las diferentes zonas de estudio fijadas por un clavo en el centro (Figura 5), se colocaron cinco repeticiones de la misma manera que en el método de reglas, con tres repeticiones en ladera y una en planicie con vegetación y otra sin vegetación.



Figura. 5 Método de la Corcholata

6.3 Muestreo de suelo: se recolectó suelo superficial (0 a 15 cm), de 15 puntos al azar en cada una de las áreas de trabajo para formar una muestra compuesta de 2.5 kg, este suelo se almacena en

costales y en el laboratorio se le realizaron los análisis físicos y químicos de acuerdo a la NOM - 021 RECNAT-2000. Para el análisis de suelo se tomaron muestras al inicio y al final del estudio para evaluar la variación en la concentración de nutrimentos en las diferentes áreas de trabajo.

6.4 Selección de especies: durante el recorrido se seleccionaron los géneros perennes como *Agave*, *Opuntia*, *Ferocactus* y *Mammillaria*, ejemplares que se presentan en el área deteriorada del Parque y que son nativas por lo que están adaptadas a estas condiciones y es más fácil su supervivencia; son resistentes a la sequía edáfica y a condiciones climáticas extremas, con reproducción vegetativa por lo que se recomiendan para emplearlas en la recuperación de la cubierta vegetal (Pérez y Rodríguez, 2010).

6.5 Evaluación del porcentaje de vegetación: Se hizo por el método de Línea (Canfield, 1941) de 10 metros en cada zona de estudio. En las líneas de muestreo, se procedió a contar todas las intercepciones o proyecciones de las plantas (ramas, tallos, hojas, flores) sobre la línea y se registró la información.

6.6 Localización de las zonas de estudio:

Zona A: Presenta una inclinación de 9°, 2423 msnm, 20°05.746' latitud N y 98°44.113' longitud W (Figura 6).

Figura. 6 Vista panorámica de la Zona Alta (ZA)



Zona B: Presenta una inclinación de 7° , 2424 msnm $20^\circ 05.731'$ latitud N y $98^\circ 44.125'$ longitud W (Figura 7).



Figura. 7 Vista panorámica de la Zona Baja (ZB)

Zona C: Presenta una inclinación de 7° , 2424 msnm, $20^\circ 15.8041'$ latitud N y $98^\circ 44.152'$ longitud W (Figura 8).



Figura. 8 Vista panorámica de la Zona media (ZC)

6.7 Implementación de las técnicas de bioingeniería

6.7.1 Técnica para recuperación de vegetación

- **Posaderos artificiales**

25

Se emplearon tres varas de bambú seco (1.0 metro de alto) en forma de tripie, en la parte superior se colocaron frutos de colores llamativos con el objeto de llamar la atención de las aves y estas excreten y cumplen la función de propagadores (Figura 9). En la parte inferior se removió el suelo con el fin de que las semillas que contienen las excretas pudieran germinar germinen (Tres y Reis, 2007). El área de influencia fue de 0.5 m².



Figura. 9 Establecimiento del posadero

6.7.2 Técnicas para recuperación de suelo

- **Zanjas o canales**

Se construyeron, en las tres zonas de trabajo (Figura 10), de manera perpendicular a la pendiente por donde escurre el agua de lluvia, con una profundidad de 15 cm y 20 cm de ancho, con el fin de retener suelo y disminuir la velocidad del agua en época de lluvias y controlar la erosión (Francke *et al.*, 1998, 1999; FAO, 2000).



Figura. 10 Elaboración de la Zanja

- **Barrera de rocas**

Esta técnica se realizó en los canales que se formaron en la cárcava de las zona A y B (Figura 11), las cuales presentaba una longitud de 18 m y un ancho de 11.5 m, las rocas se colocaron de manera perpendicular a la caída del agua (Francke *et al.*, 1998).



Figura. 11 Distribución de las
Barreras de rocas

- **Dique en la cárcava**

En las zonas de trabajo, los diques son cavidades que se formaron por la pérdida del suelo, generalmente de menos de 1 m de profundidad (Figura 12), con un diámetro de entre 1.0 y 1.3 m, en el fondo de estos, se colocaron costales de yute para evitar pérdida de suelo, retener humedad, los cuales fueron fijados con rocas. En la Zona B se trasplantaron cuatro especies nativas y en la Zona C tres especies.



Figura. 12 Diques en la cárcava donde se muestra la entrada y la salida.

- **Acolchado**

La técnica de los acolchados (Figura 13) sirve para retener suelo y proporcionar humedad a las plantas que se les colocaron; estos se realizaron en zonas con un alto grado de erosión. Para su elaboración se removió un poco de suelo, se realizó una cavidad y se trasplantó una especie perenne y se cubrió con el yute, el cual se fijó al suelo con estacas.



Figura. 13 Implementación de los acolchados

En todas las técnicas se evaluó periódicamente la cantidad de suelo retenido, el crecimiento de los individuos trasplantados y la presencia de plantas acompañantes.

6.8 TRABAJO DE LABORATORIO

Se analizaron los siguientes parámetros del suelo análisis físicos y químicos del suelo: Densidad Aparente, Densidad Real, Textura, pH, % de Materia Orgánica, Conductividad Eléctrica, Color, Nitrógeno total, Retención de humedad, Fósforo, Potasio, Calcio y Magnesio (NOM-021 RECNAT-2000), para evaluar posibles cambios después de un año de aplicar las técnicas de bioingeniería.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Parámetros físicos: El suelo de las tres zonas de estudio (Cuadro 1), de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000 presentó los siguientes resultados: en la **Densidad Aparente (DA)** (Cuadro 1) se presentan valores semejantes a los de suelos cultivados de textura migajonosa que es de 1.3 g/cm, en este trabajo los valores están en un rango de 1.06 a 1.23 g/cm, por lo que la penetración de raíces es más fácil y aumenta la capacidad de almacenar agua en su zona radicular. Los valores obtenidos para la **Densidad Real (DR)** son ligeramente menores (2.07 a 2.52 g/cm) a los de la mayoría de los suelos (2.6-2.75 g/cc), debido a la presencia de materia orgánica; las densidades varían en todos los suelos dependiendo de su composición mineralógica (López-Fando y Pardo, 2009 y Abanda *et al.*, 2011), estos valores de densidades permiten la presencia de algunas especies vegetales. Estos resultados se complementan con los valores obtenidos en el % de Espacio Poroso (Cuadro 1), donde hay variaciones para las tres zonas (ZA= 51.06 %; ZB= 48.74 %; y ZC= 49.79 %) y estos valores indican que son suelos con buena aireación.

En la **Clase Textural** (Cuadro 1) se observa que el suelo de la ZA es franco, a diferencia de la ZC y ZB donde se presenta una textura arenosa.

La **Retención de Humedad** (Cuadro 1) es un factor importante, en las diferentes zonas de estudio por que nos indica que la humedad es baja al iniciar el experimento (ZA= 17.48 %; ZB= 17.71 %; ZC= 20.10 %), aumenta muy ligeramente al finalizar el experimento (ZA=21.63%; ZB=21.91%; ZC=24.57%), variando en promedio 3.5% para las tres zonas, debido principalmente a las técnicas de bioingeniería que se implementaron con geotextiles (yute), la recuperación de los ambientes semiáridos degradados, puede ser optimizada utilizando técnicas basadas en el propio funcionamiento de los ecosistemas (Maestre *et al.*, 2003).

CUADRO 1. Parámetros físicos del suelo de las tres zonas de estudio
(Parque Ecológico Cubitos Pachuca, Hidalgo).

Parámetros Físicos									
	ZA			ZB			ZC		
	Inicio	Final		Inicio	Final		Inicio	Final	
DR (g/cc)	2.52			2.07			2.19		
DA (g/cc)	1.23			1.06			1.10		
% EP	51.06			48.74			49.79		
Retención de humedad (%)	17.48	21.63		17.71	21.91		20.10	24.57	
% partículas	Arcilla 13.8	Limo 31	Arena 55.2	Arcilla 12.8	Limo 24.28	Arena 62.92	Arcilla 12.8	Limo 26	Arena 61.2
Clase Textural	Franca			Franca Arenosa			Franca Arenosa		
Color	Seco	Húmedo		Seco	Húmedo		Seco	Húmedo	
	Gris Rojizo	Gris Rozado		Castaño rojizo	Rojo Amarillento		Castaño	Castaño Oscuro	

Nota: ZA= Parte Alta de la cárcava; ZB= Parte Baja de la cárcava; ZC= Parte media de una cárcava

7.2 Parámetros químicos: al inicio del trabajo, el **pH** de los suelos va de medianamente alcalino (ZA y ZC) a fuertemente alcalino (ZB) para las tres zonas de estudio y al finalizar el experimento hay una ligera disminución de este (ZA = 7.59; ZB = 7.54; ZC = 7.47), con suelos medianamente alcalinos para las tres zonas; la tendencia a que el pH disminuya ligeramente, se debe a la liberación de exudados de la rizósfera de las especies trasplantadas que generalmente son ácidos (Shen *et al.*, 2001); en otros sitios semiáridos el pH puede ser moderadamente ácido (5.1), (Hagos *et al.*, 2005, López-Fando y Pardo, 2009) o estar en un rango de Neutro a Básico (7.5-8.3) (García *et al.*, 2005).

En cuanto a la **Conductividad Eléctrica (CE)** se observó que al inicio del desarrollo del trabajo (cuadro 2), para las tres zonas se presentaron los siguientes valores ZA = 0.31 dS/m; la ZB = 0.34 dS/m; la ZC = 0.26 dS/m y al término del experimento, tanto la ZA (0.19 dS/m) como la ZB (0.28 dS/m) presentan una ligera disminución en la conductividad, aunque en la ZC hay un ligero aumento (0.29 dS/m), todos los valores están dentro del rango de efectos despreciables de la salinidad, de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000.

El porcentaje de **Materia Orgánica (MO)**, de acuerdo a la NOM -021-RECNAT-2000, es muy bajo al inicio del experimento (Cuadro 2), para las tres zonas de estudio (ZA = 0.45 %; ZB = 0.27 %; y ZC = 0.40 %), al año se observó un porcentaje medio en las tres zonas (ZA = 3.66 %; ZB = 2.85 %; y ZC = 3.18 %); lo cual se debe a las plantas trasplantadas y las plantas acompañantes que aparecieron durante el desarrollo del trabajo (Figuras 19, 21, 22 y 23), ya que estas tienen una influencia considerable en la cantidad de exudados que producen (García *et al.*, 2005; Yüksek y Yüksek, 2011 y Thapa,

2003) al igual que los restos de plantas y animales que recibe el suelo al ser transportados por el viento y el agua, lo que permite el aumento en la materia orgánica (Caravaca *et al.*, 2002 b; Yüksek y Yüksek 2011); esto es de gran importancia ya que en las regiones semiáridas, el % de materia orgánica tiende a ser muy bajo (García *et al.*, 2000; García *et al.*, 2005). Albaladejo *et al.*, (1993) mencionan que una disminución de Materia Orgánica en el suelo puede ser acompañada de un deterioro de la estructura, un aumento de la Densidad Aparente y una disminución de la Conductividad Eléctrica.

Nitrógeno (N), de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000 se determinaron valores pobres en Nitrógeno (Cuadro 2) en el primer análisis, y para el segundo análisis el nitrógeno no se detectó, (ZA = 0.17 %; ZB = 0.17 %; ZC = 0.18 % al inicio). (ZA = ND; ZB = ND; ZC = ND al finalizar). **Fósforo (P)** se encuentra en una concentración media para las zonas A y C, pero es alta para la Zona B al iniciar el experimento, (ZA = 9.08 mg Kg⁻¹; ZB = 11.11 mg Kg⁻¹ y ZC = 10.68 mg Kg⁻¹) y al finalizar, las concentraciones son altas para las tres Zonas (ZA = 13.09 mg Kg⁻¹; ZB = 15.05 mg Kg⁻¹ y ZC = 20.19 mg Kg⁻¹), es importante considerar los nutrientes como los Nitratos, Fosforo; Aniones, cationes y algunos elementos traza que son esenciales para la nutrición de las plantas y estos solo estarán disponibles cuando la materia orgánica se descomponga, de tal manera que estén accesibles a las plantas (Hagos *et al.*, 2005). López-Fando y Pardo, (2009) mencionan que se debe considerar que en algunos suelos de zonas semiáridas el pH se presenta ácido o ligeramente ácido donde encuentran que el N (2.28 mg Kg⁻¹) y (P 2.69 mg Kg⁻¹) son abundantes (Tessema *et al.*, 2011)

El **Calcio (Ca)** (Cuadro 2) al inicio del análisis de suelo la concentración es muy baja en dos de las tres zonas A y B pero es bajo para la zona C, (ZA = 1.91 Cmol Kg⁻¹; ZB = 1.54 Cmol Kg⁻¹ y ZC

= 2.04 Cmol Kg⁻¹), al finalizar el experimento las concentraciones de Ca disminuyen en las tres zonas (ZA = 0.25 Cmol Kg⁻¹; ZB = 0.28 Cmol Kg⁻¹ y ZC = 0.46 Cmol Kg⁻¹) de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000, lo que nos puede indicar que este es absorbido por las plantas (Barros *et al.*, 2005; Tessema *et al.*, 2011), semejante a lo encontrado en otros trabajos realizados en suelos semiáridos de Brasil y Etiopía.

El **Magnesio (Mg)** de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000, al inicio del experimento presenta una concentración baja para dos de las tres zonas (ZA = 0.86 Cmol Kg⁻¹; y ZB = 0.88 Cmol Kg⁻¹), para la tercer zonas la concentración es media (ZC = 1.44 Cmol Kg⁻¹) (cuadro 2) y al finalizar el experimento la concentración disminuye a muy baja en las tres zonas (ZA = 0.17 Cmol Kg⁻¹; ZB = 0.16 Cmol Kg⁻¹ y ZC = 0.27 Cmol Kg⁻¹), estos últimos valores son similares a lo determinado por Barros *et al.*, 2005 en suelos semiáridos de Brasil, Mg (0.2 Cmol Kg⁻¹), a diferencia de Tessema *et al.*, (2011), que dan valores de Magnesio 28.4 Cmol/Kg, en regiones semiáridas de la Savana de Etiopía.

El **Potasio (K)** (cuadro 2) de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000 presenta concentraciones medias para las tres zonas (ZA = 0.35 Cmol Kg⁻¹; ZB = 0.58 Cmol Kg⁻¹ y ZC = 0.47 Cmol Kg⁻¹) y al final del experimento la concentración de la zona Z es baja, para la zona B es muy baja y para la zona C la concentración no varía, es media (ZA = 0.26 Cmol Kg⁻¹; ZB = 0.15 Cmol Kg⁻¹ y ZC = 0.31 Cmol Kg⁻¹), a diferencia de lo encontrado por Barros *et al.*, 2005 que determina valores inferiores de K (0.07 CmolKg⁻¹) en suelos semiáridos de Brasil y contrario a lo que reporta Tessema *et al.*, (2011), donde el Potasio es alto en comparación a lo determinado por este trabajo(2.1 Cmol/Kg⁻¹), en regiones semiáridas de la Savana de Etiopía. No así para el Sodio (Na) en donde no se pudo determinar ya que las

concentraciones que se presentan en el suelo de esta zona de estudio son relativamente bajas y no logran ser detectadas por el método de absorción atómica al inicio, pero al finalizar la concentración del sodio tuvo un ligero aumento y se logró determinar su concentración para las tres zonas (ZA = 0.09; ZB = 0.51; ZC = 0.37), los valores determinados por este trabajo son mayores a los reportados por Barros *et al*, 2005 donde presentan valores bajos en suelos semiáridos de Brasil (0.02 CmolKg⁻¹), a diferencia de Tessema *et al.*, (2011), en regiones semiáridas de la Savana de Etiopia.

CUADRO 2. Parámetros Químicos del suelo de las tres zonas de estudio
(Parque Ecológico Cubitos Pachuca, Hidalgo).

Parámetros Químicos						
	ZA		ZB		ZC	
	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final
pH	8.22	7.59	8.76	7.54	8.37	7.47
CE (dS/m)	0.31	0.19	0.34	0.28	0.26	0.29
MO (%)	0.45	3.66	0.27	2.85	0.40	3.18
N (%)	0.179	ND	0.170	ND	0.184	ND
P (mg Kg ⁻¹)	9.08 [] medio	13.09 [] alto	11.11 [] alto	15.05 [] alto	10.68 [] medio	20.19 [] alto
Ca (Cmol Kg ⁻¹)	1.91 [] muy baja	0.25 [] muy baja	1.54 [] muy baja	0.28 [] muy baja	2.04 [] baja	0.46 [] muy baja
Na (Cmol Kg ⁻¹)	ND	ND	ND	0.51	ND	0.37
Mg (Cmol Kg ⁻¹)	0.86 [] baja	0.17 [] muy baja	0.88 [] baja	0.16 [] muy baja	1.44 [] media	0.27 [] muy baja
K (Cmol Kg ⁻¹)	0.35 [] media	0.26 [] baja	0.58 [] media	0.15 [] muy baja	0.47 [] media	0.31 [] media

Nota: ZA= Parte Alta de la cárcava; ZB= Parte Baja de la cárcava; ZC= Parte media de una cárcava. ND=no detectado.

7.3 Evaluación de la erosión

Con el método de las corcholatas y el método modificado con reglas se determinó que la pérdida de suelo, en promedio, es de 6 cm de suelo/año en suelo sin vegetación y de 2 cm de suelo/año en suelo semi cubiertos, esto demuestra que la cubierta vegetal es un factor fundamental para la retención de suelo y humedad, que a su vez controla la pérdida de suelo (Lin *et al.*, 2008).

La erosión del suelo decrece con el incremento en la cubierta vegetal, el crecimiento de las plantas y el desarrollo de la vegetación depende de factores climáticos condiciones del suelo, tipo de uso de suelo, (Wang y Wang, 1999). La vegetación es un efectivo control en la erosión (Gabet *et al.*, 2003; Zhang *et al.*, 2004, 2005 y 2006).

7.4 TÉCNICAS DE BIOINGENIERÍA

7.4.1 Posaderos artificiales

Se colocaron posaderos artificiales en cada una de las zonas de estudio con el propósito de ayudar a la recuperación de la vegetación por medio de las semillas contenidas en las excretas de las aves (Figura 14).



Figura. 14 Posaderos situados en cada zona de estudio.

Los posaderos no tuvieron los resultados deseados debido a las condiciones climáticas, estos fueron abatidos por los fuertes vientos de la zona (Figura 15).



Figura. 15 Posaderos tirados por el viento

7.4.2 Zanjas o canales

En la Figura 16, se observa la acumulación de materiales disgregados (clastos) en las zanjas de las tres zonas, en la Zona A se observa una retención de 12 cm, a diferencia de la Zona C, donde solo se retuvieron 4.5 cm; en la Zona B, en el canal que se realizó, se colocó yute para protección de los magueyes trasplantados y sobre este se acumularon cinco centímetros de clastos.

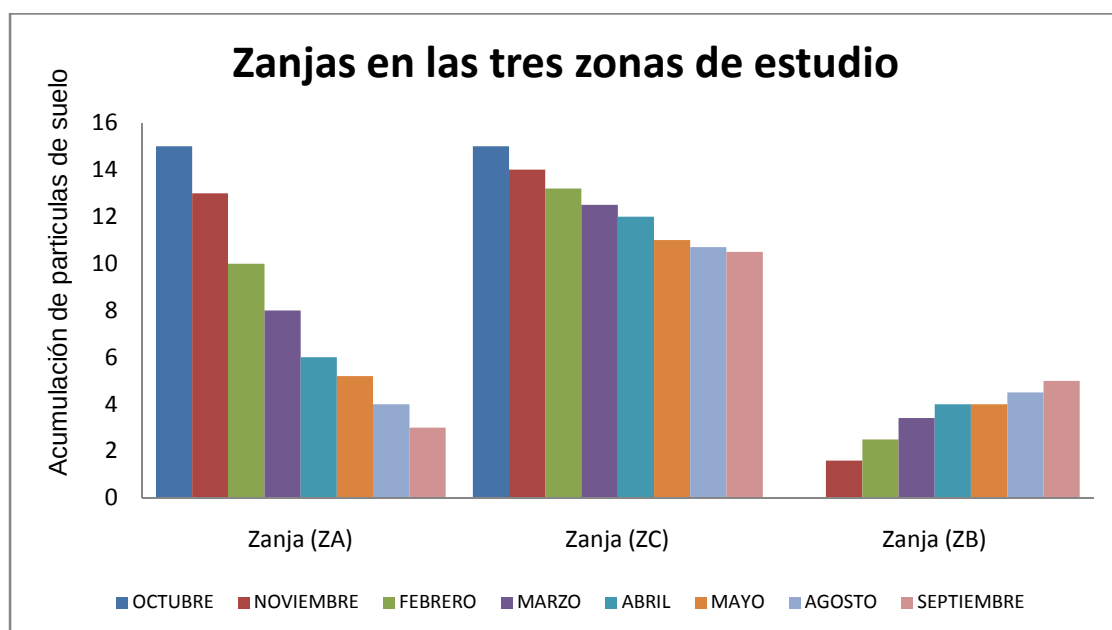


Figura. 16 Acumulación de materiales disgregados (clastos) en las zanjas de las tres zonas de estudio

En la Zona A, se observó una reducción en la profundidad de la zanja, de 15 cm a tres cm, por la acumulación de clastos provenientes de las laderas altas y arrastrado por el viento y agua (Figura 17); lo que propició la presencia de pastos (*Hordeum jubatum* L.) principalmente y una crasulácea (*Sedum calcaratum* Rose) (Pérez y Rodríguez, 2010).



Figura. 17 Zanja en la ZA, presencia de plantas y acumulación clastos.

En la Zona C la zanja con una profundidad de 15 cm, al año solo retuvo 4.5 cm de clastos, debido principalmente a que el arrastre de agua y el viento es más fuerte en la ZA, además el suelo es más compacto en esta Zona, y esto no permitió que este se acumulara en mayor cantidad, las plantas que se encontraron en la época de lluvias fueron *Boerhavia diffusa* L. y *Zaluzania augusta* Sch. Bip (Pérez y Rodríguez, 2010) (Figura 18).



Figura. 18 (a) Zanja en la ZC y (b) la presencia de plantas acompañantes.

En la parte baja de la Zona B (Figura 19) se realizó un pequeño canal de 10 cm de profundidad para detener el flujo del agua, en este se trasplantaron tres agaves, y se colocó el yute sobre ellos sujeto con estacas de madera para evitar su remoción.

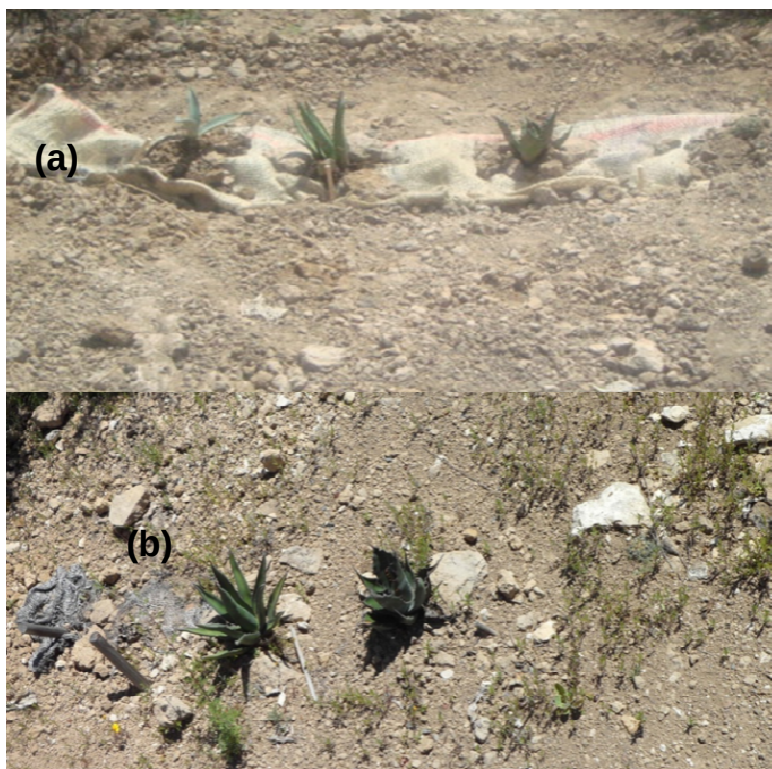


Figura. 19 (a) Zanja de la ZB con agaves trasplantados.

(b) Presencia de plantas acompañantes en la Zanja de la ZB.

Con esta técnica se retuvieron 5 cm de clastos y en época de lluvias se encontraron *Verbena canescens* Kunth, *Chrysanthemum coronarium* L. (Pérez y Rodríguez, 2010), solo uno de los individuos trasplantados presentó deterioro por herbivoría.

7.4.3 Barreras de Rocas

En la Zona A se colocaron las barrera de rocas cada 30 cm, en la temporada de lluvias se presentaron algunas plantas acompañantes como son *Chrysantemum coronarium* L, pastos (*Hordeum jubatum* L.) (Pérez y Rodríguez, 2010) (Figura 20).



Figura. 20 Represa de Rocas en la ZA y plantas nativas.

Otras barreras (Figura 21) fueron colocadas en las zanjas de la cárcava de la ZA y llegan hasta la parte alta de la ZB; las rocas fueron instaladas cada 40 cm de manera perpendicular al flujo del agua, de una forma escalonada y en una de las barreras se trasplantó un *Opuntia*.



Figura. 21 Represa de rocas entre las zonas A y B, la presencia de plantas acompañantes.

En promedio se retuvieron 5 cm y 4 cm de suelo/año (Figura 22) respectivamente, ya que las barreras propiciaron que el agua y el viento que pasa por las zanjas deje parte de las partículas de suelo que arrastra en ellas, y al presentarse estos obstáculos, la materia orgánica queda retenida, el suelo lleva algunas semillas que la humedad permite que germinen, protegidas por la sombra de las rocas y así la vegetación empezará a recuperarse en estos puntos.

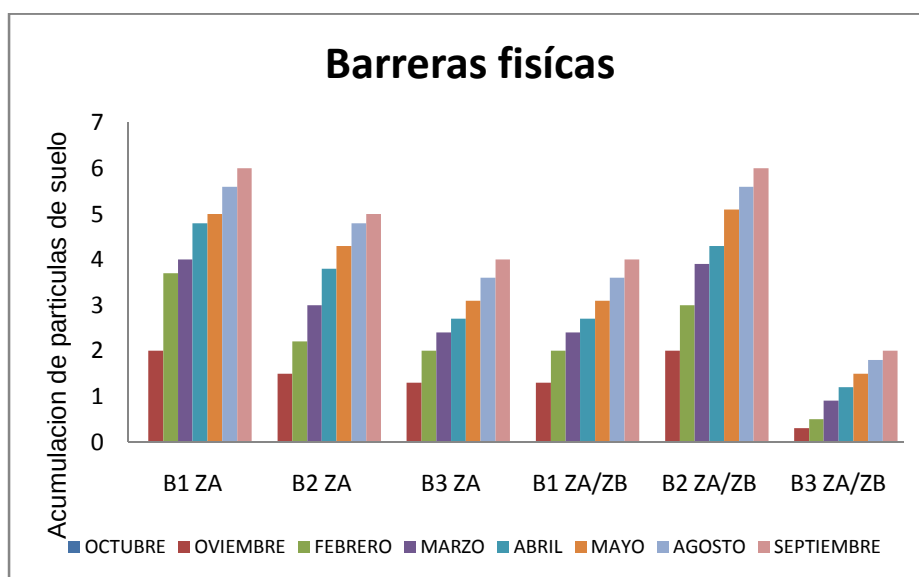


Figura. 22 Acumulación de materiales disgregados (clastos) en las barreras de rocas de la ZA y entre ZA/ZB; B=barrera de Rocas.

En la ZA (Figura 20 y 22) se observa que en las barreras de rocas la acumulación de clastos fue mayor en la B1 (6 cm) que en la B3 (4 cm), a diferencia de la acumulación de partículas disgregadas entre las Zona A y Zona B (ZA/ZB), donde en B1 fue de 4 cm y en B2 6 cm, esto debido a que en esta última se trasplantó un opuntia lo que ayudó a una mayor acumulación, a diferencia de la B3 ZA/ZB en la cual solo se registró una acumulación de 2 cm de clastos, debido a que la profundidad de la zanja donde se colocó era de solo 5 cm, a diferencia de la B2 ZA/ZB con 10 cm de profundidad (Figura 21).

7.4.4 Diques

CUADRO 3. Crecimiento de los individuos trasplantados a la Zona B y Zona C.

Zonas	OCTUBRE	NOVIEMBRE	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
ZB (1) N1	11	12	12	13	16	17	19	19
ZB (1) N2	3	5	10	12	15	16	17	19
ZB (1) N3	11	0	0	0	0	0	0	0
ZC (1) N	13	12	14	14	15	16	16	17
ZB (1) M1	14	16	14	14	14	15	15	16
ZB (1) M2	13	12	12	12.5	13	13	13	13
ZB (1) M3	6	7	7	7	8	9	10	12
ZB (3) M	20	20	20	21	21	21	22	22
ZC (1) M1	12	12	12	13	13	14	15	15
ZC (2) M2	10	10	10.5	11	11	11.5	12	12
ZC (2) M1	18	18	19	19	20	20.5	21	21
ZB (1) C	7	7	7	6	6	0	0	0
ZC (1) C	6	6	6	7	7	7.5	8	8
ZB (2) F1	15	14	14	14	14	15	15	15
ZB (2) F2	12	12	12	12	12	13	13	13

N, N1, N2, N3= nopal; M, M1, M2, M3=maguey; C=cactus; F=ferocactus; (1)=Dique 1; (2)= Dique 2; (3)= Dique 3

Para la Zona B se realizaron tres diques en el 1: se trasplantó un agave, en el 2: dos ferocactus y en el 3: tres nopales, dos agaves y una mamilaria (Figura 23), cada una de estas especies se cubrió con un acolchado y se rodeo por una barrera de rocas y en temporada de lluvias se presentaron las siguientes plantas acompañantes encada uno de los diques, hongos, pastos *Hordeum jubatum* L,

Chrysanthemum coronarium L, *Sedum calcaratum* Rose (Pérez y Rodríguez, 2010).



Fig. 23 (a) Diques en la ZB al inicio y (b) presencia de plantas acompañantes al final del experimento.

Al cabo de un año, las especies crecieron 3 cm en promedio/año (Cuadro 3) y hubo una acumulación de materiales disgregados de 5 cm.



Fig. 24 Diques colocados en la ZC y la presencia de plantas acompañantes alrededor de los diques.

Para la Zona C se colocaron dos diques (figura 24), en el 1: se trasplantaron dos agaves; en el 2: un agave, un nopal y una mamilaria.

Los individuos presentaron un crecimiento de 2 cm en 12 meses (Cuadro 3), además hubo una acumulación de partículas disgregadas de 4 cm, ya que los diques se emplearon como un control parcial (Hudson, 1982), para evitar que se continúen erosionando las cárcavas, la implantación de una cubierta vegetal puede frenar su progresión (Navarro *et al.*, 2012; Mongil *et al.*, 2012).

El acolchado que se colocó en los diques favoreció que las raíces de las plantas estén protegidas y húmedas lo que permitió su desarrollo y establecimiento en el suelo deteriorado (Li *et al.*, 2000), esto se notó por la presencia de plantas acompañantes, ya que el sistema radical contribuye a fortalecer el suelo, a la estabilidad estructural (Márquez *et al.*, 2004), a la infiltración (Joseph *et al.*, 2003); se considera que la reducción en la pérdida de suelo por la vegetación es resultado de una combinación entre las raíces y los tallos de las plantas (Zhuo y Shangguan, 2007) pues reduce el impacto de las gotas de agua en el suelo; también permite que el suelo se pierda menos debido a que atrapan las partículas, facilitando la estabilidad de los agregados para reducir la erosión (Wu *et al.*, 2000; Joseph *et al.*, 2003).

Se debe resaltar que dentro de los diques se encontraron heces fecales de animales con semillas, por lo que en la temporada de lluvias, se observó el crecimiento de plantas herbáceas acompañantes como: *Chrysanthemum coronarium* L., *Verbena canescens* kunth, *Solanum heterodoxum* Dual (Pérez y Rodríguez, 2010), las cuales han ayudado a una mayor retención de clastos y en la época de lluvias se encontraron hongos en a ZB y ZC, esto es un buen indicador del funcionamiento de la técnica (Rivera *et al.*, 2008; Bravo-Espinosa *et al.*, 2007; Pathak *et al.*, 2005; De Baets *et al.*, 2006), además de considerar que algunos de los individuos trasplantados presentaron floración e hijuelos lo que nos indica que

se están estableciendo los ejemplares, aunque hubo ciertas pérdidas de algunos individuos (Cuadro 3).

7.4.5 Acolchados

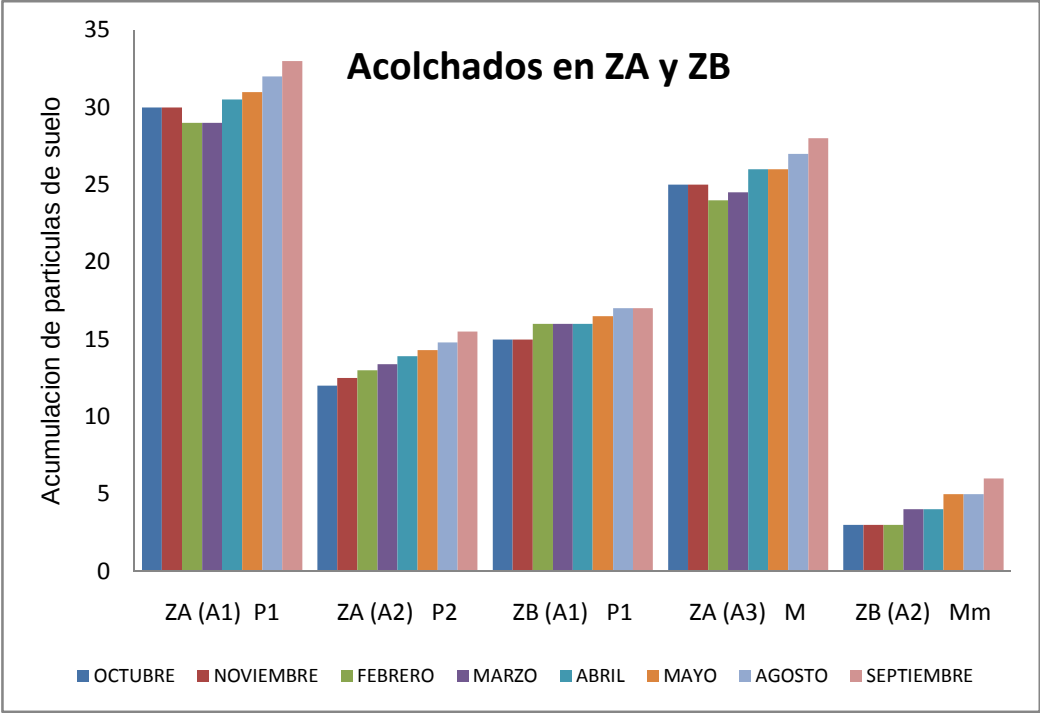


Figura 25. Acolchados de la ZB, Crecimiento de los individuos trasplantados; A1, A2, A3=Acolchado; P=pasto; M=maguey; Mm=mamilaria.

En la Zona A se colocaron tres acolchados, en el acolchado 1 y 2: se trasplantó pasto (*Bouteloua*), en el acolchado 3: un agave (Figura 25 y 26).



Fig. 26 Acolchados en la ZA, con retención de materiales disgregados y la presencia de algunas plantas acompañantes.

Después de un año se observó un crecimiento de 3 cm en el pasto y 2 en el agave y una retención de 2 cm de partículas de suelo en algunos acolchados y la presencia de plantas acompañantes como *Jatropha dioica* Cerv., *Bidens odorata* Cav., *Chrysanthemum*

coronarium L. y *Loeselia glandulosa* G. Don. (Pérez y Rodríguez, 2010) alrededor y sobre el acolchado; ya que se presenta una sedimentación de las partículas y el crecimiento de vegetación nativa (Bravo-Espinosa *et al.*, 2007; Pathak *et al.*, 2005; De Baets *et al.*, 2006).

En la Zona B se colocaron dos acolchados, en uno se trasplantó pasto (*Bouteloua*) y en el otro una mamilaria (Figura 27).

En el acolchado del pasto navajita se acumuló un promedio de 4 cm de clastos, lo que propició que el yute casi se cubriera por completo y permitió que algunas de las semillas del banco (cuatro) germinaran a través de la malla (Figura 26 y 28).

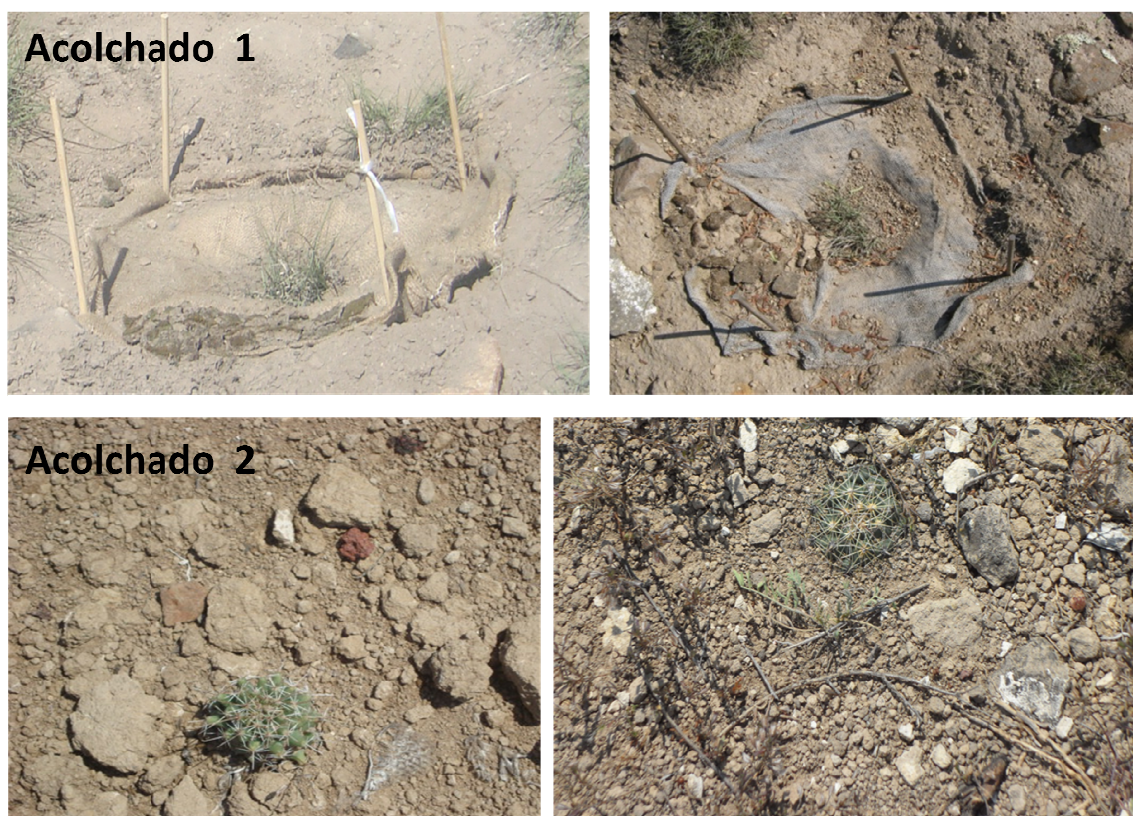


Figura. 27. Acolchados de la ZB con acumulación de materiales disgregados y algunas plantas acompañantes.

En la figura 23 y 24 se puede observar el crecimiento registrado que presentaron los individuos trasplantados, ya que el acolchado favorece que las raíces de las plantas estén protegidas y húmedas para permitir su desarrollo y establecimiento (Li *et al.*, 2000), el sistema radical contribuye a fortalecer el suelo, a su estabilidad estructural (Márquez *et al.*, 2004), a la infiltración (Joseph *et al.*, 2003); se considera que la reducción en la pérdida de suelo por la presencia de vegetación, es resultado de una combinación entre las raíces y los tallos de las plantas (Zhuo y Shangguan, 2007) ya que reducen el impacto de las gotas de agua en el suelo y ayudan a que este se pierda menos debido a que atrapan sus partículas facilitando la estabilidad de los agregados para reducir la erosión (Wu *et al.*, 2000; Joseph *et al.*, 2003), al emplear el acolchado de paja se ha llegado a recuperar hasta un 40% de vegetación nativa (Badía y Martí 1994); cuando se usan los geotextiles orgánicos y la revegetación, se ha llegado a cubrir hasta el 100% del suelo erosionado (Navarro *et al.*, 1997).

7.5 Cubierta Vegetal

CUADRO 4. % de Cubierta Vegetal, caracterización del suelo del Parque Ecológico Cubitos Pachuca, Hidalgo

% de Cubierta Vegetal						
% Cubierta Vegetal	ZA		ZB		ZC	
	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final
	3.54	52.25	20.51	60.66	15.57	63.93

En las tres zonas de estudio se determinó el % de Cubierta Vegetal (CV) (Cuadro 4), la ZA fue una de las zonas que presentó un porcentaje menor (3.54%), en comparación con la ZB (20.51%) y la ZC (15.57%). Al concluir el experimento, un año después, se

observó que la cubierta vegetal aumentó en promedio un 45% para las tres zonas, debido principalmente a las plantas herbáceas que se desarrollaron en las técnicas de bioingeniería aplicadas, por lo que se presenta una disminución de los nutrientes (Hagos *et al.*, 2005; Richter, *et al.*, 2001); la conservación del suelo no solo depende del incremento de la cubierta vegetal sino también y más importante, del desarrollo de una estructura estratificada compleja, especialmente cerca de las capas cercanas al suelo (Wang *et al.*, 2001; Wu y Zhao, 2001).

Rey (2003) y Martínez-Casas novas *et al.* (2009) señalan que cuando el lecho de las cárcavas tienen una cubierta de vegetación superior al 30 % éstas resultan casi inactivas o explican bajas tasas de erosión (Cantón *et al.*, 2001), en este proyecto se llegó a obtener más del 50%.

Se debe considerar que las técnicas de bioingeniería se han empleado principalmente en el control de las riberas de ríos y laderas de zonas boscosas, de zonas templadas, subtropicales y tropicales, donde las plantas empleadas crecen más rápido; existen muy pocos trabajos de su empleo en zonas semiáridas, en donde la erosión es mayor debido a que es muy difícil y tardada la recuperación de la vegetación, aunque al utilizar especies nativas, no sólo se mitiga y/o reduce el deterioro, sino además se contribuye a la sustentabilidad de diversas cadenas productivas (Melgoza *et al.*, 2007; Sánchez *et al.*, 2005).

VIII. Conclusiones

- El análisis físico del suelo muestra que las tres zonas son apropiadas para soportar vegetación, ya que el suelo va de franco a franco arenoso y pH entre 7.47 y 8.76 y espacio poroso por arriba del 45%.
- La materia orgánica aumentó en un porcentaje mayor al 50% del inicial debido a la presencia de hojarasca y raíces de las plantas trasplantadas y acompañantes.
- El fósforo aumentó su concentración en 6 mg kg^{-1} , a diferencia del K y N que disminuyen por la absorción de las plantas.
- Se determinó una pérdida de suelo de 6 cm al año en suelo sin vegetación por el método de las corcholatas y reglas.
- Las técnicas de bioingeniería como las barreras de rocas, diques y zanjas fueron los más efectivos en el control de la erosión ya que en promedio retuvieron 5 cm de materiales disgregados, a diferencia de los 2 cm de retención en los acolchados.
- Los acolchados ayudaron a la presencia cuatro especies (*Chrysanthemum coronarium*, *Jatropha dioica* Cerv., *Solanum heterodoxum* Dual, *Zaluzania augusta* Sch. Bip) de plantas acompañantes, más que en diques, barreras y zanjas.
- En todas las técnicas se observó la presencia de excretas con semillas y 12 especies de herbáceas como plantas acompañantes, lo cual indica que están funcionando y con el tiempo se logrará recuperar la vegetación nativa.

- El % de cubierta vegetal aumentó en un promedio de 45%
- La hipótesis se cumplió ya que el empleo de técnicas de bioingeniería permiten la recuperación de las partículas que llegan a formar suelo y la cubierta vegetal y son acordes con el ambiente.

IX. Referencias

- Aashto–AGC–ARTBA., 1990. Guide specifications and test procedures for geo-textiles. Task Force 25 Report, Subcommittee on New Highway Materials. Washington, D.C.
- Albaladejo, J., 1993. Estimating erosion rates field experiments. In Fantechi, R., Peter, D., Balabanis, P., Rubio, J. L. (Eds.), Desertification in a European Context Physical and Socio-Economic Aspects Proceedings of the European School of climatology and natural hazards course. Preceptorate General Science, Research and Development, Brussels, pp 279-292.
- Albaladejo, J., Martinez-Mena, M., Castillo, V., 1994. Changes in soil physical properties induced by soil degradation. Transaction of the 15th World Congress of Soil Science, Mexico, vol. 2b. ISSS, Acapulco, Mexico.
- Baldía Villas, D., Marti Dalmau, C. 1994. Mejora del valor pastoral y medio-ambiental de zonas semiáridas degradadas mediante técnicas de revegetación, remicorrización y acolchado, II. Aplicación en suelos margosos. Instituto de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. España. En: www.dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/1112608.pdf. Consultado el 20 marzo de 2013.
- Barros, I., Williams, J.R., Gaiser, T., 2005. Modeling Soil Nutrient limitations to Crop Production in Semiarid NE of Brazil White a Modified EPIC Version II181: 567-568.
- Bechara, F.C., 2006. Unidades Demostrativas de Restauración Ecológica a Través de Técnicas Nucleadoras: Floresta Estacional Semi Residual, Cerrado e Restinga. Piracicaba, Sao Paulo.
- Bhattacharyya, R., Fullen, M. A., Davies, K., Both, C. A. 2010. Use of palm-mat geotextiles for rains splash erosion control.
- Block, D., 2000. Controlling erosion from highway projects, Biocycle 41 (1) 59 -62.
- Boix-Fayos, C., 1999. Procesos Geomórficos en diferentes condiciones ambientales mediterráneas: el estudio de la agregación y la hidrología de los suelos. UniversitatdeValencia, 84-370-4321-2.

- Boix-Fayos, C., Calvo-Cases, A., Imeson, A.C., Soriano-Soto, M.D., Tiemessen, I.R., 1998. Spatial and short-term temporal variabilities of soil properties along a Mediterranean climatologically gradient in Alicante Spain. *Catena* 33, 123–138.
- Boix-Fayos, C., Calvo-Cases, A., Imeson, A.C., Soriano-Soto, M.D., 2001. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. *Catena* 44, 47–67.
- Boix-Fayos, C., Martínez-Mena, E., Arnau-Rosalén, A., Calvo-Cases, V., Castillo, J., Albaladejo, 2006. Measuring soil erosion by field plots: Understanding the sources of variation. *Earth-Science Reviews* 78:267–285.
- Boix-Fayos, C., Martínez-Mena, M., Calvo-Cases, A., Castillo, V., Albaladejo, J., 2005. Concise review of interrill erosion studies in SE Spain (Alicante and Murcia). Erosion rates and progress of knowledge in the last two decades. *Land Degradation and Development* 16, 517–528.
- Bravo-Espinosa M., Mendoza, M.E., Medina-Orozco, L. y Sáenz-Reyes, T., 2010, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. UNAM.
- Buringh, P., 1989. Availability of 25 agricultural land for crop and livestock production. In: Pimentel, D., Hall, C.W. (Eds.), *Food and Natural Resources*. Academic Press, London, pp. 70–83.
- Calvo-Cases, A., Boix-Fayos, C., Imeson, A.C., 2003. Runoff generation, sediment movement and soil water behaviour on calcareous limestone slopes of some Mediterranean environments in southeast Spain. *Geomorphology* 50, 269–291.
- Cammeraat, L.H., 2002. A review of two strongly contrasting geomorphological systems within the context of scale. *Earth Surface Processes and Landforms* 27, 1201–1222.
- Canfield, R. (1941). Application of the line interception method in sampling range vegetation. *J. Forest. (Washington)* 39: 388–394.

- Cantón, Y.; Domingo, F.; Solé-Benet, A.; Puigdefábregas, J.; 2001. Hydrological and erosion response of a badlands system in semiarid SE Spain. *Journal of Hydrology*, 252:65-84.
- Caravaca, F., Hernández, T., Garcia, C., Roldán, A., 2002, Improvement of rhizosphere aggregate stability of afforested semiarid plant species subjects to mycorrhizal inoculation and compost addition, *Geoderma* 108:133– 144.
- Chakravarty, S., 2005. Application of jute geotextiles for rational and cost effective use in Civil Engineering problems. Doctoral thesis at BESU, Shibpur.
- Chattopadhyay, B. C., Chattopadhyay, K. K., y Sikdar, D., 1997. Characteristics of Geojute as filter medium for bank protection. In: Proceedings of IGC, Vadodara, Engineering and Science University, India, 27:156–161.
- Chen, Y., Cao, W., Chen, R., 2008. An experimental investigation of soil arching within basal reinforced and unreinforced piled embankments. *Geotextiles and Geomembranes* 26 (2), 164–174.
- Cortina, J., Bellot, J., Vilagrosa, A., Caturla, R.N., Maestre, F.T., Rubio, E., Ortíz de Urbina, J.M., y Bonet A., 1993. Pastizales, Department of Biology. Duke University.
- De Jong, S.M., Jetten, V.G., 2007. Estimating spatial patterns of rainfall interception from remotely sensed vegetation indices and spectral mixture analysis. *International Journal of Geographical Information Science* 21 (5), 529–545.
- Espindola, M. B., 2005. O papel da chuva de sementes la restauración da restinga no Parque Florestal do Rio Vermelho, Florianópolis, SC. 54.
- FAO, 2000, Manual de prácticas integradas y manejo de conservación del suelo Food&AgricultureOrg. Roma Italia. Forest. (Washington) 39: 388-394
- Francke, S., 1998. Manual de Control de Erosión. Conaf, Proyecto Cuencas, "Control de Erosión y Forestación en Cuencas Hidrográficas de la Zona Semiárida". Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile. 73.
- Francke, S., Vargas, R., Williams, E., Pinto, M., Yoma, R., 1999. Recuperación de Suelos Degradados en el Marco de la

Nueva Ley de Fomento Forestal. Conaf, Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile. 65-82.

- Gabet, E.J., Reichman, O.J., Seabloom, E.W., 2003. The effects of bioturbation on soil processes and sediment transport. *Planet Sci.* 31, 249–274.
- García E., 2003. Modificaciones al sistema de clasificación de climas de Köppen. UNAM. México.
- Garcia, C., Hernandez, T., 1996. Influence of salinity on the biological and biochemical activity of a calciorthid soil. *Plant Soil* 178, 225–263.
- Garcia, C., Hernández, T., Pascual, J.A., Moreno, J.L., Ros, M. 2005. Microbial activity in soil of SE Spain exposed to degradation and desertification processes. Strategies for their reabiiitation In. Gara; C. Hernández, M. T., (Eds.), *Research and perspectives of soil Enzymology in Spain*. CEBAS-CSIC, Spain. Pp 93-143.
- García, C., Hernández, T., Roldan, A., Albaladejo, J., Castillo, V., 2000. Organic amendment and mycorrhizal inoculation as predice in afforestation of soils with *Pinushalepensis* Miller: effect on their microbial activity. *Soil Biol. Biochemist.* 32, 1173– 1181.
- Garcia, C., Roldan, A., Hernandez, T., 2005, Ability of different plant species to promote microbiological processes in semiarid soil, *Geoderma* 124:193–202.
- Hagos, M.G.,Smit, G.N., 2005. Soil enrichment by *Acacia mellifera* subsp. *detinens* on nutrient poor sandy soil in a semi-arid southern African savanna *Journal of Arid Environments* 61:47–59.
- Hayward, J.A., 1968. The measurement of soil loss from fractional acre plots. vol. 5. *New Zealand Agricultural*.
- Henderson, M.S., 1982. The potential use of degradable erosion control membrane in the United Kingdom. *QuarterlyJournal of Engineering Geology* 15, 233–234.
- Hudson, N., 1995. *Soil conservation*. 3 ed. Iowa State University Press. United States.

- Hudson, N.W., 1993. Field measurement of soil erosion and runoff. FAO Soils Bulletins, vol. 68. Silsoe Associates, Amptill, Bedford UK
- Langford, R.L., Coleman, M.J., 1996. Biodegradable erosion control blankets prove effective on Iowa wildlife refuge. XXVII International Erosion Control Association, Proceedings of Conference, Seattle, USA, pp. 13–20.
- León P., 2001. Estudio y control de la erosión hídrica. Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia: Medellín. 224.
- León P., J.D., 1992, Estrategias para el control y manejo de la erosión en cárcavas. Manual de Ingeniería para el Control de Erosión. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Li, Y., Mai, Y. W., y Ye, L., 2000. Sisal fiber and its composites: A review of recent developments. Composites Science and Technology, 60, 2037-2055.
- Lin W. T., Tsai, J. S., Lin, C. Y., Huang, P. H., 2008. Assessing Reforestation placement and benefit for erosion control: A case study on the Chi-Jia-Wan Stream, Taiwan. Science Direct 211: 444-452.
- Lopez-Fando, C. Pardo, M. T. 2009. Changes in soil Chemical Characteristic with different tillage practices semi-arid environment.
- Maestre, F. T., Bautista, S., Cortina, J., Blade, C., Bellot, J., Vallejo, R. 2003. Bases ecológicas para la restauración de los espartales semiáridos degradados: En: URL: www.aeet.org/ecosistemas/031/investigacion5.htm. Consultado el 20 de febrero de 2013.
- Martínez-Casasnovas, J.A.; Ramos, M.C.; García-Hernández, D.; 2009. Effects of land-use changes in vegetation cover and sidewall erosion in a gully head of the Penedés region (Northeast Spain). *Earth Surf. Process. Landforms*, 34: 1927–1937.
- Melgoza, A., Ortega, C., Morales, C.R., Jurado, P., Vélez, C., Royo, M.H., Quintana, G., Lafón, A., Alarcón, M.T., Bezanilla, G., Pinedo, C. 2007. Propagación de plantas nativas para la

recuperación de áreas degradadas: Opción para mejorar ecosistemas. Vol. I, No.3 • Septiembre- Diciembre. TECNOCENCIA, Chihuahua.

- Miranda J.D., Padilla F.M., y Pugnaire F.I., 2004. Sucesión y restauración en ambientes semiáridos. *Ecosistemas* 13 (1): 55-58.
- Moder Z. L. 1983. Control de cárcavas. CONAF. Sexta región. Primera Parte. En: *Chile Forestal*, 94: 29-40.
- Mongil, J.; Navarro, J.; Cruz, V.; Díaz, V.; 2012. Destrucción y restauración de la cubierta forestal en la cuenca alta del río Corneja (Ávila): análisis histórico de un proceso de gestión cambiante. *IV Reunión del Grupo de Historia Forestal de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*. Vitoria
- Morgan, R., 1997, *Erosión y Conservación Del Suelo*, MundiPrensa, Madrid.
- Navarro, J.; Serrano, C.; Ugalde, M.; Oria de Rueda, J.A.; Jonte, M.A.; 1997. Utilización de geotextiles en la corrección de cárcavas del Cristo del Otero (Palencia). *I Congreso Forestal Hispano-Luso*. Pamplona. Navarro, J.; Mongil, J.; Araújo, J.C.; 2012. Desertificación secular de las cuevas de Saldaña (Palencia) frente a 80 años de restauración. *IV Reunión del Grupo de Historia Forestal de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*. Vitoria
- Norma Oficial Mexicana (NOM-021-RECNAT). 2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos estudio, muestreo y análisis.
- Norma Oficial Mexicana (NOM-059-SEMARNAT). 2001. Protección ambiental. Especies nativas de México de flora y fauna silvestres. Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo. 153 pp.
- Norma Oficial Mexicana. NOM021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de los suelos. Estudio, Muestreo y Analisis. NORLEX INTERNACIONAL. Edicion Electronica de leyes. Pp. 1-71.

- Pacheco, B. O., 2010. Medidas De Conservación Para suelos potencialmente Erosionables. 1-35.
- Pérez Cruz, J., Rodríguez González, R. K. 2010. Caracterización del hábitat y de atributo ecológicos de especies herbáceas y leñosas nativas de material xerófilo tesis, UNAM fes Zaragoza.
- Pimentel, D. Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, M., Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R., Blair, R., 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science* 267, 1117–1123.
- Pizarro, T. R., Cuitiño, M. H., Flores, V. J. P., Sangüesa, P. C., Martínez A. E., 2006. “Metodología de los clavos de erosión para la evaluación cuantitativa de la erosión hídrica superficial” Sociedad EIAS Ltda. Disponible en internet: http://eias.utralca.cl/2publicaciones/3manuales/j_metodologia_clavos_erosion.pdf. Consultado el 12 de enero de 2013.
- Placencia, D. E., Márquez, A., González y Porras P., 1996. Influencia de la fosforina en el rendimiento del tomate. *Var Roma. IV Jornada científica del Instituto de Suelos*, 156 p.
- PNUMA (Programa de las naciones unidas para el medio ambiente, 2000. *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Porta, J., Lopez, A. M., Roquero, C., 1999. *Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente*, Ediciones Mundi prensa, Madrid.
- Reis, A., Bechara, F. C., Espindola, M. B., Vieria, N. K., Souza, L., 2003. Restoration of damaged land areas: using nucleation to improve successional processes. *The Brazilian journal of nature Conservation* 1 (1): 85-92.
- Rey, M. S., 2003 *Re vegetación de zonas degradadas de la rioja*. Información ambiental Num. 14
- Richter, C. G. F., Snyman, H. A., Smit, G. N., 2001. The influence of tree density on the grass layer of three semi-arid savanna types of Southern Africa. *African Journal of Range and Forage Science* 18:1–7.

- Rickson, R.J., 2006. Controlling sediment at source: an evaluation of erosion control geotextiles. *Earth Surface Processes and Landforms* 31, 550–560.
- Rivera, J.H., 2000. Manejo integrado de arvenses y control de problemas de erosión en suelos de ladera de la zona cafetera colombiana, Chinchina (Colombia) Cenifecafe. p. 21.
- Rivera, J.H., Sinisterra, J.A., Calle, Z., 2008. Retauración ecológica de suelos degradados por erosión en cárcavas en el enclave Xerofítico de agua, valle del Cauca, Colombia.
- Riverol, M y colectivo de autores. 1995. Informe final del resultado 00509. Influencia de las medidas antierosivas en condiciones estacionarias y de cuencas en el mejoramiento de los suelos erosionados. En: Instituto de suelos. La Habana.
- Riverol, M. E., Cabrera, J. M., Llanes, J. M., Hernández, A., Otero, N., Castro y F., Peña, 1996. IV Jornada Científica del Instituto de Suelos 129.
- Römken, M.J.M., Helming, K., Prasad, S.N., 2002. Soil erosion under different rainfall intensities, surface roughness, and soil water regimes. *Catena* 46, 103–123.
- Rzedowski J., 2006. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la biodiversidad. México.
- Sánchez, O., Márquez, R., Gloria, P., Azuara, D. 2005. Temas sobre restauración ecológica. Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). México, D.F. 255 p
- Sangalli P., 2005. Arquitectura del Paisaje Construcción y Medio Ambiente.
- Santibáñez, A. G., Castillo A. S., Zavala H. J., 2009, Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México 04510. *Bol. Soc. Bot. Méx. D. F. México*. 85: 71-79.
- Sarsby, Robert W., 2007. Use of 'Limited Life Geotextiles' (LLGs) for basal reinforcement of embankments built on soft clay. 25 (2007) 302–310.

- Schiechtl, H. M., Horstmann, N.K., 2002. Bioengineering for land reclamation and conservation, University of Alberta Press (Edmonton, Alta.).
- SEMARNAT. 2001. Plan estratégico forestal para México 2025. Comisión Nacional Forestal.
- Shen, H., Wang, X.C., Shi, W.M., 2001. Isolation and identification of specific root exudates in elephant grass in response to mobilization of iron- and aluminum-phosphates. 24, 1117– 1130.
- Skujins, J., 1991. Semiarid Lands and Deserts Soil Resource and Reclamation, New York.
- Tejada M., Hernandez M.T., Garcia C., 2009. Soil restoration using composted plant residues: Effects on soil properties, Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, E.U.I.T.A. Universidad de Sevilla, Sevilla, Soil y Tillage Research 102:109–117 Spain.
- Tessema, Z.K., Boer, W.F., Baars, M.T., Prins, H.H.T., 2011. Changes in soil nutrients, vegetation structure and herbaceous biomass in response to grazing in a semi-arid savanna of Ethiopia, Journal of Arid Environments 75 662-670.
- Thapa, R., 2003. Agroforestry can reverse land degradation in Nepal. Appropriate Technology 30, 40–41.
- Tres, D. R., 2006. Restauración Ecológica de una mata ciliar em uma fazenda produtora de Pinus taeda L. al norte del Estado de Santa Catarina. 85p.
- Tres. D. R., and Reis, A., 2007. La nucleación como propuesta para la restauración de la conectividad del paisaje. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Biológicas, Laboratório de Ecologia Florestal, Campus Universitário, Trindade, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.
- Van Dijk, A.I.J.M., Bruijnzeel, L.A., 2003. Terrace erosion and sediment transport model: a new tool for soil conservation planning in bench terraced steep lands. Environ. Model. Software 18, 839–850.
- Wang, H., Liu, G., Wang, Q., 2001. Structural characteristics of effective vegetation for preventing soil erosion. Chinese Journal of Eco-Agriculture 9 (2), 54–56.

- Wang, X.L., Cai, Q.G., 1999. Reasons and profits analysis of how the vegetation measure controls slope land soil erosion. *Arid Zone Res.* 16, 37–42.
- Wang, Z.Y., Wang, G.Q., Li, C.Z., Wang, F.X., 2003. Research and application of the vegetation erosion dynamics. *Sci. Chin.* 33, 1013–1023.
- Wu, Q., Zhao, H., 2001. Basic laws of soil and water conservation by vegetation and its summation. *Journal of Soil and Water Conservation* 15 (4), 13–16.
- Yarranton, G. A., Morrison, R. G., 1974. Spatial dynamics of a primary succession: nucleación. *Journal of Ecology* 62 (2): 417–418.
- Yüksek, T., Yüksek, F., 2011, The effects of restoration on soil properties in degraded land in the semi-arid region of Turkey, *Catena* 84: 47–53.
- Zhang, B., Yang, Y.S., Zepp, H., 2004. Effect of vegetation restoration on soil and water erosion and nutrient losses of a severely eroded clayey Plinthudult in southeastern China. *Catena* 57, 77–90.
- Zhang, H., Sun, Y., Cheng, Y., Cheng, J., 2006. Effect on surface runoff coefficient of different vegetation types in Jinyun Mountain of Chongqing. *Journal of Soil and Water Conservation* 20 (6), 11–14.