



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

**USO DE GEOCOSTALES E HIDROSIEMBRA PARA ESTABLECER
GRAMÍNEAS MICORRIZADAS A FIN DE MITIGAR UN DESLAVE EN
EL CERRO PEÑÓN DEL MARQUÉS, AL ORIENTE DE LA CIUDAD DE
MÉXICO.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

BIOLOGA

Presenta:

XANATH CASTILLO PÉREZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. ARCADIO MONROY ATA

MÉXICO, D. F.

ABRIL 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PAG.
ÍNDICE GENERAL	I
ÍNDICE DE FIGURAS	II
ÍNDICE DE GRÁFICAS	IV
ÍNDICE DE GRÁFICAS DEL ANEXO I	IV
ÍNDICE DE TABLAS	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTOS	VII
RESUMEN	1
INTRODUCCION	3
MARCO TEÓRICO	5
Erosión	5
Erosión hídrica	6
Laderas y cárcavas	7
Rizósfera	8
Micorrizas	10
Restauración de espacios degradados	11
Ecotecnias para la recuperación de suelos	13
Gramíneas para la restauración de suelos	14
Geocostales	15
Hidrosiembra	17
Situación en México	19
JUSTIFICACIÓN	20
PROBLEMÁTICA	20
HIPÓTESIS	21
OBJETIVOS	21
Objetivo General	21
Objetivos Particulares	21

DISEÑO EXPERIMENTAL	23
MATERIAL Y MÉTODO	25
Descripción del área de estudio	25
Realización y colocación de los geocostales	26
Realización y colocación de hidrosiembra	29
Riego y medición de plántulas en las unidades establecidas	31
Colocación de las estacas para medir la erosión de la pendiente	32
Cálculo de la Densidad Aparente	33
Trabajo de gabinete	34
RESULTADOS	35
Establecimiento de las primeras plántulas	35
Establecimiento promedio de las gramíneas durante el periodo de estudio	43
Altura promedio de la gramíneas	44
Establecimiento final de las gramíneas según el tratamiento	47
Estacas y erosión hídrica	50
Precipitación	52
DISCUSIÓN	53
Establecimiento y funcionalidad de las ecotecnias	53
Estacas y erosión hídrica	55
CONCLUSIONES	57
RECOMENDACIONES	58
REFERENCIAS	59
Anexo I	67

ÍNDICE DE FIGURAS

CONTENIDO	PAG
Fig.1 Diagrama del diseño experimental	23
Fig.2 Colocación de las estacas	24
Fig.3 Imagen del sitio de estudio	26
Fig.4 Elaboración del sustrato	27
Fig.5 Elaboración de geocostales	28
Fig.6 Colocación de los geocostales en la pendiente de estudio	29
Fig.7 Colocación de la hidrosiembra	30
Fig.8 Colocación de hidrosiembra en la pendiente	31
Fig.9 Elaboración de las estacas	33
Fig.10 Colocación de estacas en la pendiente	33
Fig.11 Primeras plántulas establecidas	36
Fig.12 Establecimiento de plantas en la semana 4 (día 27)	37
Fig.13 Vista general a las 4 semanas de establecimiento (día 27)	38
Fig.14 Establecimiento de plantas en la semana 8 (día 51)	39
Fig.15 Vista general a las 8 semanas de establecimiento (día 51)	40
Fig.16 Establecimiento de plantas en la semana 12 (día 81)	41
Fig.17 Imagen del sitio al finalizar el estudio	42

ÍNDICE DE GRÁFICAS

CONTENIDO	PAG.
Gráfica 1. Establecimiento promedio semanal de gramíneas en cada una de las ecotecnias	44
Gráfica 2. Número promedio de plantas establecidas dentro de los 6 intervalos de altura (de 0 a 30 cm) considerados durante el periodo de estudio	45
Gráfica 3. Número promedio de plantas establecidas dentro de los 6 intervalos de altura (de 0 a 30 cm) considerados durante el periodo de estudio	46
Gráfica 4. Número promedio de plantas establecidas dentro de los 6 intervalos de altura (de 0 a 30 cm) considerados durante el periodo de estudio	46
Gráfica 5. Número promedio de plantas establecidas dentro de los 6 intervalos de altura (de 0 a 30 cm) considerados durante el periodo de estudio	47
Gráfica 6. Promedio final de plantas establecidas por unidad experimental de cada tratamiento, al finalizar el estudio (12 semanas)	49
Gráfica 7. Promedio final de los cuatro tratamientos con su desviación estándar al finalizar el estudio	49
Gráfica 8. Erosión final (Ton/ha/año) por estaca de medición	51

ÍNDICE DE GRÁFICAS DEL ANEXO I

CONTENIDO	PAG.
Gráfica 1. Comparación entre las ecotecnias: geocostales e hidrosiembra	68
Gráfica 2. Comparación entre los gramíneas micorrizadas y sus testigos	69
Gráfica 3. Comparación entre las ecotecnias y la micorrización	69

ÍNDICE DE TABLAS

CONTENIDO	PAG.
Tabla 1. Número promedio semanal de gramíneas establecidas en cada ecotecnia	43
Tabla 2. Promedio general de gramíneas presentes en cada de ecotecnia al finalizar el estudio	47
Tabla 3. Establecimiento final de gramíneas	48
Tabla 4. Medición de la erosión y sedimentación generada en la pendiente	50
Tabla 5. Erosión hídrica promedio	52
Tabla 6. Agua ingresada al sitio de estudio	52

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a las personas que creen en las pequeñas acciones que generan grandes cambios.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco la oportunidad que me brindó la UNAM para concluir mi formación como profesionista.

A mi madre, Isabel, quien con su apoyo y guía inspiró mi compromiso hacia la vida, siendo día a día una fuente inagotable de orgullo y amor. Gracias por estar conmigo y creer en mí en todo momento.

A mi hermano Balam que con su fuerza y optimismo me dio argumentos suficientes para seguir sobre el camino. A mis hermanas Claudia y Nidia que con sus sonrisas cobijaron mis esperanzas y me dieron la oportunidad de compartir con ellas la felicidad de mis pequeños: David, Lucero y Uriel.

A mi esposo Esaú quien vivió conmigo los logros y frustraciones en el proceso de aprendizaje. Por llenar mis días con música y compartir la gran aventura de ser padres.

A mi amada hija Maya Nicté por llenar nuestras vidas de sonrisas y recordarnos que cada día hay algo nuevo por descubrir.

A mis amigo(a)s: Fabiola, Norberto(+), Fátima, Pablo y Jenny por apoyarme en los momentos de debilidad.

A los profesores que contribuyeron con sus conocimientos para expandir mi abstracción sobre la biología y la vida cotidiana. En particular a mis sinodales: Dra. Esther, Dr. Isaías, Profa. Elvia y Profa. Aida, quienes enriquecieron con sus opiniones mi trabajo de tesis.

A mi director de tesis el Dr. Arcadio, quien me brindó la oportunidad de concluir este ciclo y la motivación para buscar nuevos objetivos para cumplir. ¡Gracias!

Y de igual modo agradezco a todas aquellas personas que intervinieron de alguna manera en el desarrollo de mi aprendizaje.

USO DE GEOCOSTALES E HIDROSIEMBRA PARA ESTABLECER GRAMÍNEAS MICORRIZADAS A FIN DE MITIGAR UN DESLAVE EN EL CERRO PEÑÓN DEL MARQUÉS, AL ORIENTE DE LA CIUDAD DE MÉXICO

RESÚMEN

Ante la problemática económica y social que representan los deslaves de laderas y la formación de cárcavas como producto de la erosión del suelo, el presente trabajo propone el uso de geocostales e hidrosiembra como ecotecnias para controlar la erosión provocada por la pérdida de vegetación en una pendiente natural ubicada en el cerro Peñón del Marqués, al oriente de la Ciudad de México, con el fin de observar su funcionalidad como agentes de mitigación de deslaves. La metodología propuesta consiste en la elaboración de 20 geocostales y 22 unidades de hidrosiembra, colocados paralelamente a la pendiente, usando dos tratamientos para cada una de las ecotecnias. Se establecieron 10 geocostales y 12 puntos de hidrosiembra con una mezcla de pastos, formada por semillas de *Festuca rubra*, *Cynodon dactylon*, *Lolium multiflorum* y *Lolium pennisetum* inoculadas con hongos micorrizógenos arbusculares y 10 testigos sin micorrizar para cada una de las ecotecnias. El experimento requirió de riego constante y la medición semanal de las plantas para conocer el desarrollo vegetal por unidad experimental durante un lapso de 12 semanas a partir de la siembra. Como complemento del estudio se realizó mediante la colocación de 8 estacas graduadas para conocer la erosión presente en el sitio durante el tiempo que duró el estudio, así como, la influencia que las ecotecnias tuvieron frente al movimiento de sedimentos. Las variables de estudio fueron: el establecimiento de plantas tras 12 semanas de mediciones, como respuesta a la micorrización y al tipo de ecotecnia; también se consideraron las alturas promedio de establecimiento, la emergencia y los decesos registrados durante el periodo de estudio; otra variable considerada fue la erosión hídrica presente en el sitio.

Los resultados de establecimiento final obtenidos fueron analizados con un ANDEVA de dos factores, con ayuda del software estadístico NCSS 2001 & PASS trial, reflejando que bajo las condiciones en que se realizó el experimento, la ecotecnia de geocostales presentó una mayor cantidad de plantas establecidas al finalizar el registro de datos, en comparación con la hidrosiembra, que en algunos casos las semillas fueron depredadas por aves y/o arrastradas por efecto del agua. En cuanto a la micorrización, se observó un mayor desarrollo y cantidad de plantas en ambas ecotecnias respecto a sus testigos no micorrizados. En los resultados de las estacas se observó que en la parte superior de la pendiente, donde se colocaron las ecotecnias, se generó una sedimentación de partículas del suelo y que en los sitios donde no estaban las ecotecnias se produjo una pérdida significativa de suelo. Por lo que se concluye que la micorrización tuvo una influencia positiva en el desarrollo y establecimiento de las plantas en ambas ecotecnias y que los geocostales fueron la ecotecnia más funcional para el desarrollo y establecimiento de las gramíneas, en las condiciones en que se estableció el experimento. Por otro lado, la presencia de las ecotecnias ayudó a sedimentar las partículas arrastradas por las lluvias, mitigando con ello la erosión.

INTRODUCCION

La construcción de infraestructuras habitacionales o de comunicación son algunas de las principales causas que afectan los paisajes naturales y provocan la segmentación y pérdida de ecosistemas. Asimismo, se puede observar que los proyectos de ingeniería generalmente exigen la remoción de la vegetación original del sitio, excavaciones o cambios en el curso natural del agua, siendo factores que alteran el funcionamiento natural de las áreas con vegetación silvestre, promoviendo la formación de laderas y con ello la degradación del suelo, que al estar expuesto al impacto de la lluvia, aumenta la escorrentía, la pérdida de suelo y por consiguiente disminuye su capacidad de sustentar una comunidad vegetal (Alcántara *et al.*, 2008).

Todo suelo tiene la cualidad de reponerse ante los cambios del entorno, sin embargo si estos cambios son muy extremos y sobrepasan sus límites naturales de recuperación o resiliencia, el sistema entra en un estado irreversible de desertificación (Arriaga, 2009). Los factores erosivos como el agua o el viento influyen a manera de una fuerza ecológica sobre la composición vegetal y su patrón espacial; entre las acciones degradativas que se pueden destacar está el arrastre de semillas, el desarraigo de las raíces de las plantas y los cambios en las propiedades del suelo, que muchas veces imposibilitan el establecimiento de otras plantas.

Para la recuperación de espacios degradados por las actividades humanas, se han creado diversas ecotecnias con el fin de restablecer la vegetación en estos sitios. Para lograr esto, se consideran los factores que generan e influyen en la inestabilidad del terreno, a fin de promover como meta principal la conservación de la capa edáfica mediante la colocación de unidades ecológicas que garanticen la retención del sustrato, el anclaje y el establecimiento de especies cobertoras (Valladares, 2004).

En México, a pesar de haber instituciones encargadas de regular y estudiar los posibles impactos ambientales que la construcción de infraestructuras implican, es común encontrar diversos casos de deslaves o desplazamientos, ya sea en asentamientos poblacionales en las ciudades o bien en los bordes de las carreteras. Esto debido a la falta de acciones preventivas y de recuperación en laderas, bordos y cárcavas, lo que provoca diversos accidentes y pérdidas económicas y poblacionales. Aunado a lo anterior, se encuentra la falta de estudios y la escasa promoción de ecotecnias que promuevan la recuperación de espacios degradados.

La importancia del modelo experimental propuesto en el presente trabajo radica en la contribución que puede aportar para la investigación y la aplicación de métodos de mitigación de desgajamientos generados en laderas y con ello minimizar los gastos de deslaves sobre infraestructuras y en la población humana del área de influencia. Se busca conocer cuál de las dos ecotecnias propuestas (geocostales e hidrosiembra) es la más funcional para mitigar deslaves en una pendiente natural de 30°, ubicada en el Peñón del Marqués al oriente de la ciudad de México, usando un estudio exploratorio consistente en un muestreo de 10 geocostales y 12 unidades de hidrosiembra preparadas con sustrato y una mezcla de semillas de gramíneas comerciales para jardín, micorrizadas con un consorcio de hongos provenientes de *Bouteloua gracilis* (Willd.ex Kunth) Lag. ex Griffiths, de Tezontepec, Hidalgo y sus respectivos 10 testigos. Para cada una de las ecotecnias, se realizó la medición semanal de las plántulas, para conocer su capacidad de establecimiento y desarrollo. Se buscó además conocer el grado de erosión de la pendiente mediante la colocación de estacas medidoras en puntos estratégicos. La hipótesis consistió en evaluar si las ecotecnias aplicadas presentan un mayor establecimiento en las unidades inoculadas con micorrizas, así como, una mayor resistencia a las condiciones climáticas que pudieran afectar su establecimiento y desarrollo, respecto a las unidades testigo sin micorrizas.

MARCO TEORICO

Erosión

El suelo al ser la parte superficial de la corteza terrestre se da como resultado de la interacción entre la atmósfera y la roca madre, misma que determina sus propiedades y le permiten ser el soporte mecánico y nutrimental de la mayoría de las especies vegetales (Navarro *et al.*, 2003; Núñez-Solís, 2000). Debido a las diversas características que presenta, el ser humano ha encontrado la manera de darle al suelo diversos usos, que van desde la agricultura hasta la construcción de sus hogares y medios de comunicación. Actividades que al paso del tiempo han roto el equilibrio natural, promoviendo con ello un constante deterioro.

Se considera la erosión como un proceso de degradación, transporte y deposición de las partículas de la capa superficial del suelo mediante agentes externos, como el agua, viento, hielo y actividades humanas, que traen como consecuencia, el descenso de la fertilidad natural y productividad biológica mediante el cambio de las características físicas (la reducción del espesor, densidad aparente, degradación de la estructura y alteraciones en la dinámica del agua), químicas (pérdida de materia orgánica y nutrientes) y biológicas (disminución en el establecimiento e interacción de microorganismos y vegetación)(1).

En la erosión del suelo intervienen múltiples factores ambientales y socioeconómicos, entre los que destacan la topografía, el clima (viento, agua y cambios de temperatura) y los usos antropológicos, cuyas alteraciones irrumpen el ambiente físico y biológico, provocando la erosión del suelo y modificando con ello las interacciones biológicas de las poblaciones silvestres (Hudson, 1982).

La erosión se ha dado desde tiempos geológicos pasados en distintos grados de actividad y por distintos procesos. Cuando la erosión se produce por procesos naturales y sin intervenciones antrópicas, se la denomina erosión geológica o natural;

normalmente estas tasas de erosión son bajas y se consideran sostenibles; cuando el ser humano interviene en estos procesos se produce la erosión acelerada o antrópica, en la que las tasas son más elevadas y la regeneración de estos espacios representa mayores complicaciones o es irreversible (Cerdá, 2001).

La erosión antrópica está relacionada con la desertificación, que es el proceso de deterioro del suelo y la comunidad vegetal que afecta la productividad del ecosistema y es provocada principalmente por el cambio en el uso del suelo, resultado de actividades como la agricultura, el uso habitacional, la explotación minera y la elaboración de infraestructuras para el transporte y la comunicación (Arriaga, 2009).

Erosión hídrica

El agua del suelo se considera el principal factor limitante que rige la estructura y la dinámica de la vegetación por intervenir en la dinámica nutrimental y ser una conexión significativa entre la atmósfera, la litósfera y la hidrósfera (Grimm *et al.*, 1981). La erosión hídrica es causada específicamente por la acción de la energía cinética de las gotas de lluvia al impactar en una superficie de terreno desnudo, o no debidamente protegida por la vegetación, donde el agua de lluvia que no infiltra y escurre superficialmente separa las partículas de los agregados del suelo que posteriormente son arrastradas por el escurrimiento superficial de las aguas, eliminando cantidades significativas de suelo y afectando su estabilidad (1). El efecto de la escorrentía interviene en el establecimiento de plántulas, el desarraigo de las plantas, la eliminación y redistribución de las semillas, lo que modifica la composición de la vegetación y su patrón espacial (Valladares, 2004). La erosión hídrica se ve afectada por diversos factores entre los que destacan la precipitación, la temperatura, y las propiedades del suelo, como la textura, estructura y densidad aparente (Martínez-Mena *et al.*, 2001; Youlton *et al.*, 2010). La erosión del suelo es un proceso que afecta al ciclo del agua, especialmente cuando se forman surcos, condiciona la disponibilidad y la distribución espacial de la humedad dentro del sistema (Moreno-de las Heras *et al.*, 2011).

Laderas y cárcavas

Las laderas representan una parte cotidiana del paisaje en la ciudad, en montañas y ríos, cuya inestabilidad puede generar fácilmente derrumbes, deslizamientos, flujos y movimientos complejos, provocados por diversos factores; por un lado, los materiales formadores pueden ser poco resistentes o estar caracterizados por la presencia de sistemas de debilidad como fracturas y fallas, lo cual implica una inestabilidad latente (Alcántara *et al.*, 2008).

Asimismo, se puede observar la presencia de laderas artificiales y naturales en todo el mundo, adaptadas para la construcción de zonas habitacionales, carreteras y otras infraestructuras, en regiones deltaicas son creadas para la construcción de terraplenes y diques.

Los proyectos para la elaboración o uso de laderas a menudo no están completamente estudiados durante la fase de pre-inversión en el que la estabilidad puede poner del mismo. Para el diseño de taludes artificiales o uso de laderas naturales deben considerarse la evaluación de las condiciones físicas naturales que imperan en el sitio, el ciclo hidrológico, las propiedades y condiciones mecánicas del suelo, factores que generalmente no son tomados en cuenta, provocando inseguridad y gastos que a largo plazo, aumentan su costo final (Rupke *et al.*, 2007).

Además de la falta de previsión en la elaboración y uso de laderas, éstas pueden estar expuestas a factores externos, como la erosión eólica e hídrica, las ondas sísmicas y otros efectos topográficos que afectan el movimiento de la tierra (Lenti *et al.*, 2012).

Una cárcava es un canal natural o artificial causado por un flujo de agua concentrado a través del cual fluye la escorrentía durante o inmediatamente después de un evento intenso de lluvia. Su formación puede deberse a las actividades antropogénicas y factores físicos como son el uso inapropiado del suelo y de la

vegetación, sobrepastoreo, construcción de caminos, senderos creados por animales o vehículos, intensidad y cantidad de lluvia, topografía, tamaño y forma de la cuenca, longitud y gradiente de laderas y características del suelo, entre otros (Bravo-Espinoza *et al.*, 2010; Morgan, 1986).

Los procesos erosivos en cárcavas afectan negativamente a las áreas cercanas, provocando elevadas pérdidas de suelo, reduciendo áreas agrícolas, de pastoreo y forestales, contaminando cuerpos de agua superficiales y las corrientes freáticas; procesos que avanzan en forma acelerada como resultado del desconocimiento por parte de la sociedad sobre las causas, consecuencias y soluciones a estos fenómenos.

Por lo general los problemas ocasionados por la erosión y movimientos masales son controlados en forma puntual mediante obras mecánicas de concreto propias de la ingeniería civil, las cuales suelen tener un costo superior al valor comercial de la tierra y generalmente no resuelven el problema de manera definitiva.

Actualmente se han desarrollado tratamientos integrales que combinan obras hidráulicas y estructuras mecánicas, acompañadas de tratamientos biológicos, para controlar los agentes erosivos y restaurar las condiciones propicias para la colonización vegetal. También se han desarrollado modelos de predicción de la erosión del suelo de gran importancia para la gestión del suelo y la conservación del agua (Yan *et al.*, 2008) (8).

Rizósfera

La rizósfera es el volumen interfásico entre las raíces de las plantas y el espesor del suelo; también es considerada como una zona amortiguadora frente a los cambios del suelo, ya que en ella se realizan los principales intercambios nutrimentales entre raíz y microflora como la degradación de compuestos orgánicos a su forma inorgánica.

Debido a ello, la rizósfera es considerada el sitio donde se da el principal crecimiento de las comunidades microbiológicas que dan diversidad y dinámica al suelo y cuya actividad se vincula con distintos procesos relacionados con el agua, nutrición mineral, intercambio de cationes y producción de exudados radicales, entre muchos otros, que la caracterizan y diferencian del resto del suelo en sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Blancof *et al.*, 1997; Russel, 1984).

Por otra parte las raíces de las plantas desempeñan diversas funciones como la fijación, estabilización, obtención y transporte de nutrimentos a todas sus estructuras; sirven como almacén alimenticio para un periodo de crecimiento posterior y excretan sustancias capaces de inhibir el desarrollo de otros organismos. Las raíces perennes suelen ser gruesas y sólidas sirviendo principalmente como soporte a las plantas, las finas son estacionales o perviven pocas semanas o días y son ellas las que exploran el suelo para tomar agua y nutrimentos. El sistema radical de las plantas se encuentra generalmente en los horizontes superiores ligado íntimamente a la cantidad de nutrimentos, aireación y temperatura, sin embargo, dependiendo de la especie y tipo de suelo pueden alcanzar profundidades considerables (Begon, 1999; Raven, 2004)

Micorrizas

La microbiota del suelo juega un papel fundamental en la regulación de los ecosistemas terrestres, influyendo en la productividad, diversidad y estructura de las comunidades vegetales y del suelo (Martínez *et al.*, 2009). La materia orgánica es descompuesta por la actividad de diferentes microorganismos que liberan nutrimentos al suelo, haciéndolos disponibles para ser absorbidos por las plantas, dicha absorción puede darse de manera directa a través de las raíces o indirecta a través de los microorganismos que forman simbiosis con las raíces.

Los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) forman parte de la rizósfera, caracterizándose por crecer una parte de ellos en el interior de la raíz de la planta hospedera formando estructuras conocidas como arbusculos en los cuales se produce el intercambio de nutrientes entre el hongo y la planta y desarrollando un entramado de hifas extrarradicales que prolonga el alcance del sistema radical de su huésped por la superficie de suelo. Estos hongos pertenecen al phylum Glomeromycota (Posada *et al.*, 2007; Monroy *et al.*, 2009).

El término micorriza (gr. *Mykes*-hongo y *rhiza*-raíz) hace referencia a la asociación simbiótica mutualista entre las raíces de las plantas y un grupo de hongos, en donde el hongo simbionte al ser incapaz de realizar la fotosíntesis, recibe carbohidratos de los vegetales hospederos y protección, brindando a cambio a la planta varios beneficios, como una mayor interacción con otros microorganismos (bacterias fijadoras de nitrógeno), factor que facilita a la planta la absorción de agua y nutrimentos del suelo como el fósforo y nitrógeno (Spagnoletti *et al.*, 2013) (9), además de proteger a la planta contra patógenos, amortiguar a sus hospederos de efectos nocivos producidos por contaminantes tóxicos y estimular en las plantas un mayor tamaño y producción de semillas (Borie *et al.*, 1998).

La presencia de hongos micorrizógenos permite a las plantas hospederas soportar periodos largos de sequía, condiciones ambientales extremas (altas temperaturas y evaporación), concentraciones elevadas de sales (Medina *et al.*, 2010), suelos con alto grado de erosión y bajos niveles de nutrimentos. Por lo que en la actualidad ha aumentado la importancia del conocimiento y uso de estos hongos en diversas ramas de la ciencia y la tecnología para mejorar la dinámica vegetal y la sucesión ecológica en ecosistemas deteriorados (Montaño *et al.*, 2007).

Se considera que los hongos micorrizógenos arbusculares ayudaron a las primeras plantas a establecerse en el medio terrestre, motivo por el que se encuentran en más del 90% de las plantas terrestres. Sin embargo, la colonización de estos hongos en las raíces de las plantas y el suelo depende de la especie vegetal de que se trate

(tipo de metabolismo que presente y tipo de sistema radical) (Parodi *et al.*, 2011), de las características físicas (textura), químicas (pH, C.I.C., carbono orgánico, P y otros micronutrientes) y la profundidad del perfil del suelo, así como las condiciones climáticas (Peña *et al.*, 2007).

Además de la importante contribución que estos hongos realizan en la vegetación, su micelio externo participa en el mecanismo de atrapar y enlazar las partículas primarias para el desarrollo de agregados de suelo y su estabilidad. Se ha comprobado que estos organismos producen una proteína denominada glomalina, la cual es acumulada en las hifas, raíces y el suelo, fortaleciendo su participación en la estructura del suelo. Por dichas propiedades es que los HMA son usados en la práctica de conservación de suelos, para minimizar la erosión y conservar la fertilidad, promoviendo con ello la revitalización de sistemas degradados (González *et al.*, 2004).

Restauración de espacios degradados

Las diversas actividades antropogénicas han degradado de distintas maneras a los recursos naturales y las condiciones ambientales; muestra de ello es la pérdida de la vegetación, recursos genéticos y degradación de suelos, la contaminación atmosférica, del agua, la mortalidad y baja reproducción de las especies.

Se considera que un ecosistema está degradado, cuando su diversidad, productividad y habitabilidad se ha reducido considerablemente, o bien, se ha perdido por completo. Los ecosistemas terrestres degradados se caracterizan por la fragmentación del paisaje, la pérdida de vegetación y suelo, de tal modo que su recuperación a su estado original solo se consigue con la aplicación de medidas muy específicas, ya que en algunos casos los ciclos biológicos de las especies presentes no les permiten adaptarse a las nuevas condiciones ambientales (Gálvez, 2002).

Como una medida para evitar el continuo deterioro y desaparición de ecosistemas degradados se ha llegado a la restauración ecológica, proceso que busca recuperar las condiciones ambientales (estructura, funcionalidad, diversidad y dinámica) que prevalecieron en un sitio determinado y que por alguna actividad natural (huracanes, incendios, derrumbes) o antropogénica (contaminación, tala, quema) se vio afectada de manera negativa (Sol *et al.*, 2002).

Para la recuperación de ambientes degradados se utilizan tres técnicas básicamente:

- **Recuperación:** Consiste en la utilización únicamente de especies exóticas para recuperar un paisaje. La finalidad de ésta clase de acciones puede ser con objetivos ecológicos y económicos.
- **Rehabilitación:** Para la rehabilitación del área se usan especies nativas y exóticas, de forma intercaladas. Con fines ecológicos y económicos
- **Restauración:** Busca reestablecer plantas y animales con la misma población que en la condición original del sitio. Considerando como principal finalidad la preservación ecológica (Peña-Becerril *et al.*, 2005).

Se considera que un ecosistema se ha recuperado o restaurado cuando presenta suficientes recursos bióticos y abióticos para continuar su desarrollo sin ayuda adicional. Es decir, que podrá mantenerse estructural y funcionalmente, siendo capaz de recuperarse del estrés y alteraciones ambientales, interactuando con ecosistemas contiguos en términos de flujos bióticos, abióticos e interacciones culturales.

En cuanto a las metas y manejo de los sistemas degradados, es importante mencionar que cada área presenta situaciones específicas en su uso y formas de deterioro, por lo que las metas que determinen su recuperación serán de igual manera particulares (10).

Ecotecnias para recuperación de suelo

Una propuesta que ofrece la ingeniería biológica es el uso de ecotecnias que permitan el establecimiento de vegetación en los suelos desnudos, evitando con esto la erosión y los deslaves en pendientes de incluso 90°. Se propone el uso de plantas cuyas raíces se fijan al suelo, promoviendo su aglutinación, contención y estabilización (Morgan, 1986). Existen muchas plantas conocidas como cobertoras de suelo, que al usarse con métodos que retengan el sustrato sobre el que serán establecidas pueden servir para consolidar pendientes, mitigar deslaves y controlar la erosión en carreteras o asentamientos humanos, mediante técnicas de bioingeniería (Sangalli, 2005).

La vegetación puede contener la erosión mediante la retención del sustrato, aumentando la estabilidad y coherencia de los agregados del suelo, protegiéndolo del impacto de la lluvia, incrementando la capacidad de infiltración y frenando la escorrentía, lo que se ve influenciado en la disminución de deslaves y formación de cárcavas. Por lo que es importante mencionar que al estudiar y aplicar técnicas de bioingeniería para combatir la erosión, mediante el establecimiento de vegetación, deben considerarse los mecanismos particulares de retroalimentación planta-suelo que se pueden establecer en cada sitio (Valladares, 2004).

Un ejemplo de ello es el uso de composta y lodos para mejorar cultivos de cobertura y reducir la pérdida de suelo por erosión, sobre todo en ambientes hostiles; contribuyendo de manera importante en la supervivencia de las especies vegetales, la colonización de especies circundantes y disminuyendo la pérdida de suelo por influencia del agua o el viento (De Oña *et al.*, 2009).

Gramíneas en la restauración de suelos

Cuando la perturbación de un sitio es frecuente, la población natural que en él habita se puede minimizar, generando remanentes pequeñas, reduciendo notablemente la capacidad de recuperación del ecosistema, siendo el principal factor limitante la escasez de propágulos.

En el caso de los taludes de infraestructuras del tipo de carreteras y autopistas, en donde el suelo se ve desprovisto en su totalidad de vegetación, se pone en marcha el proceso de sucesión vegetal, que comienza por la fase de colonización, en donde la existencia de semillas viables y la dispersión de las mismas se convierten en factores determinantes para la sucesión (Miranda *et al.*, 2004).

La colonización de una zona sin vegetación depende inicialmente de la disposición de semillas en el sustrato; además, si el sitio presenta cierta pendiente, las especies cuyas semillas tienen mecanismos de fijación que impiden ser arrastrados por la gravedad o el agua de escorrentía tendrán más posibilidades de mantenerse en las laderas. Posteriormente, las semillas resistentes al arrastre y con condiciones favorables, pueden germinar y sobrevivir, para desarrollarse y convertirse en individuos adultos.

Tras la fase de colonización, las interacciones entre plantas y otros organismos serán determinantes en el desarrollo de la comunidad vegetal, ya que se pueden presentar interacciones positivas en las cuales una especie ayuda a otra en su establecimiento o desarrollo (plantas nodrizas) (Gutiérrez *et al.*, 2004). La accesibilidad que las plantas tengan a los nutrientes presentes en el suelo, es un factor de gran importancia para el establecimiento y desarrollo individual y poblacional, ya que afecta de manera directa la distribución de la biomasa radical y los brotes (Dushyantha *et al.*, 2005); por lo que la formación de islas de fertilidad es favorable, al ser una asociación de diversos microorganismos que facilita la disponibilidad de nutrientes, la fijación de nitrógeno y la supresión de patógenos.

Por otro lado, también se pueden establecer interacciones negativas a través de la exclusión de una especie a causa de la competencia con otras plantas presentes en el sitio (Daubenmire, 2000), o bien, la presencia de algunos microorganismos que pueden ser perjudiciales para las plantas (Carrillo *et al.*, 2009; Thompson, 1978).

En áreas expuestas a constantes riesgos de desastres naturales o antropogénicos que favorecen la erosión hídrica y eólica del suelo, se ha propuesto el uso de gramíneas como especies eficaces para la recuperación de espacios, por presentar un fácil establecimiento, porque su ciclo vegetativo es corto, su reproducción por semillas es fácil y algunas especies presentan adaptaciones a climas templados en donde en la época de frío su biomasa superficial se marchita, pero su raíz perdura favoreciendo la resistencia del suelo ante los factores erosivos (De Baets *et al.*, 2011) (2). Por lo que mediante técnicas adecuadas de anclaje y retención de semillas pueden ser de gran utilidad en la restauración vegetal y el desarrollo inicial de diversos ecosistemas, en cortos periodos de tiempo (5) (Belmonte *et al.*, 1999).

Geocostales

El uso de geocostales representa una ecotecnia que utiliza materiales textiles duraderos, que son degradados posteriormente a su establecimiento, a los cuales se les agregan semillas de plantas cobertoras, suelo o arena, materiales que retengan la humedad, dispositivos de anclaje y abono que proporcione nutrientes que ayuden al establecimiento de las plantas (4). Pueden ser utilizados para la estabilización de taludes, manejo de la vegetación (ayudar al crecimiento, establecimiento y protección de la vegetación) y control de la erosión del suelo *in situ* y *ex situ*. Las propiedades más destacadas de los geocostales en el control de erosión del suelo son: su porcentaje de cubierta, rugosidad inducida, capacidad de retención de agua y la capacidad de flujo de estanque. En algunos casos se usan conjuntamente la técnica de hidrosiembra y se recubre por mantas orgánicas (yute), que en conjunto con una vegetación acorde al sitio que se pretende restaurar puede ser muy positivo, ya que ambas técnicas son complementarias y pueden promover la estabilización de forma

integral. Las mantas proporcionan una protección inmediata contra la erosión y previenen la pérdida de semillas por procesos erosivos, favoreciendo el establecimiento de plantas, manteniendo niveles adecuados de humedad y nutrientes, por lo que se utilizan antes o después de la hidrosiembra o se incorporan a la propia manta (3).

Para la elaboración de los geocostales se pueden usar materiales naturales (yute, fibra de coco, lino, bambú, hojas de palma), sintéticos (nylon, polipropileno, poliéster y materiales de polietileno) o híbridos (fibras que contienen proporciones de peso definidas de fibras naturales y fibras sintéticas). La composición del material usado para la elaboración de los geocostales determina su longevidad en el campo, por lo que es importante conocer las cualidades de los geotextiles a usar.

Las fibras naturales se han usado exitosamente para el crecimiento vegetal, debido a sus cualidades en la absorción de agua y retención de humedad; sin embargo, debido a su misma naturaleza se ven afectados por los microorganismos, perdiendo su resistencia inicial (Palmeira *et al.*, 2008; Ramakrishna *et al.*, 2005) y degradándose con mayor facilidad y en menor tiempo que los materiales sintéticos; factor que a su vez, favorece el crecimiento vegetal al ser usadas como materia orgánica por las plantas (Methacanona *et al.*, 2010; Prosenjit *et al.*, 2012). Los principales puntos que tienen a su favor, es su bajo costo y que al ser biodegradables, proporcionar materia orgánica a las plantas. Los materiales sintéticos presentan como cualidades una mayor resistencia a los microorganismos del suelo, al efecto de la lluvia, el sol y la compresión mecánica, proponiéndose principalmente para proyectos a largo plazo; sin embargo, al no ser biodegradables pueden causar la contaminación del suelo; además, que en su producción se contaminan el aire y el agua. En cuanto al costo, los geotextiles sintéticos pueden ser 10 veces más costosos por unidad de área que los naturales (Bhattacharyya *et al.*, 2010b). Así mismo, los materiales híbridos, presentan una ventaja adicional sobre los materiales puramente naturales, debido a que la adición de una cierta cantidad de fibra sintética puede mejorar sus propiedades mecánicas, generando una mayor

resistencia a los cambios ambientales y al ataque de los microorganismos, dando como resultado una mayor durabilidad, al tiempo que retiene suficiente humedad para promover el crecimiento vegetal (Rawal *et al.*, 2011). Otro punto a favor del uso de geotextiles de diversos materiales, es que al integrarse al suelo favorecen la agregación del mismo, lo que contribuye a la estabilización de su estructura (Fernández, 2006).

Para la aplicación de geotextiles en países donde existe una reglamentación en la restauración de obras civiles, las fibras naturales pueden tener dificultades para ajustarse a las normas y las especificaciones, factor que favorece el uso de materiales sintéticos. En la actualidad el uso de los materiales híbridos ha creado una fuerte demanda, debido a la creciente preocupación por la contaminación que los materiales sintéticos generan al ambiente y a la búsqueda de propuestas funcionales a largo plazo y de menor impacto (Rawal *et al.*, 2013).

Así mismo, se ha demostrado que los geotextiles son eficaces en la reducción de la erosión en pendientes sometidas a procesos de degradación. La mayoría de los estudios dedicados a evaluar la eficacia de estos elementos han considerado pendientes pequeñas o intermedias ($\leq 30^\circ$). Sin embargo, la mayoría de los estudios al respecto se han realizado a nivel de laboratorio, siendo pocos los artículos que informan de experimentos de campo que consideren grandes parcelas, precipitaciones verdaderas y prolongados períodos de estudio (Álvarez-Mozos *et al.*, 2013).

Hidrosiembra

El método de la hidrosiembra consiste en la aplicación de semillas, abono, sustrato y un elemento aglutinante que da estabilización al suelo, todo esto integrado en una suspensión acuosa, que puede aplicarse en distintas áreas que presenten erosión del suelo. Se han realizado estudios que permiten conocer la funcionalidad de esta técnica, en donde se propone que los elementos del sustrato pueden ser sustituidos

por lodos provenientes de plantas de aguas residuales, los cuales adicionados con un conjunto de semillas de especies adecuadas pueden presentar el mismo éxito (De Oña *et al.*, 2011). La colocación de la hidrosiembra se puede realizar de manera manual, o bien, con una maquinaria que emita la mezcla y permita que penetre en el suelo hasta una profundidad de unos 12 mm, formando una costra firme que impide el arrastre de partículas de suelo, semillas y sustrato causado por la lluvia (Campino *et al.*, 1990).

El éxito de la hidrosiembra se ve influenciada por diversos factores técnicos: los componentes utilizados, las dosis de aplicación, la época de siembra, las condiciones climáticas prevalecientes en el sitio (temperatura, precipitación), el ángulo de inclinación de la pendiente, la rugosidad, el tipo de suelo y la dureza del material. Esta técnica es considerada especializada y en ocasiones costosa, pero al mismo tiempo ha sido ampliamente usada en algunos países como un medio de revegetación y estabilización de taludes, laderas y cárcavas, como las causadas por actividades mineras o la construcción de carreteras (Martínez *et al.*, 2007).

Este método establece con eficacia y rapidez la cobertura vegetal al tiempo que reduce la erosión del suelo (11), por brindar un micrositio propicio para el desarrollo de las semillas agregadas a la mezcla, que a su vez permite la germinación y desarrollo del banco de semillas del sitio donde se ha establecido (en caso de que éste exista) (González-Alday *et al.*, 2009; Oliveira *et al.*, 2013).

En países donde se usa la hidrosiembra como una técnica de revegetación común, se ha podido observar que el uso indiscriminado de semillas comerciales de gramíneas y leguminosas (para minimizar los gastos) puede originar en las zonas restauradas coberturas vegetales poco diversas, o la introducción de especies que pueden tener un impacto negativo en el área, al desplazar la colonización de especies nativas (González-Alday *et al.*, 2007; Rydgren *et al.*, 2010)

Situación en México

México es un país con un alto impacto de fenómenos naturales que ponen en riesgo el entorno social causando pérdidas directas o indirectas. Las primeras relacionadas con daños físicos, como víctimas, pérdida de parte de la infraestructura y el deterioro del ambiente. Las pérdidas indirectas se ven reflejadas en la interrupción de los servicios a la sociedad, como el transporte, la comunicación y efectos económicos en el comercio y la industria.

En particular, en el oriente de la Ciudad de México se presenta un caso serio de hundimiento, debido a diversas razones, algunas de las principales son la antigua extracción de recursos hídricos del subsuelo y la minería de roca de tezontle lo que aunado a el tipo de suelo de origen sedimentario y volcánico, han dado como resultado un gran complejo de fracturas geológicas en diversas zonas, entre las que destaca, el área de estudio. A la situación geológica y riesgo natural por lluvias, se suman los asentamiento humanos irregulares establecidos en las laderas del Peñón del Marqués, que provocan deforestación y posteriormente erosión (7), dando como resultado reblandecimiento del suelo, que pueden provocar deslaves y desgajamientos del cerro.

JUSTIFICACIÓN

Las actividades antropogénicas que convergen en la degradación y el cambio de uso del suelo generan inestabilidad en las laderas, debido a las prácticas inadecuadas sobre este recurso. La erosión que se produce en las laderas, genera cárcavas y la formación de barrancos, influida por los cortes de suelo de construcciones civiles y mineras, propiciando la inestabilidad y dando como resultado derrumbes, deslizamientos, flujos y movimientos complejos que representan una amenaza para la infraestructura y la población. En México los desastres ocasionados por la inestabilidad de las laderas generan problemas en la población, que van desde heridos, damnificados y grandes pérdidas económicas. Por ello se propone evaluar la aplicación de ecotecnias orgánicas que ayuden a mitigar los efectos que traen consigo los deslaves, para prevenir accidentes y al mismo tiempo evitar la erosión de laderas mediante el establecimiento de vegetación resistente a las condiciones adversas del ambiente.

PROBLEMÁTICA

Este estudio se diseñó para responder las siguientes preguntas:

- ¿En cuál de las ecotecnias: hidrosiembra y geocostales, se establecerán y desarrollarán una mayor cantidad de plantas?
- ¿La micorrización de semillas de las gramíneas incrementará significativamente el establecimiento de plantas en ambas ecotecnias?
- ¿La erosión hídrica se verá disminuida por el uso de las ecotecnias: geocostales e hidrosiembra?

HIPÓTESIS

Si las gramíneas colocadas en los geocostales e hidrosiembra logran su establecimiento sobre una pendiente de 30° con tendencia a la erosión hídrica, entonces las ecotecnias se pueden proponer para su aplicación en la mitigación la erosión en este tipo de pendiente. Así mismo, si las unidades en presencia de hongos micorrizógenos muestran un mayor establecimiento y desarrollo de las gramíneas en comparación a sus testigos, entonces se puede sugerir el uso de estos hongos para mejorar el establecimiento de las plantas bajo las condiciones del estudio.

OBJETIVOS

- **GENERAL:** Comparar la funcionalidad de las ecotécnicas: geocostales e hidrosiembra, en el establecimiento de gramíneas para jardín (*Festuca rubra*, *Cynodon dactylon* (L.) Pers, *Lolium multiflorum* Lam y *Lolium pennisetum* sp.) micorrizadas y sus testigos sin micorrizar, con el fin de mitigar un deslave en el cerro Peñón del Marqués, ubicado al oriente de la Ciudad de México.

PARTICULARES:

- Establecer 10 geocostales que contienen suelo abonado, una mezcla de semillas de gramíneas comerciales y micorrizas, junto a 10 testigos; colocados en dos puntos de una pendiente expuesta a erosión, establecida en el Peñón del Marqués al oriente de la Ciudad de México, con el fin de comprobar su funcionalidad como propuesta de mitigación de deslaves, mediante un conteo del establecimiento final de plantas en cada uno de ellos.

- Establecer 12 puntos con hidrosiembra que contengan sustrato y una mezcla de semillas de gramíneas comerciales inoculadas con hongos micorrizógenos arbusculares, colocados de forma paralela a los 10 testigos sin micorrizar, intercalados entre los geocostales en ambos puntos de la pendiente expuesta a erosión, que se encuentra en el Peñón del Marqués al oriente de la Ciudad de México; con el fin de comprobar su funcionalidad como propuesta de mitigación de deslaves, mediante un conteo del establecimiento final de plantas en cada uno de ellos.
- Conocer la erosión hídrica presente en la pendiente seleccionada, durante las 12 semanas que dure el experimento, mediante el establecimiento de 8 estacas distribuidas en lugares estratégicos.
- Obtener los registros de pluviometría del sitio experimental durante el periodo de estudio.

DISEÑO EXPERIMENTAL

El experimento fue diseñado para colocar 10 geocostales micorrizados y 10 testigos sin micorrizar, a la par de 12 cuadros de hidrosiembra micorrizados y 10 cuadros de hidrosiembra testigo sin micorrizar, de forma paralela a una pendiente de 30°, bajo condiciones de erosión en el peñón del Marqués ubicado en la Delegación Iztapalapa al oriente de la Ciudad de México. También se realizó la colocación de 8 estacas, colocadas 4 en la parte superior de la pendiente y las otras 4 en la parte inferior de la misma, con el fin de medir la erosión hídrica que se dio durante las 12 semanas que duró el experimento (Fig.1).

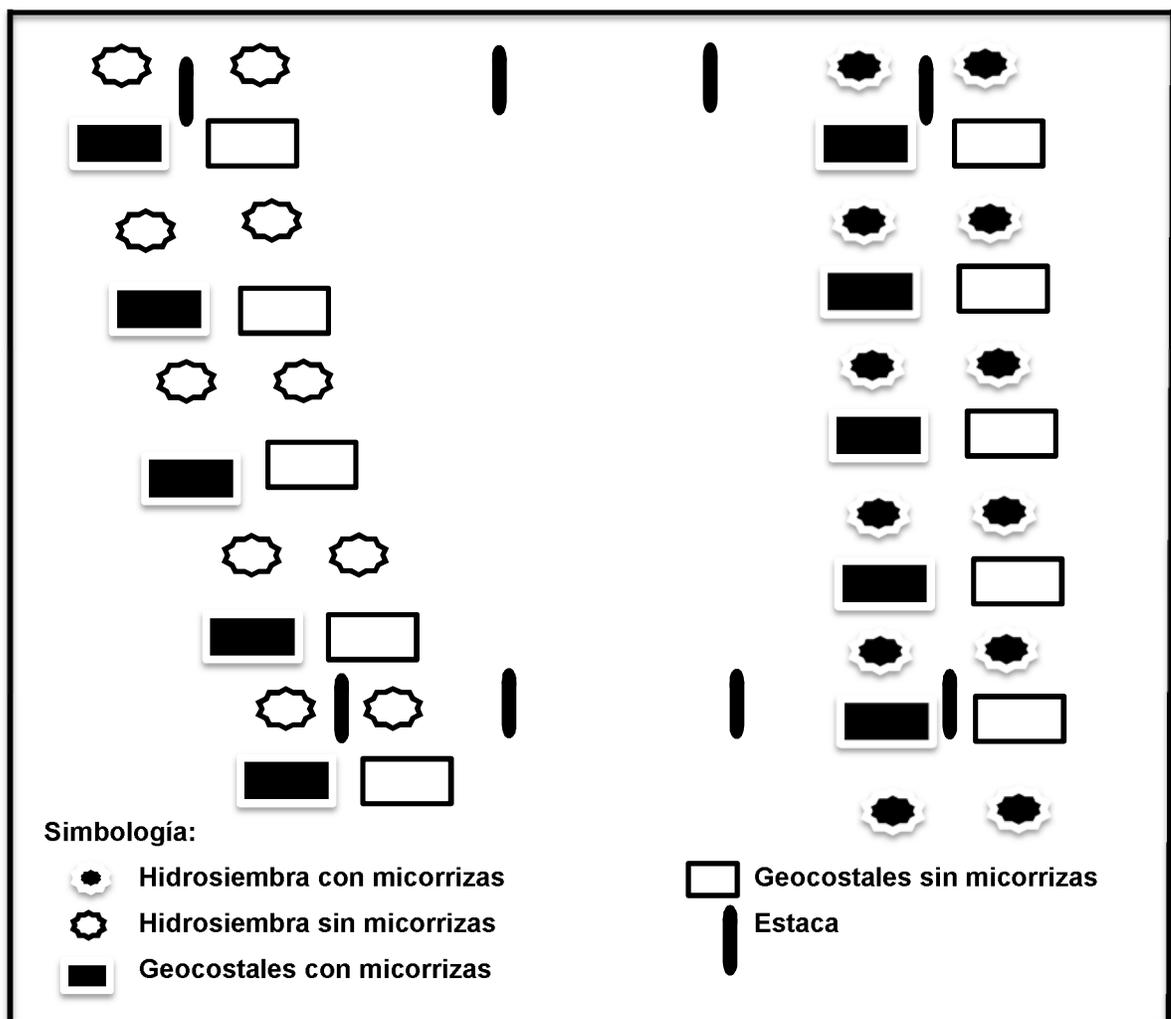


Fig.1 Diagrama del diseño experimental.

La colocación de las estacas en la pendiente se realizó con el fin de medir de erosión (-) o sedimentación (+) presentes en el sitio de estudio y para conocer la dinámica que siguen los sedimentos (Fig.2).

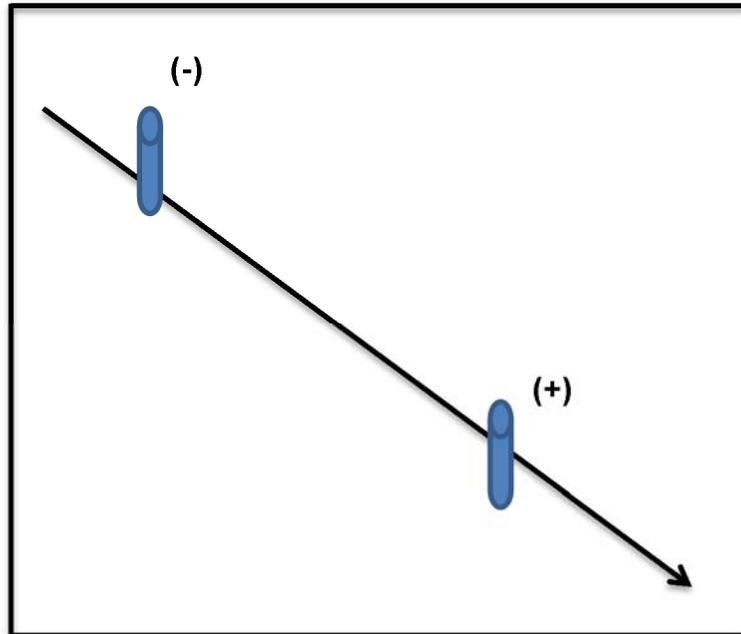


Fig.2 Colocación de las estacas para medir y conocer la dinámica de los sedimentos: El signo (-) indica la erosión o pérdida de sedimentos y el signo (+) indica la sedimentación de las partículas.

METODOLOGIA

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El presente estudio se realizó en una pendiente bajo condiciones de erosión en el peñón del Marqués, ubicado en la Delegación Iztapalapa al oriente de la Ciudad de México. Esta topografía que emergió de la actividad volcánica de la época Plio-Pleistocénica del Cuaternario inferior está formada de andesitas basálticas, con una altura de 2400/msnm, de acuerdo al mapa de climas de la Ciudad de México, Iztapalapa. En el sitio se presenta un clima templado moderado lluvioso, presentando una precipitación promedio anual de entre 600 a 700 mm (12), la temperatura del mes más frío es entre 3 y 18°C, siendo la temperatura del mes más cálido inferior a 22°C y la máxima de 31°C. Entre la vegetación original existen comunidades de pastizales que se reproducen a partir de los 2,240 msnm, desarrollándose sobre suelos principalmente aluviales, siendo las especies *Bouteloua gracilis* (Willd.ex Kunth) Lag. ex Griffiths, *Bouteloua curtipendula* y *Bouteloua hirsuta*, encontradas en las laderas de los cerros de la Delegación. Actualmente el principal uso del suelo en el cerro Peñón del Marqués es habitacional o mixto, presentando serias perturbaciones, resultado de los asentamientos humanos, situación que influye en la falta de recursos naturales (vegetación y fauna), lo que promueve la erosión de los suelos (6).

La pendiente estudiada se considera natural, con una inclinación de 30°, la erosión presente en el sitio depende de diversos factores (principalmente hídricos). En ella se observó la falta de vegetación en el suelo, lo cual promueve movimientos verticales de los sedimentos, que en presencia de agua de lluvia genera cárcavas y deslaves (Fig. 3).



Fig.3 Imagen del sitio de estudio.

REALIZACIÓN Y COLOCACIÓN DE LOS GEOCOSTALES

Preparación de sustrato (Monroy, 2013c)

Se agregaron las siguientes cantidades para cada uno de los geocostales:

- 20 g de semillas mixtas de gramíneas para jardín (*Festuca rubra*, *Cynodon dactylon* (L.) Pers, *Lolium multiflorum* Lam y *Lolium pennisetum* sp).
- 500 g de abono orgánico para jardín (materia orgánica en estado húmico y micro y macronutrientes).

- 1 kg de sustrato, formado por dos partes de arena sílica mediana y una parte en volumen de suelo del Valle de Actopan, Hidalgo.
- En el caso de los geocostales micorrizados, se agregaron: 80 g de suelo inoculado con un consorcio de hongos micorrízicos provenientes de *Bouteloua gracilis* (Willd.ex Kunth) Lag. ex Griffiths, del municipio de Tezontepec de Aldama, Hidalgo.

Los integrantes del sustrato se colocaron en bolsas plásticas donde se revolvieron y posteriormente se agregaron a los geocostales asignados (Fig.4).



Fig.4 Elaboración del sustrato

Elaboración y colocación de geocostales.

Los geocostales se elaboraron con tela de yute con medidas de 20 cm x 30 cm, adicionando al interior una capa de pellón con las mismas medidas, se cosieron tres extremos y se colocaron dos clavos de 4 pulgadas en el interior, para fijarlos en el suelo de la pendiente, posteriormente sobre el fondo de pellón se adicionó uniformemente 1 kg de pasto seco, con el fin de retener humedad. Una vez aplicado el pasto se agregó el sustrato preparado previamente, extendiéndolo de manera uniforme dentro del costal y al concluir se cosió con aguja e hilo el extremo faltante

del costal. De esta forma se llenó cada uno de los 20 geocostales, marcados característicamente para diferenciar los 10 con inóculo de micorrizas y los 10 testigos (Monroy, 2013c). Una vez terminados los 20 geocostales se remojaron en una tina con agua (fig.5) y posteriormente se fijaron con ayuda de los clavos de 5 pulgadas al suelo de la pendiente.



Fig.5 Elaboración de geocostales.

La colocación se realizó en dos líneas paralelas a la pendiente donde se apreciaron signos de erosión, poniendo 5 geocostales micorrizados (G+) de manera vertical descendiente en cada una de las líneas, dejando aproximadamente 30 cm de distancia entre uno y otro, paralelamente a los geocostales micorrizados se colocaron los geocostales testigos no micorrizados (G-) en la misma curva de nivel (Fig.6).



Fig.6 Colocación de los geocostales en la pendiente de estudio.

REALIZACIÓN Y COLOCACIÓN DE HIDROSIEMBRA

Para la elaboración del sustrato total para las 22 muestras de hidrosiembra se revolvieron los siguientes elementos (Monroy *et al.*, 2008a; Monroy, 2013c) (Fig. 7, izquierda):

- 4 kg de cladodios de *Opuntia streptacantha* (extracto).
- 660 g de musgo fresco.
- 1 kg de abono
- 2 kg de claras de huevo.
- 4 kg de suelo del valle del mezquital, hidalgo.

- 6 L de agua.
- 10 g de semillas de gramíneas mixtas para jardín (*Festuca rubra*, *Cynodon dactylon* (L.) Pers, *Lolium multiflorum* Lam y *Lolium pennisetum* sp, para cada uno de los cuadros de hidrosiembra).
- A las 12 muestras micorrizadas se les agregaron 500 g de suelo inoculado con un consorcio de hongos micorrízicos provenientes de *Bouteloua gracilis* (Willd.ex Kunth) Lag. ex Griffiths, colectados en el municipio de Tezontepec de Aldama, Hidalgo.

Para la colocación de hidrosiembra, inicialmente se fijaron con clavos 20 cuadros de yute, con medidas de 20 cm x 20 cm c/u, intercalados de forma vertical en los espacios libres entre los geocostales (Fig.7, derecha). Posteriormente se dividió el sustrato total en dos, el sustrato no micorrizado (testigo) se aplicó a 10 cuadros en el lado izquierdo de la pendiente y se agregaron las semillas a cada uno de ellos. En la hidrosiembra micorrizada se procedió de la misma forma que los testigos, colocando las 12 muestras en el lado derecho de la pendiente y aplicando las semillas (Fig.8).



Fig.7 Colocación de la hidrosiembra.



Fig.8 Colocación de hidrosiembra en la pendiente. La numeración indica el orden de colocación de la hidrosiembra en ambos puntos de la pendiente, del lado izquierdo los 10 puntos de hidrosiembra sin micorrizar (vista desde arriba) y del lado derecho los 12 puntos de hidrosiembra micorrizada (vista desde abajo).

RIEGO Y MEDICIÓN DE PLÁNTULAS EN LAS UNIDADES ESTABLECIDAS

Una vez establecidas ambas ecotecnias se realizó un riego dos veces por semana, durante las primeras ocho semanas, para las cuatro restantes, se regó semanalmente. El riego se efectuó en un lapso de 30 min por sesión a cada uno de los cuadrantes colocados, con un sistema de riego específico que permitió calcular la cantidad de agua agregada durante el tiempo total del experimento, esto con el fin de apoyar los cálculos de erosión hídrica.

La medición de las plántulas se realizó semanalmente a partir del establecimiento de las primeras plántulas, de manera indistinta respecto a la especie, considerándose el establecimiento y desarrollo de las plántulas, considerando 6 rangos de altura de 0 a 30 cm (cada 5 cm), hasta el final del experimento.

COLOCACIÓN DE LAS ESTACAS PARA MEDIR LA EROSIÓN DE LA PENDIENTE

Para conocer el grado de erosión presente en la pendiente, se colocaron 4 pares de estacas de madera en puntos estratégicos de la pendiente, cada una de ellas con una medida de 30 cm (Fig.9), se clavaron 15 cm en el suelo y en base a esta referencia se midió en milímetros la cantidad de suelo perdido (marcado con un -) o sedimentado (marcado con un +). Su ubicación fue la siguiente:

Del primer par, una se colocó entre los geocostales superiores del primer punto de la pendiente y su referencia se colocó entre los geocostales inferiores del mismo punto. Del segundo par, una se colocó paralelamente de la estaca superior del primer punto, a un metro de distancia del lado derecho y su referencia, se colocó sobre el mismo eje vertical en la parte baja de la pendiente. Del tercer par, una se colocó a un metro del lado izquierdo del segundo punto donde se encuentran los geocostales, paralela a las estacas superiores antes colocadas y su referencia, se colocó sobre el mismo eje vertical en la parte baja de la pendiente. Del cuarto par, una se colocó entre los geocostales superiores del segundo punto de la pendiente y su referencia se colocó entre los geocostales inferiores del mismo punto. Las cuatro estacas en la parte superior se colocaron a la misma altura, de forma paralela una de otra, es decir a la misma curva de nivel, del mismo modo las cuatro estacas inferiores y a su vez sobre el mismo eje vertical de sus homologas superiores, esto con el fin conocer la cantidad de suelo que desciende de la parte superior en comparación de la cantidad de suelo que se agregó en la parte baja y a raíz de estas mediciones conocer el grado de erosión provocado cada tres semanas a partir de la fecha de colocación y hasta que el experimento concluyó (Vásquez *et al.*, 2011) (Fig.10).



Fig.9 Elaboración de las estacas.



Fig.10 Colocación de estacas en la pendiente.

CÁLCULO DE LA DENSIDAD APARENTE

Con el fin de apoyar al cálculo final de erosión hídrica en el sitio de estudio, se calculó la densidad aparente mediante el método de la probeta (Ríos, 1988).

TRABAJO DE GABINETE

Para el análisis de los resultados se realizaron:

- Un análisis estadístico de varianza de dos factores (ANDEVA) se realizó con ayuda del software estadístico NCSS 2001 & PASS trial: micorrización (con y sin) y ecotecnias (geocostales e hidrosiembra). Considerando como variable de respuesta al establecimiento de las plantas al finalizar el experimento (12 semanas) (Salgado, 2013).
- El cálculo de la erosión hídrica, presente en el sitio durante el tiempo que duró el experimento (12 semanas). El cálculo de la erosión general presente en el sitio durante el tiempo que duró el experimento se realizó de acuerdo a una modificación de Vásquez 2011, considerando como positivas (+) las cantidades representativas de sedimentación y como negativas (-) las cantidades representativas de erosión o pérdida de suelo, fueron sumadas algebraicamente todas las lecturas obtenidas en cada una de las estacas, arrojando finalmente el valor promedio expresado en mm de suelo y calculando finalmente mediante la siguiente fórmula (Vásquez *et al.*, 2011):

$$Ps = h * D.A. * 10$$

Dónde: **Ps** es la pérdida de suelo por erosión o sedimentación (ton/ha/año), *h* es la lámina de suelo erosionado o sedimentado (mm), *D.A.* es la densidad aparente del suelo (gr/cm³) y 10 es el factor de conversión a ton/ha

- Para conocer la dinámica del suelo en cuanto a pérdidas y ganancias de sedimentos generados por la acción erosiva del agua. Con la misma fórmula usada anteriormente se calculó la erosión hídrica de cada una de las estacas, promediando las cuatro estacas colocadas en la parte superior de la pendiente (las estacas: 1, 3, 5 y 7) y así mismo, las cuatro estacas ubicadas en la parte inferior de la pendiente (las estacas 2, 4, 6 y 8).

RESULTADOS

ESTABLECIMIENTO DE LAS GRAMÍNEAS

Las primeras plántulas establecidas fueron registradas desde la primera semana posterior al establecimiento de las ecotecnias en la pendiente (Fig.11). Al realizarse la colocación de la hidrosiembra y en días posteriores a la misma, se observó la presencia de aves que tomaban como alimento las semillas colocadas sobre el sustrato de la ecotecnia. Posteriormente, con ayuda de las lluvias y el riego efectuado, se pudo observar un lavado de semillas y sustrato en los cuadros de hidrosiembra, provocados por efecto del agua. Al mismo tiempo se observó que los sedimentos del suelo al ser arrastrados hacia la parte inferior de la pendiente fueron detenidos por los geocostales, los cuales brindaron una barrera física, promoviendo con ello la germinación y desarrollo de plantas ajenas a las establecidas en las ecotecnias; se cree que las semillas provenían de lugares cercanos o bien se encontraban en el banco de semillas del sitio de estudio, y al encontrar las condiciones precisas para su desarrollo (humedad y nutrientes), generadas por las ecotecnias lograron su establecimiento en el sitio (Fig. 12 y 13).

Respecto a la micorrización de las ecotecnias, se observó durante las primeras semanas un mayor establecimiento de las gramíneas en las ecotecnias que estaban ausentes de los microorganismos, sin embargo, al transcurrir el tiempo, las ecotecnias micorrizadas mostraron un mayor establecimiento y desarrollo de plantas, además de reflejar una mayor resistencia a las condiciones ambientales.

Conforme fue avanzando el tiempo del experimento y hasta finalizar el mismo, se vió un arrastre progresivo del sustrato de los cuadros de hidrosiembra y un menor establecimiento de plantas. Lo que respecta a las gramíneas colocadas en los geocostales, se observó un buen establecimiento y desarrollo en las 20 unidades colocadas, durante las 12 semanas de realización del estudio (Fig.14, 15, 16 y 17).

Después de las primeras semanas posteriores a la colocación de las ecotecnias, se observó que las unidades micorrizadas tuvieron un mayor establecimiento, desarrollo, resistencia y supervivencia que los testigos no micorrizados (Fig. 16). Al finalizar el periodo de estudio fue visible la contribución paisajística brindada por la colocación de las ecotecnias (Fig.17).

ESTABLECIMIENTO DE PRIMERAS PLÁNTULAS



Fig.11 Primeras plántulas establecidas.

ESTABLECIMIENTO DE PLANTAS EN LA SEMANA 4 (DÍA 27)



Fig.12 Imágenes que muestran la barrera física que ejercen los geocostales al sustrato (izquierda) y el comienzo del arrastre de la hidrosiembra, ejercido por el agua (derecha).



Fig.13 Vista general de los dos puntos de colocación de las ecotecnias en la pendiente de estudio, a las 4 semanas de establecimiento.

ESTABLECIMIENTO DE PLANTAS EN LA SEMANA 8 (DÍA 51)



Fig.14 Imágenes de la sedimentación generada por los geocostales a las 8 semanas posteriores a la germinación.



Fig.15 Imagen general de las ecotecnias a las 8 semanas posteriores al establecimiento de las primeras plántulas.

ESTABLECIMIENTO DE PLANTAS EN LA SEMANA 12 (DÍA 81)



Fig.16 Imágenes individuales del establecimiento final de las ecotecnias.



Fig.17 Imagen del sitio al finalizar el estudio.

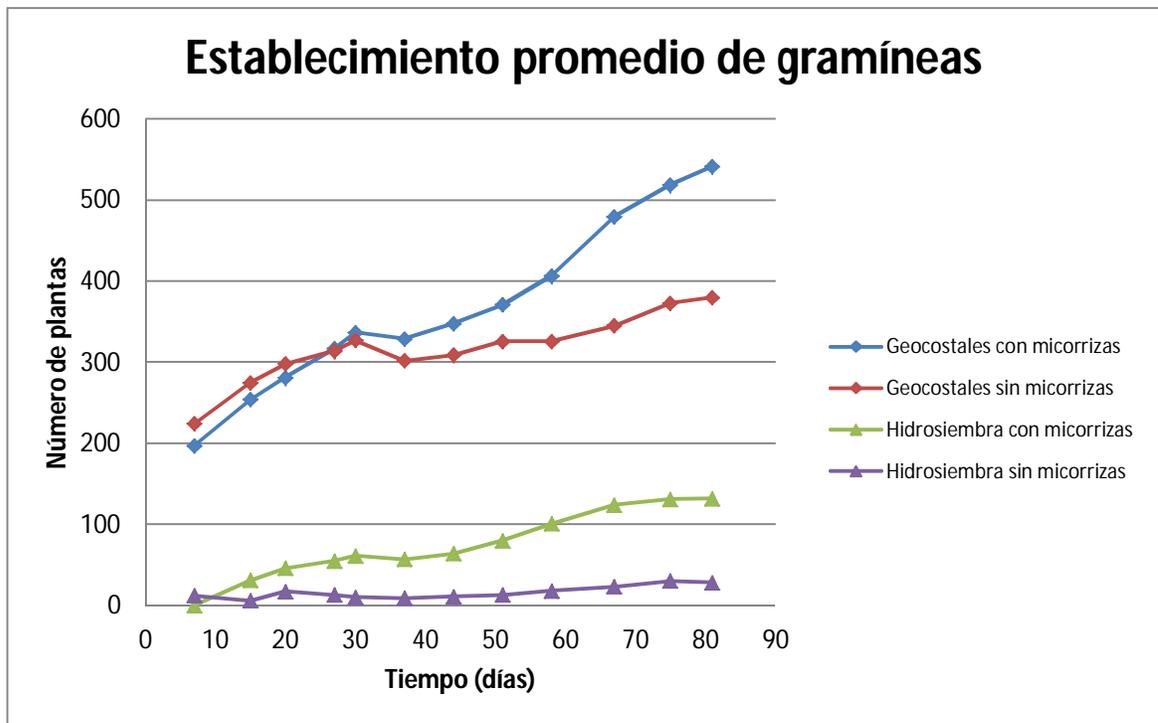
ESTABLECIMIENTO PROMEDIO DE LAS GRAMÍNEAS DURANTE EL PERIODO DE ESTUDIO

La Tabla 1, muestra el establecimiento promedio de las gramíneas en las unidades que forman parte de la ecotecnia de geocostales micorrizados (10) y sin micorrizar (10) y de las unidades de hidrosiembra micorrizadas (12) y su testigo sin micorrizas (10), durante el periodo de estudio (12 semanas).

Se observó que emergieron plantas en los 20 geocostales, presentándose durante las primeras semanas de medición un mayor número de establecimientos dentro del sustrato no micorrizado, mostrando que para la quinta semana (día 30) en adelante fue el sustrato micorrizado el que presentó una mayor cantidad de establecimientos, conservándose así hasta finalizar el estudio. En el caso de las 22 unidades de hidrosiembra, se observó una mayor cantidad de emergencias en el sustrato micorrizado desde las primeras mediciones, conservándose así hasta finalizar el estudio (Gráfica 1).

Tabla 1. Número promedio semanal de gramíneas establecidas en cada ecotecnia. La letra G indica la ecotecnia de Geocostales, la letra H indica la ecotecnia Hidrosiembra, el símbolo (+) indica la presencia de micorrizas y el signo (–) la ausencia de micorrizas.

FECHA	Día	G+ (10)	G- (10)	H+ (12)	H- (10)
02-nov-13	7	197	224	0	12
11-nov-13	15	254	275	31	6
16-nov-13	20	281	298	46	17
23-nov-13	27	317	314	55	13
30-nov-13	30	337	327	61	10
07-dic-13	37	329	302	57	9
14-dic-13	44	348	309	64	11
21-dic-13	51	371	326	80	13
28-dic-13	58	407	326	101	18
06-ene-14	67	480	345	124	23
14-ene-14	75	519	373	131	30
20-ene-14	81	542	380	132	28

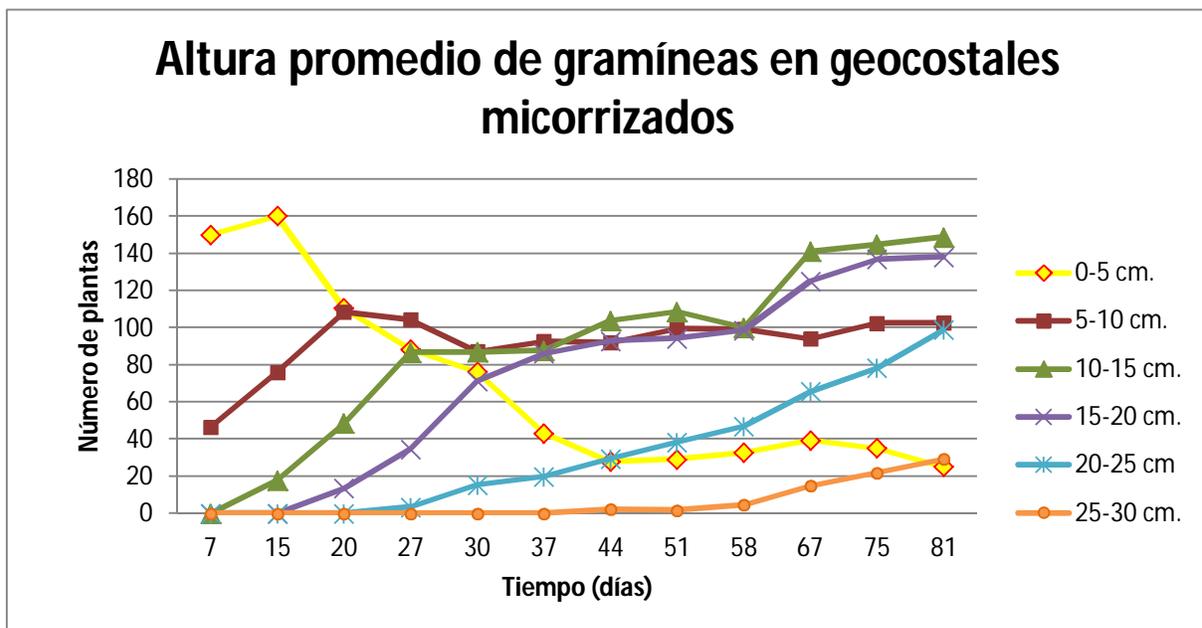


Gráfica 1. Establecimiento promedio semanal de gramíneas en cada una de las ecotecnias.

ALTURA PROMEDIO DE LAS GRAMÍNEAS

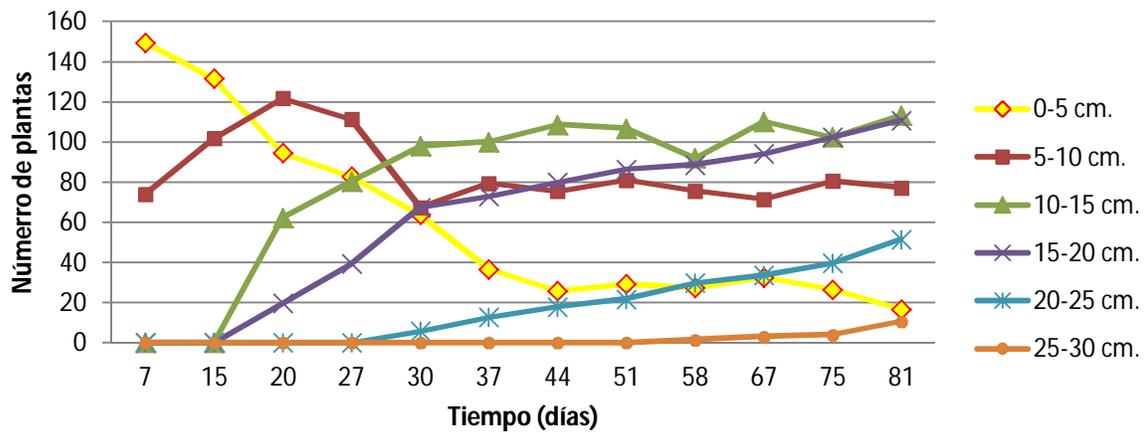
El desarrollo de las gramíneas fue evaluado semanalmente por la altura promedio presentada en las unidades de cada una de las ecotecnias. La altura de las plantas fue medida cada 5 cm, considerando 6 rangos de 0 a 30 cm. De acuerdo a los datos obtenidos se observó un crecimiento constante en la ecotecnia de geocostales durante el periodo de estudio (Gráficas 2 y 3). Los primeros 27 días se dió un mayor desarrollo entre los 0 a 15 cm, conforme avanzó el estudio se observó un aumento gradual entre los individuos de 15 a 25 cm y una disminución en la cantidad de individuos que se encontraban entre los 0 a 5 cm; siendo las alturas dominantes en esta ecotecnia entre los 5 a 20 cm. Los geocostales micorrizados presentaron un mayor número de establecimientos entre los 25 a 30 cm a partir del día 58 (Gráfica 2), en comparación con sus testigos no micorrizados que mostraron un ligero desarrollo para el día 75 (Gráfica 3).

El comportamiento de la hidrosiembra fue variable debido a que no todas unidades se conservaron en su posición inicial; en general, se observó principalmente el establecimiento de individuos entre los 0 a 15 cm en el día 30. En el caso de la hidrosiembra micorrizada, se vió un desarrollo gradual y constante de los individuos con alturas de 20 a 25 cm a partir del día 27, conservándose hasta finalizar el estudio y siendo la altura máxima alcanzado por los individuos dentro de esta ecotecnia (Gráfica 4). En la hidrosiembra no micorrizada, se vió un desarrollo mayor a los 15 cm a partir del día 51 y para el día 75 se observó el desarrollo de individuos entre los 20 a 25 cm, límite que represento la altura máxima encontrada en esta ecotecnia (Gráfica 5).



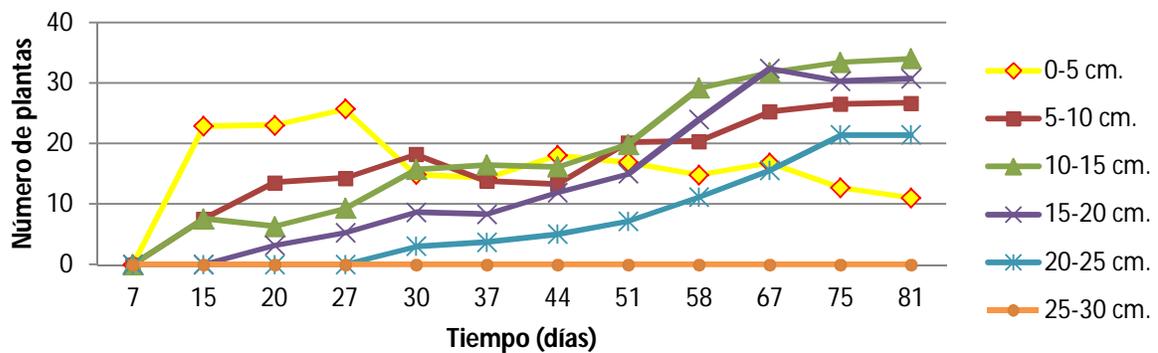
Gráfica 2. Muestra el número promedio de plantas establecidas dentro de los 6 intervalos de altura (de 0 a 30 cm) considerados durante el periodo de estudio.

Altura promedio de gramíneas en geocostales no micorrizadas

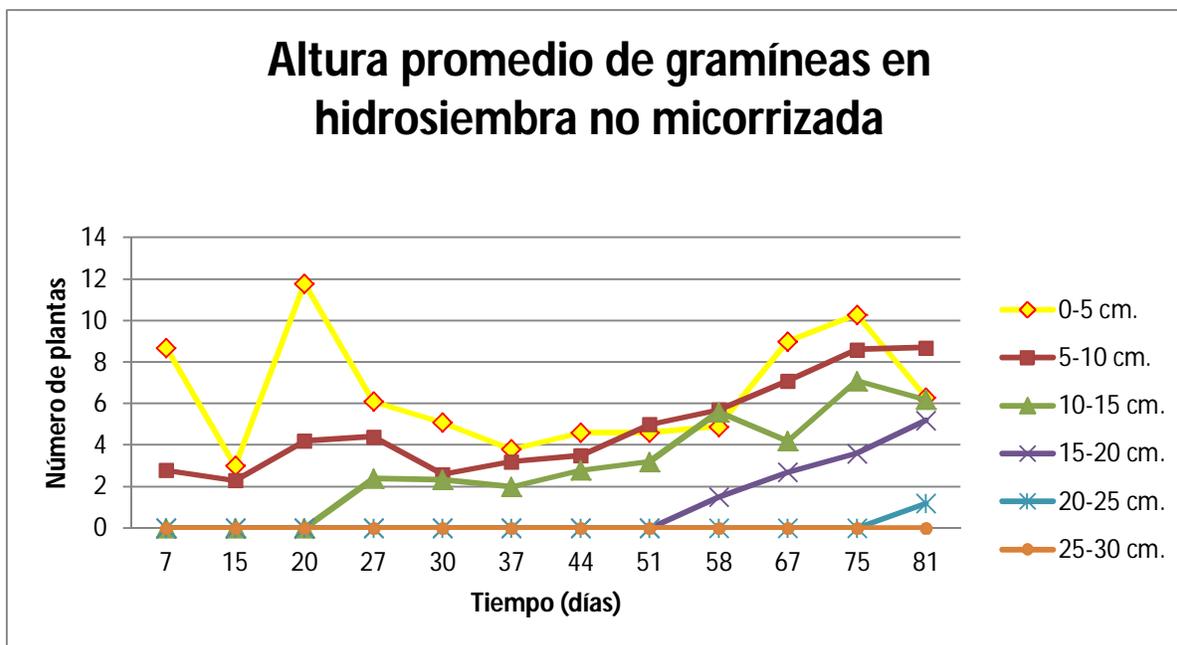


Gráfica 3. Muestra el número promedio de plantas establecidas dentro de los 6 intervalos de altura (de 0 a 30 cm) considerados durante el periodo de estudio.

Altura promedio de gramíneas en hidrosiembra micorrizada



Gráfica 4. Muestra el número promedio de plantas establecidas dentro de los 6 intervalos de altura (de 0 a 30 cm) considerados durante el periodo de estudio.



Gráfica 5. Muestra el número promedio de plantas establecidas dentro de los 6 intervalos de altura (de 0 a 30 cm) considerados durante el periodo de estudio.

ESTABLECIMIENTO FINAL DE LAS PLANTAS SEGÚN EL TRATAMIENTO

En la tabla 2 se muestra el promedio general del desarrollo de las gramíneas al finalizar el estudio, en ella se observa el número de gramíneas germinadas (plántulas de 0-5 cm), las emergidas (de 5-30 cm), los decesos y el establecimiento final (suma algebraica del promedio de germinadas (+), emergidas (+) y decesos (-)) presentes en las ecotecnias.

Tabla 2. Promedio general de gramíneas presentes en cada de ecotecnia al finalizar el estudio.

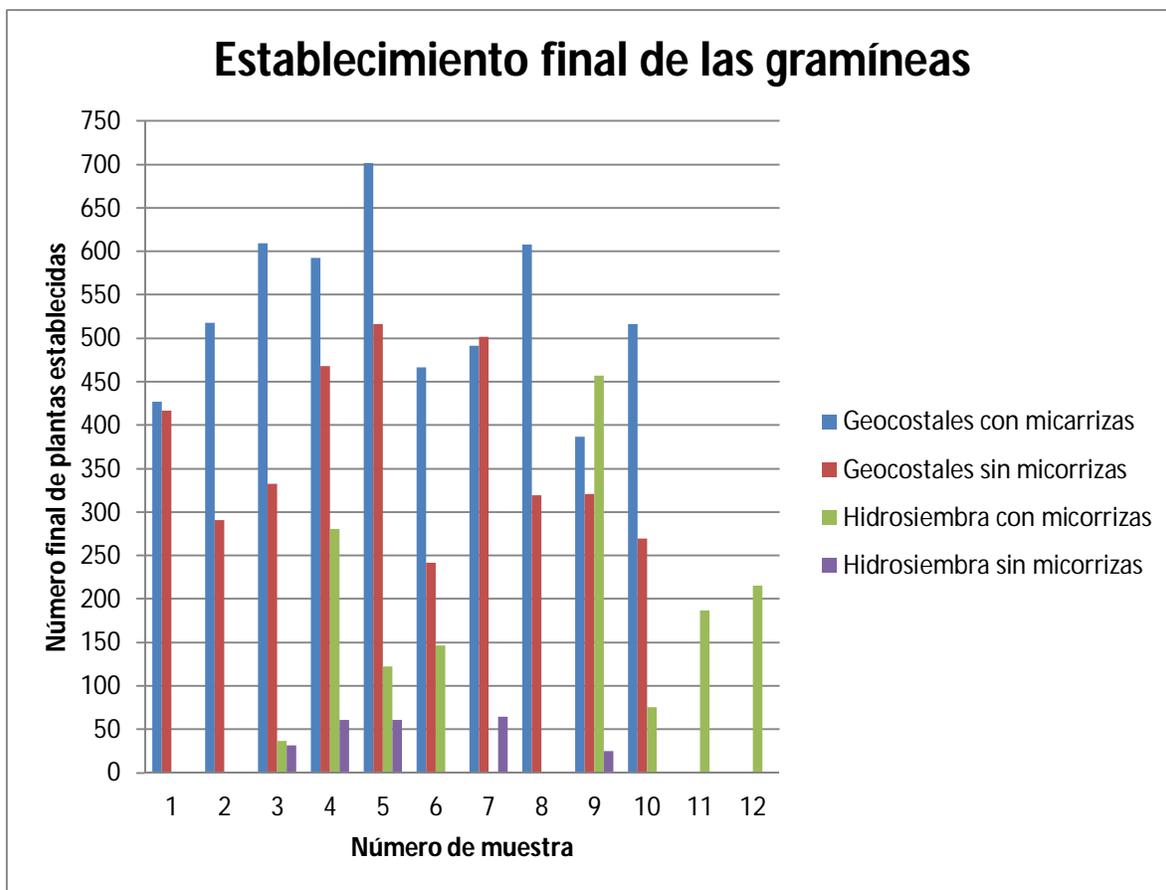
PARÁMETRO	TRATAMIENTO			
	G+(10)	G- (10)	H+ (12)	H-(10)
Germinadas	68	60	16	7
Emergidas	365	317	74	16
Decesos	10	12	4	3
Establecimiento final	423	365	86	20

La Tabla 3, muestra el número de gramíneas establecidas por unidad experimental (10 geocostales micorrizados y sus 10 testigos sin micorrizar y los 12 cuadros de hidrosiembra micorrizados junto a sus 10 testigos sin micorrizas) de cada tratamiento al finalizar el estudio (semana12) (Gráfica 6), su promedio final y su desviación estándar (Gráfica 7).

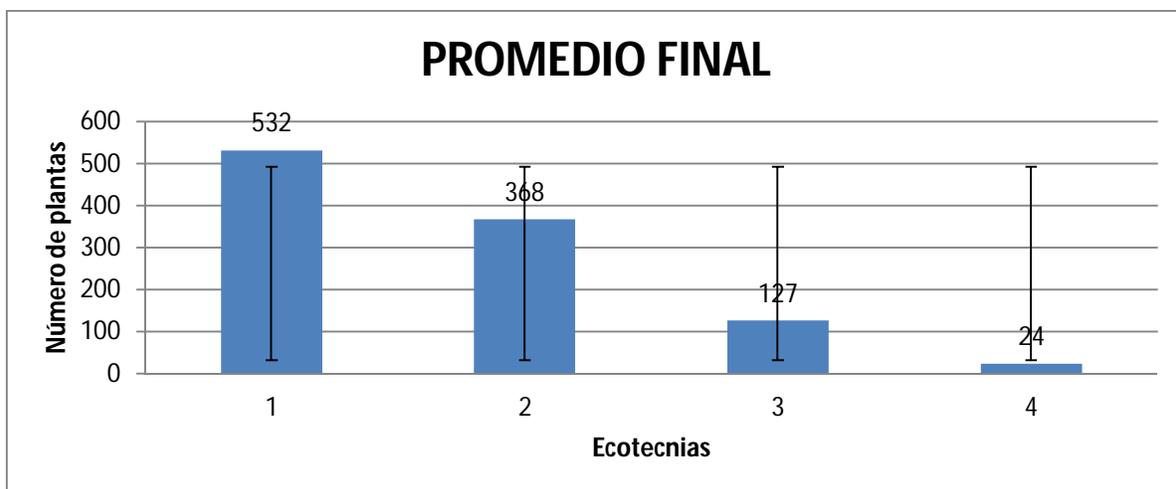
Tabla 3. La letra G indica a los geocostales, la letra H a la hidrosiembra, el signo + a la micorrización y el signo - la ausencia de micorrizas.

NÚMERO DE UNIDAD	ESTABLECIMIENTO FINAL DE GRAMÍNEAS			
	G+	G-	H+	H-
1	427	417	0	0
2	518	291	0	0
3	610	333	37	32
4	593	468	281	61
5	702	517	123	61
6	467	242	147	0
7	492	502	0	65
8	608	320	0	0
9	387	321	457	25
10	517	270	76	0
11			187	
12			216	
PROMEDIO	532	368	127	24
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	95	99	141	29

Los resultados reflejan la funcionalidad de cada una de las ecotecnias y la influencia que la micorrización desempeña en el establecimiento de las gramíneas. Se observa la ausencia de gramíneas en algunas unidades de hidrosiembra (1, 2, 7 y 8 del sustrato micorrizado y el 1, 2, 6, 8 y 10 de los testigos sin micorrizas). Por otro lado se aprecia que entre la ecotecnia micorrizada y su testigo se presentó un mayor establecimiento de plantas en la ecotecnia en presencia de hongos micorrizógenos. También se puede apreciar el establecimiento de gramíneas en los 20 geocostales, siendo el sustrato micorrizado el que presenta un mayor desarrollo de gramíneas, con excepción de los geocostales número 7 de ambos tratamientos, en donde se ve una ligera cantidad a favor del testigo.



Gráfica 6. Promedio final de plantas establecidas por unidad experimental de cada tratamiento, al finalizar el estudio (12 semanas).



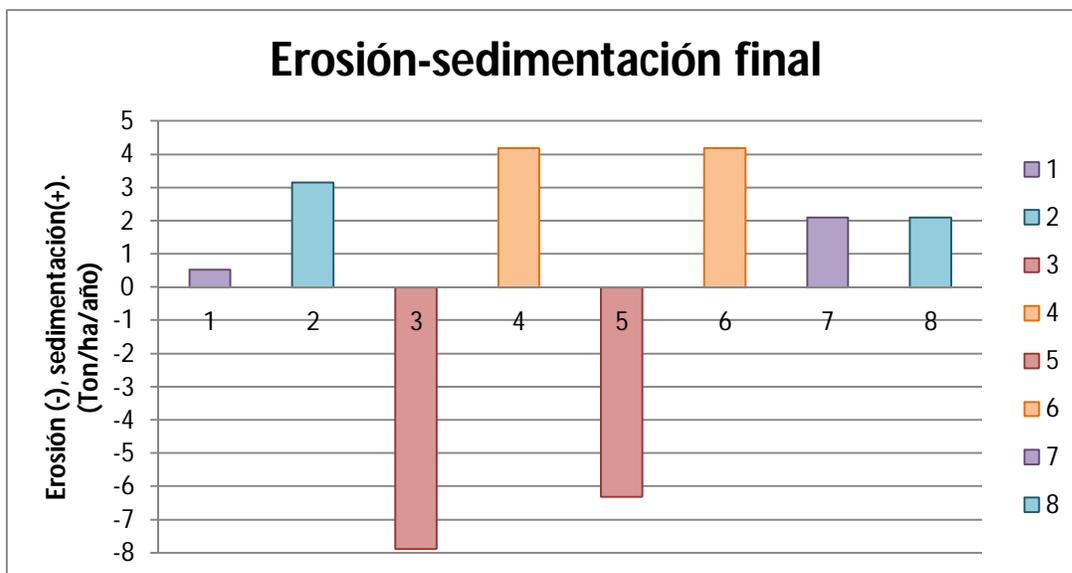
Gráfica 7. Promedio final de los cuatro tratamientos con su desviación estándar al finalizar el estudio. El número 1 representa a la ecotecnia de geocostales con micorrizas, el número 2 a los geocostales sin micorrizas, el número 3 representa a la hidrosiembra con micorrizas y el número 4 a la hidrosiembra sin micorrizas.

ESTACAS Y EROSIÓN HÍDRICA

En la Tabla 4 se observan las pérdidas y ganancias que se registraron periódicamente en las estacas, así como la erosión hídrica que presentó cada una de ellas. En ella se observa cómo en las primeras semanas del establecimiento de las ecotecnias en la pendiente, las 4 estacas colocadas en la parte superior de la pendiente (estacas 1, 3, 5 y 7) se da una pérdida de suelo y conforme avanza el tiempo del experimento y se genera un mayor establecimiento de las plantas en las ecotecnias, se ve como en las estacas 1 y 7 se da paulatinamente una sedimentación en lugar de pérdidas y en las estacas donde no hay ecotecnias presentes, continua dándose una pérdida de sedimento en el transcurso del experimento, que va en relación con la precipitación y riego. En cuanto a las estacas ubicadas en la parte inferior de la pendiente (estacas 2, 4, 6 y 8) se observa siempre una sedimentación causada por el movimiento vertical de las partículas del suelo que son arrastradas por el agua, misma que se disminuye por efecto de barrera que generan los geocostales, en las estacas 2 y 8 (Gráfica 8).

Tabla 4. Medición registrada de la erosión y sedimentación generada en la pendiente, durante el tiempo de estudio y erosión hídrica final calculada para cada una de las estacas (Ton/ha/año).

Número de estaca	Número de medición				Erosión hídrica final (T/ha/año)	Ubicación
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a		
	Erosión (-)/ Sedimentación (+) (Cm)					
1	-2	1.5	1	0	0.5	PLANTAS ARRIBA
2	2	1	0	0	3.1	PLANTAS ABAJO
3	-3	-2	-1.5	-1	-7.9	SUELO ARRIBA
4	2	1	1	0	4.2	SUELO ABAJO
5	-2.5	-2	-1	-0.5	-6.3	SUELO ARRIBA
6	2	1	1	0	4.2	SUELO ABAJO
7	-1	1.5	1	0.5	2.1	PLANTAS ARRIBA
8	1	0.5	0.5	0	2.1	PLANTAS ABAJO



Gráfica 8. Erosión final (Ton/ha/año) por estaca de medición. Las estacas 1 y 7 fueron colocadas en la parte superior de la pendiente en presencia de ecotecnias, las estacas 3 y 5 se colocaron en la parte superior de la pendiente en ausencia de ecotecnias, las estacas 2 y 8 fueron colocadas en la parte inferior de la pendiente en presencia de las ecotecnias y las estacas 4 y 6 fueron sus homónimas en ausencia de las ecotecnias.

La erosión hídrica calculada al final del experimento fue de: **2.1 Ton/ha/año**, resultado que refleja que la erosión total es baja en la pendiente, durante el periodo de estudio. Este resultado se ve influenciado por la colocación de las ecotecnias, principalmente por la barrera física que ejercen los geocostales

En cuanto a la dinámica de los sedimentos en la pendiente, se observa en la Tabla 5, que de acuerdo al promedio total de las estacas colocadas en la parte superior de la pendiente (estacas 1, 3,5 y 7) se presenta una pérdida anual menor, en comparación a la sedimentación promediada de las estacas colocadas en la parte inferior (2, 4, 6 y 8).

Por otro lado, se observó que en presencia de las ecotecnias se da una sedimentación tanto en la zona superior (estacas 1 y 7) como en la inferior (estacas 2 y 8), dicha sedimentación es baja en ambos puntos y se debe al efecto de barrera gradual provocado por el establecimiento de las gramíneas y plantas circundantes,

establecidas principalmente por influencia de los geocostales. En ausencia de las ecotecnias se dió una pérdida considerable en la parte superior (estacas 3 y 5) y una sedimentación media en la zona inferior (estacas 4 y 6).

Tabla 5. Erosión hídrica promedio, obtenida de las mediciones de las estacas superiores e inferiores, colocadas en la pendiente.

	Total (4 puntos)	Con ecotecnias (2 puntos)	Sin ecotecnias (2 puntos)
Parte superior	-2.89 Ton/ha/año	1.31 Ton/ha/año	-7 Ton/ha/año
Parte inferior	3.41 Ton/ha/año	2.63 Ton/ha/año	4.2 Ton/ha/año

PRECIPITACIÓN

La Tabla 6 muestra la cantidad de agua que ingresó al sistema durante el periodo de estudio, en ella se considera el agua que ingresó de manera natural por medio de la precipitación (13), el agua agregada mediante el riego semanal (2 veces por semana durante las primeras 8 semanas y 1 vez a la semana las últimas 4 semanas) y finalmente la suma del volumen total ingresado en el área donde fueron colocadas las ecotecnias.

Tabla 6. Agua ingresada al sitio de estudio.

Días	Precipitación	Riego	Volumen Total
0-30	216	1200	1416
31-60	15	720	735
61-81	0.24	360	360.24

DISCUSIÓN

ESTABLECIMIENTO Y FUNCIONALIDAD DE LAS ECOTECNIAS

Los resultados obtenidos reflejan una mayor cantidad de establecimientos totales en la ecotecnia de geocostales en comparación a la ecotecnia de hidrosiembra, se considera que los resultados se vieron influenciados por las condiciones en que se colocaron las ecotecnias, ya que al estar las unidades de hidrosiembra expuestas al ambiente se generó un deceso en la cantidad total de semillas colocadas para su germinación, en primer lugar debido a las aves que se sirvieron de ellas para alimentarse, en segundo lugar por el arrastre de sedimentos que generó el movimiento gravitacional del agua.

En México el uso de las ecotecnias propuestas en el presente trabajo es limitado, algunas instituciones como la SEMARNAT hacen uso activo de geocostales para impedir deslaves y reparar cárcavas, sin embargo el uso de hidrosiembra es aún una técnica pionera en la práctica mexicana, razón que conlleva a una elaboración y colocación manual del sustrato; considerado como uno de los principales motivos del arrastre efectuado por el agua de escorrentía.

Un hecho observado fue la barrera física que los geocostales representaron a los sedimentos del suelo, lo que ayudó a retener una parte del sustrato arrastrado de las unidades de hidrosiembra, consiguiendo con ello el establecimiento circundante de las gramíneas colocadas en dicha ecotecnia y brindando al mismo tiempo condiciones propicias para el desarrollo de semillas pertenecientes al banco de semillas del sitio de estudio, factor que parece ser positivo para la recuperación del espacio y que al mismo tiempo influye en la composición y distribución de la vegetación (Han *et al.*, 2011). Los estudios realizados en otros países se enfocan principalmente en analizar los materiales de geotextiles y geomembranas usados para retener sustrato y desarrollar cobertura vegetal para la protección de taludes, comprobando sus múltiples beneficios, como la retención de humedad, estabilizar la

temperatura del suelo y mejorar en general las condiciones para el crecimiento de diversas especies de plantas (Shao *et al.*, 2014)); estos materiales cuya procedencia puede ser natural o sintética representa el material a usarse en la elaboración de los geocostales. Algunos estudios han demostrado la utilidad de los geocostales para incrementar la biomasa aérea de algunas gramíneas en Tailandia y China, proponiendo dicha ecotecnia como una opción de producción con beneficios potenciales (Bhattacharyya *et al.*, 2012).

De acuerdo al ANDEVA de dos factores realizado en el software estadístico NCSS 2001 & PASS trial (ANEXO 1) se encuentra un grado de significancia menor a 0.05, entre la comparación efectuada a las ecotecnias de geocostales e hidrosiembra, misma que es reafirmada por la prueba de comparación múltiple de Bonferroni, mostrando una diferencia significativa en el comportamiento de ambas ecotecnias ante las condiciones en que fue establecido el estudio. Esta diferencia favorece a la ecotecnia de geocostales (Salgado, 2013).

Por otro lado el análisis del efecto que la micorrización tuvo sobre el establecimiento de las gramíneas en ambas ecotecnias fue significativo ($\alpha < 0.05$) favor de los tratamientos micorrizados. La diferencia significativa entre las unidades micorrizadas y sus testigos no micorrizados, en ambas ecotecnias, es reafirmada por la prueba de comparación múltiple de Bonferroni, que establece que las unidades son distintas entre sí. Sin embargo, al realizar una comparación que considerara a las ecotecnias y la micorrización, no hubo diferencia significativa, debido probablemente a la ausencia de gramíneas en la mayoría de las unidades de hidrosiembra durante el periodo de estudio, factor que no favoreció el cumplimiento de homocedasticidad entre las varianzas de las ecotecnias.

En la Gráfica 1 del ANEXO 1 se observa que de manera general, en la ecotecnia de geocostales se presentó una mayor cantidad de gramíneas que en la hidrosiembra. Al mismo tiempo en la Gráfica 2 del ANEXO 1, se observó como en las muestras micorrizadas de ambas ecotecnias hubo una mayor cantidad de establecimientos en comparación con sus testigos no micorrizados.

Las múltiples ventajas que los hongos micorrizógenos arbusculares brindan a la planta mediante la asociación simbiótica, es un hecho fundamentado por diversos estudios, que demuestran como las micorrizas al facilitar la obtención y asimilación de nutrientes al sistema radical, intervienen de manera positiva en los ciclos biogeoquímicos y del agua, promoviendo un incremento en la biomasa aérea y radical (reflejado en la altura final de las gramíneas establecidas). Debido a las ventajas antes mencionadas autores como Noda y Díaz Franco proponen la difusión del conocimiento obtenido a través de la experiencia sobre su manejo (Díaz *et al.*, 2013; Noda, 2009.)

ESTACAS Y EROSIÓN HÍDRICA

De acuerdo a las lecturas finales de las estacas se puede observar que la presencia de las ecotecnias ayudo a retener los sedimentos del suelo que se veían arrastrados por la pendiente debido al efecto de la escorrentía del agua. En la Gráfica 7 se puede observar cómo en los sitios de la parte superior de la pendiente en ausencia de las ecotecnias son los dos únicos puntos (estacas 3 y 5) en donde se da la pérdida de sedimentos del suelo por efecto del arrastre del agua, mientras que los dos puntos superiores (estacas 1 y 7) con presencia de ecotecnias reflejan una sedimentación, al igual que los cuatro puntos colocados en la parte inferior de la pendiente (estacas 2, 4, 6 y 8). Lo que muestra la funcionalidad que representa el establecimiento de las gramíneas en la pendiente, ayudando a evitar la pérdida de suelo y con ello la disminución de recursos bióticos (banco de semillas) y abióticos (nutrientes) presentes en el sitio de estudio.

La funcionalidad que representa el establecimiento de las gramíneas para la recuperación de la pendiente se da por el desarrollo de un sistema radical adventicio que permite la agregación del suelo y con ello favorece la estabilidad del mismo, evitando la disminución de recursos bióticos (banco de semillas, hojarasca y

desarrollo de microorganismos) y abióticos (nutrientes y humedad) presentes en el sitio de estudio (Bhattacharyya *et al.*, 2010a; Bochet *et al.*, 2009).

Cabe señalar, que la funcionalidad aparente de las ecotecnias se debe a las condiciones específicas del sitio elegido, así como, de las condiciones de establecimiento de las unidades, del riego efectuado y lluvia presentes durante el periodo en que se realizó. También, es necesario resaltar que el desarrollo y establecimiento de las gramíneas se registró únicamente en el lapso en que duró el estudio, por lo que se puede asegurar su funcionalidad para evitar la erosión hídrica a corto plazo.

CONCLUSIONES

Entre las conclusiones más importantes del presente estudio se pueden destacar las siguientes:

- De acuerdo al análisis estadístico (Gráfica 1 del ANEXO I) se concluye que de las ecotecnias colocadas en la pendiente, los geocostales brindaron un mayor soporte para el desarrollo y establecimiento de las gramíneas durante el periodo de estudio, por lo que se considera que son la mejor opción para el establecimiento de plantas en la pendiente de estudio, en comparación con la ecotecnia de hidrosiembra.
- La colocación de hongos micorrizógenos arbusculares en las ecotecnias, incrementó significativamente el establecimiento final de las gramíneas en ambas ecotecnias, respecto a sus testigos no micorrizados (Gráfica 2 del ANEXO I).
- Las estacas reflejan que en los sitios en donde se establecieron las gramíneas (tanto en la parte superior, como en la inferior de la pendiente) se observa una disminución en el arrastre de sedimentos (principalmente por efecto de los geocostales), reteniendo el sustrato removido por el efecto del agua.
- El establecimiento de los geocostales en la pendiente, al presentar una barrera física para los sedimentos del sustrato arrastrados por el agua, promueven el establecimiento de plantas circundantes, pertenecientes al banco de semillas del sitio de estudio.

RECOMENDACIONES

De acuerdo al comportamiento observado en las ecotecnias, bajo las condiciones del estudio, se brindan las siguientes recomendaciones:

- Para posteriores estudios en campo, realizar la colocación de la hidrosiembra de forma escalonada en pendientes pronunciadas (mayores a 45°) y el uso de una geomembrana (cuadro de yute) que cubra la hidrosiembra y con ello evite la pérdida de sustrato y semillas, por efecto de las aves y el movimiento vertical del agua (14).
- También se propone realizar estudios de mayor durabilidad para establecer si las especies seleccionadas en el presente estudio son funcionales para la rehabilitación de espacios degradados a largo plazo (15).
- De acuerdo a las características del sitio seleccionado, promover el uso de especies adecuadas para la rehabilitación y estabilidad del sustrato.
- Promover el uso de hongos micorrizógenos arbusculares como un factor funcional de apoyo en el establecimiento de plantas en pendientes y otros sustratos degradados.

REFERENCIAS

- Alcántara A.I, Echavarría L.A, Gutiérrez M.C, Domínguez M.L, Noriega R.I. 2008. Inestabilidad de laderas. 2^a ed. Centro Nacional de Prevención de Desastres. México D.F. Pp:5-23.
- Álvarez-Mozos J, Abad E, Giménez R, Campo M.A, Goñi M, Arive M, Casali J, Díez J, Diego I. 2013. Evaluation of erosion control geotextiles on steep slopes. Part 1: Effects on runoff and soil loss, *Catena* xxx. Pp:1-11.
- Arriaga. 2009. Implicaciones del cambio de uso del suelo en la biodiversidad de los matorrales xerófilos: un enfoque multiescalar. *Revista investigación ambiental*. Instituto Nacional de Ecología. Vol.1:6-16.
- Begon M., J.L. Harper y C.R. Townsend. 1999. *Ecología: individuos, poblaciones y comunidades*. Ediciones Omega. Barcelona, España. Pp:58-87.
- Belmonte S.F., Romero D.M.A., López B.F. 1999. “Efectos sobre la cubierta vegetal, la escorrentía y la erosión del suelo, de la alternancia cultivo-abandono en parcelas experimentales”. *Investigaciones geográficas*. No. 22:95-107.
- Bhattacharyya R., Fullen M.A., Davies K., Booth C.A. 2010a. Use of palm-mat geotextiles for rainsplash erosion control. *Geomorphology* No.119:52–61.
- Bhattacharyya R., Smets T., Fullen M.A., Poesen J., Booth C. A. 2010b. Effectiveness of geotextiles in reducing runoff and soil loss: A synthesis. *Catena* No.81:184–195.
- Bhattacharyya R., Yi Z., Yongmei L., Li T., Panomtaranichagul M., Peukrai S., Chau T. D., Huu C. T., Toan T. T., Jankauskas B., Jankauskiene G., Fullen M.A., Subedi M., Booth C.A. 2012. Effects of biological geotextiles on aboveground biomass production in selected agro-ecosystems. *Field Crops Research* No.126:23–36.

- Blanco F.A, Salas E.A. 1997. Micorrizas en la agricultura: contexto mundial e investigación realizada en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* Vol. 21(1):55-67.
- Bochet E., García-Fayos P., Tormo J. 2009. How can we control erosion of roadslopes in semiarid mediterranean areas? soil improvement and native plant establishment. *Land degradation & development* DOI: 10.1002/ldr.911. Publicado online en: www.interscience.wiley.com
- Borie B.F., Rubio H.R., Schalchli O.C. 1998. Micorrizas arbusculares y actividad fosfatásica de diez cultivares de trigo. *Agricultura técnica (Chile)*. Vol.58(1):47-55 (enero-Marzo)
- Bravo-Espinosa M, Mendoza M. E, Medina-Orozco L., Sáenz-Reyes T. 2010. Características y control de cárcavas. *Terra Latinoamericana*. Vol.28(3):281-285, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. México
- Campino I, Trautmann A, Moosbrugger E. W. 1990. Experiencias con el método de hidrosiembra en diferentes regiones de Colombia. *Soil Technology*. Vol.3:91-98.
- Carrillo S. S. M., Arredondo M. T., Huber-Sannwald E., Flores R. J. 2009. Comparación en la germinación de semillas y crecimiento de plántulas entre gramíneas nativas y exóticas del pastizal semiárido. *Téc Pecu Méx.* No. 47(3):299-312
- Cerdá A. 2001. La erosión del suelo y sus tasas en España. *Ecosistemas. Revista de ecología y medio ambiente*. Año X, No.3, septiembre-Diciembre.
- Daubenmire R.F. 2000. *Ecología vegetal*. Editorial Limusa. México D.F. 195pp.
- De Baets S., Poesen J., Meersmans J., Serlet L. 2011. Cover crops and their erosion-reducing effects during concentrated flow erosion. *Catena*. No.85:237–244.
- De Oña J., Ferrer A., Osorio F. 2011. Erosion and vegetation cover in road slopes hydroseeded with sewage sludge. *Transportation Research Part D*. No.16:465–468.

- De Oña J., Osorio F., García P.A. 2009. Assessing the effects of using compost–sludge mixtures to reduce erosion in road embankments *Journal of Hazardous Materials*. No.164:1257–1265.
- Díaz F. A., Cortinas E.H.M., De la Garza C.M., Valadez G.J., Peña del Río M.A. 2013. Micorriza arbuscular en sorgo bajo diferente manejo agrotecnológico y ambiental. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Vol.4:215-228.
- Dushyantha K.W., John A.E., Hutchings M.J. 2005. Does pattern of soil resource heterogeneity determine plant community structure? An experimental investigation. *Journal of Ecology*. No.93:99–112.
- Fernández C.C. 2006. Estudio experimental de refuerzo de suelos con fibras sintéticas. *Geogaceta*. No.40.
- Gálvez J. 2002. La restauración ecológica: Conceptos y aplicaciones. Revisión Bibliográfica. Serie de documentos técnicos No. 8 Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente. Guatemala. Pp:5-19
- González C.M.C.A, Gutiérrez C.M.C, Wright S. 2004. Hongos micorrízicos arbusculares en la agregación del suelo y su estabilidad. *TERRA Latinoamericana*. Vol.22 (4):507-514.
- Gonzalez-Alday J., Marrs R.H., Martinez-Ruiz C. 2009. Soil seed bank formation during early revegetation after hydroseeding in reclaimed coal wastes. *Ecological Engineering* No.35:1062–1069.
- González-Alday J., Martínez-Ruiz C. 2007. Cambios en la comunidad vegetal sobre estériles de carbón tras hidrosiembra. *Ecología*. No.21:59-70.
- Grimm U., Fassbender H.W. 1981. Ciclos biogeoquímicos en un ecosistema forestal de los Andes Occidentales de Venezuela III. Ciclo hidrológico y traslocación de elementos químicos con el agua. *Turrialba revista interamericana de ciencias agrícolas*. Vol.31(2):89-99.
- Gutiérrez J.R. y Squeo F.A. 2004. Importancia de los arbustos en los ecosistemas semiáridos de Chile. *Revista Ecosistemas*. Vol.13(1):36-45

- Han L., Jiao J., Jia Y., Wang N., Lei D., Li L. 2011. Seed removal on loess slopes in relation to runoff and sediment yield. *Catena*. No.85:12–21
- Hudson N. 1982. *Conservación del suelo*. Edit. Reverté. Barcelona España. Pp:17-32
- Lenti L., Martino S. 2012. The interaction of seismic waves with step-like slopes and its influence on landslide movements *Engineering Geology* No.126:19–36
- Martínez L.B, Pugnaire. F.I. 2009. Interacciones entre las comunidades de hongos formadores de micorrizas arbusculares y de plantas. Algunos ejemplos en los ecosistemas semiáridos. *Ecosistemas*. Vol.18(2):44-54.
- Martinez-Mena G.M., Dolores A.R., Castillo S.V.M., Albaladejo M.J. 2001. Diseño experimental con lluvia simulada para el estudio de los cambios en la erosión del suelo durante la tormenta. *Cuaternario y Geomorfología*. Vol.15(1-2):31-43
- Martínez R.C., Fernández S.B., Putwainc P.D., Fernández G.M.J. 2007. Natural and man-induced revegetation on mining wastes: Changes in the floristic composition during early succession. *Ecological engineering* Vol.30:286–294.
- Medina L.R., Torres Y., Herrera R., Rodríguez Y. 2010. Aislamiento e identificación de hongos micorrízicos arbusculares nativos de la zona de las caobas, Holguín. *Cultivos Tropicales*. Vol.31(4):33-42.
- Methacanona P., Weerawatsophona U., Sumransina N., Prahsarna C., Bergadob D.T. 2010. Properties and potential application of the selected natural fibers as limited life geotextiles. *Carbohydrate Polymers*. Vol.82:1090–1096.
- Miranda J.D., Padilla F.M., Pugnaire F.I. 2004. Sucesión y restauración en ambientes semiáridos. *Ecosistemas*. No.13(1):55-58.
- Monroy A.A. 2013. *Manual de prácticas de educación ambiental*. 2° ed. Editorial Trillas. Pp:100-104;136-455.
- Monroy A.A, Castañeda. P.M.G, Fernández C.M.D. 2008. Mosaicos de vegetación para la naturación de taludes y comparación de ecotécnicas

- de establecimiento de plantas: hidrosiembra vs. geomalla. *Investigación Universitaria Multidisciplinaria*. Año 7 (7):45-50.
- Monroy A.A, García S.R. 2009. Plantas y hongos. Micorrizas arbusculares: Un mutualismo esencial en zonas semiáridas. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. México D.F. Pp:11-23.
- Montaño N.M., Camargo-Ricalde S. L., García-Sánchez R., Monroy A. 2007. Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos. Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT, Mundi-Prensa. Distrito Federal, México. 460 pp.
- Moreno-de las Heras M., Espigares T., Merino-Martín L., Nicolau J.M. 2011. Water-related ecological impacts of rill erosion processes in Mediterranean-dry reclaimed slopes. *Catena*. No.84:114–124.
- Morgan R.P.C. 1986. Soil Erosion and conservation. Edited by John Wiley & Sons Inc. New York U.S.A. Pp:202-204.
- Navarro G.G., Navarro B.S. 2003. Química agrícola, el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. 2ª ed. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. Pp:15-20.
- Noda Y. 2009. Las Micorrizas: Una alternativa de fertilización ecológica en los pastos. *Pastos y Forrajes*. Vol.32(2):1-10.
- Núñez-Solís J. 2000. Fundamentos de edafología. 3ª reimpresión de la 2ª ed. Editorial EUNED. San José, Costa Rica. Pp:17,43,77.
- Oliveira G., Clemente A., Nunes A., Correia O. 2013. Limitations to recruitment of native species in hydroseeding mixtures. *Ecological Engineering*. No.57:18– 26.
- Palmeira E.M., Remigio A.F.N., Ramos M.L.G., Bernardes R.S. 2008. A study on biological clogging of nonwoven geotextiles under leachate flow. *Geotextiles and Geomembranes*. No.26:205–219.
- Parodi G., Pezzani F. 2011. Micorrizas arbusculares en dos gramíneas nativas de Uruguay en áreas con y sin pastoreo. *Agrociencia Uruguay*. Vol.15(2):1-10, julio/diciembre.

- Peña-Becerril J.C., Monroy-Ata A., Álvarez-Sánchez F.J., Orozco-Almanza M.S. 2005. Uso del efecto de borde de la vegetación para la restauración ecológica del bosque tropical. TIP Revista Especializada en Ciencias Químico- Biológicas. Vol.8(2):91-98.
- Peña-Venegas C.P., Cardona G.I., Arguelles J.H., Arcos A.L. 2007. Micorrizas Arbusculares del Sur de la Amazonia Colombiana y su Relación con Algunos Factores Fisicoquímicos y Biológicos del Suelo. ACTA AMAZONICA. Vol.37(3):327-336
- Posada A.R.H., Franco C.L.A., Cuéllar C.A.P., Wilson S.C., Sánchez F.A.P. 2007. Inóculo de hongos de micorriza arbuscular en pasturas de *Brachiaria decumbens* (poaceae) en zonas de loma y vega. Acta biológica Colombiana. Vol.12(1):113–120.
- Prosenjit S, Debasis R, Suwendu M, Basudam A, Ramkrishna S, Sukumar R. 2012. Durability of transesterified jute geotextiles. Geotextiles and Geomembranes. Vol.35:69-75.
- Ramakrishna G., Sundararajan T. 2005. Studies on the durability of natural fibres and the effect of corroded fibres on the strength of mortar. Cement & Concrete Composites. No.27:575–582.
- Raven P.H., Enert R.F., Eichhorn S. E. 2004. Biología de las plantas. Edit. Reverte. Barcelona, España. Pp:400-402.
- Rawal A., Saraswat H. 2011. Stabilisation of soil using hybrid needle punched nonwoven geotextiles. Geotextiles and Geomembranes. No.29:197-200.
- Rawal A., Sayeed M.M.A. 2013. Mechanical properties and damage analysis of jute/polypropylene hybrid nonwoven geotextiles. Geotextiles and Geomembranes. No.37:54-60.
- Ríos G.R. 1988. Laboratorio integral de biología IV, practicas del módulo de edafología. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F.
- Rupke J., Huisman M., Kruse H.M.G. 2007. Stability of man-made slopes. Engineering Geology. No.91:16–24.
- Russell J, Russell W. 1984. Las condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas.4° Ed. Aguilar ediciones. Madrid, España.

- Rydgren K., Nordbakken J.F., Austad I., Auestad I., Heegaard E. 2010. Recreating semi-natural grasslands: A comparison of four methods *Ecological Engineering*. No.36:1672–1679.
- Salgado U.I.H. 2013. Métodos estadísticos exploratorios y confirmatorios para análisis de datos. Un enfoque biométrico. Facultad de Estudios Superiores. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal. 307 pp.
- Sangalli, P. 2005. ¿Qué es la ingeniería biológica o “bioingeniería”? *BricoJardineria y Paisajismo B&P*. No.130:12-19. Recuperado en (www.horticom.com/pd/imagenes/61/269/61269.pdf).
- Shao Q., Gu W., Dai Q., Makoto S., Liu Y. 2014. Effectiveness of geotextile mulches for slope restoration in semi-arid northern China. *Catena*. No.116:1–9.
- Sol S. A., Zenteno R. C.E., Zamora C. L.F., Torres R. E. 2002. Modelo para la restauración ecológica de áreas alteradas. *Kuxulkab Vol. VII(14):48-60*.
- Spagnoletti F.N., Fernandez di Pardo A., Tobar G.N.E., Chiocchio V.M. 2013. Las micorrizas arbusculares y *Rhizobium*: una simbiosis dual de interés. *Revista Argentina de Microbiología*. Vol.45(2):131-132.
- Thompson L.M. 1978. El suelo y su fertilidad. 3ª ed. Editorial Reveté. Barcelona. Pp:567-608
- Valladares, F. 2004. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A. pp:309-334.
- Vásquez A., Tapia M. 2011. Cuantificación de la erosión hídrica superficial en las laderas semiáridas de la Sierra Peruana. *Revista ingeniería UC*. Vol.18(3):42–50.
- Yan L.J., Yu X.X., Lei T.W., Zhang Q.W., Qu L.Q. 2008. Effects of transport capacity and erodibility on rill erosion processes: A model study using the Finite Element method. *Geoderma* No.146:114-120.

Youlton C., Espejo P., Biggs J., Norabuena M., Cisternas M., Neaman A., Salgado E. 2010. Quantification and control of runoff and soil erosion on avocado orchards on ridges along steep-hill slopes. *Ciencias e Investigación Agraria*. Vol.37(3):113-123.

1. http://cybertesis.ubiobio.cl/tesis/2011/hernandez_d/doc/hernandez_d.pdf
2. <http://noticias.universia.net.mx/ciencia-nt/noticia/2007/07/11/36480/arbustos-gramineas-pueden-evitar-deslaves-carreteras.pdf>
3. http://www.ciencias-marinas.uvigo.es/bibliografia_ambiental/outros/Mantas%20organicas.pdf
4. <http://www.conafor.gob.mx/portal/docs/secciones/suelos/Manual%20de%20conservacion%20de%20suelos%20II.pdf>
5. http://www.fcf.uanl.mx/sites/default/files/files/18_%203%C2%B0%20Nivel%20Ing_%20Eduardo%20de%20Le%C3%B3n%20Morales.pdf
6. <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM09DF/delegaciones/09007a.html>
7. http://www.inapam.gob.mx/work/models/.../1_ATLAS_DE_RIESGOS.pdf
8. http://unalmed.edu.co/~poboyca/documentos/documentos1/documentos-Juan%20Diego/Plnaifi_Cuencas_Pregrado/Control%20erosi%F3n%20en%20c%C3%A1rcavas%20cuadernos%20ambiental.pdf (Control erosión en cárcavas cuadernos ambiental.pdf).
9. <http://inta.gob.ar/documentos/respuesta-de-cereales-de-inverno-a-la-inoculacion-con-micorrizas-sobre-la-produccion-de-material-seca-y-absorcion-de-fosforo-del-suelo/>
10. www.ser.org
11. http://cigr.ageng2012.org/images/fotosg/tabla_137_C1675.pdf
12. <http://www.iztapalapa.df.gob.mx/htm/geografia.html>
13. http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=12&Itemid=77

14. http://www20.gencat.cat/docs/ptop/Home/Butlletins/Butlleti%20innovacio/pdf/04/Estudio%20comparativo%202%20t%C3%A9cnicas%20revegetaci%C3%B3n_DGC_Generalitat.pdf
15. http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos_forestales/issue/view/283

ANEXO I

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Análisis de varianza (GLM) a través de NCSS

Analysis of Variance Report

Expected Mean Squares Section

Source	Term	DF	Fixed?	Denominator Term	Expected Mean Square
A: ecotecnia		1	Yes	S(AB)	S+bsA
B: micorrización		1	Yes	S(AB)	S+asB
AB		1	Yes	S(AB)	S+sAB
S (AB)		500	No		S

Note: Expected Mean Squares are for the balanced cell-frequency case.

Analysis of Variance Table

Source	Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power
(Alpha=0.05)							
A: ecotecnia		1	1.097887E+07	1.097887E+07	1502.85	0.000000*	
			1.000000				
B: micorrización		1	355098.8	355098.8	48.61	0.000000*	
			1.000000				
AB		1	2769.323	2769.323	0.38	0.538375	0.094260
S		500	3652675	7305.35			
Total (Adjusted)		503	1.484114E+07				
Total		504					

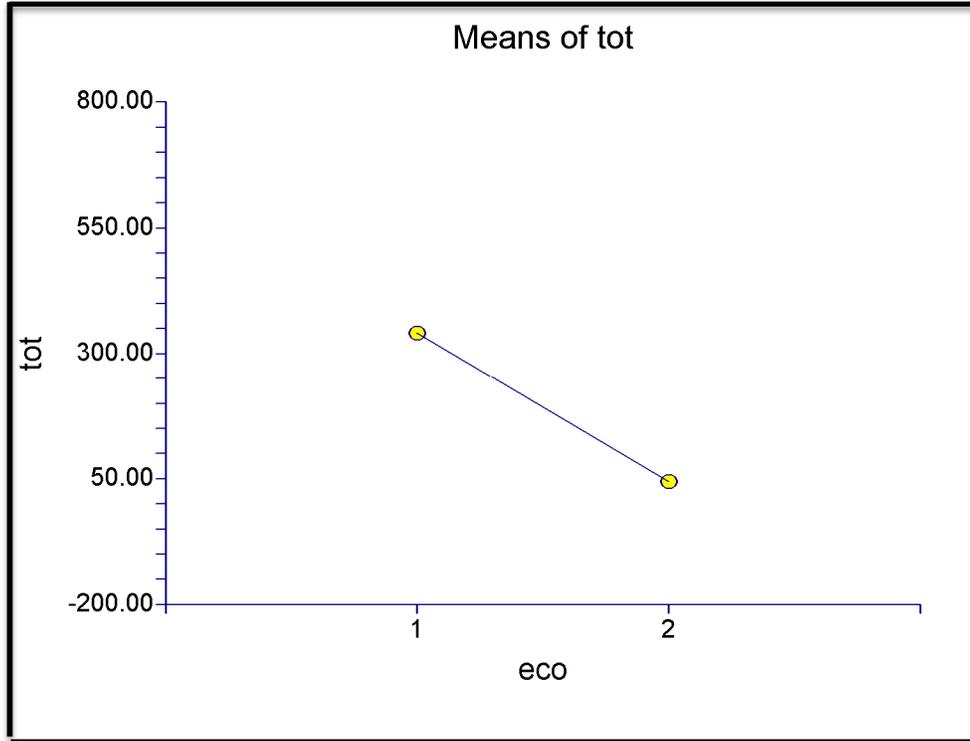
* Term significant at alpha = 0.05

Means and Standard Error Section

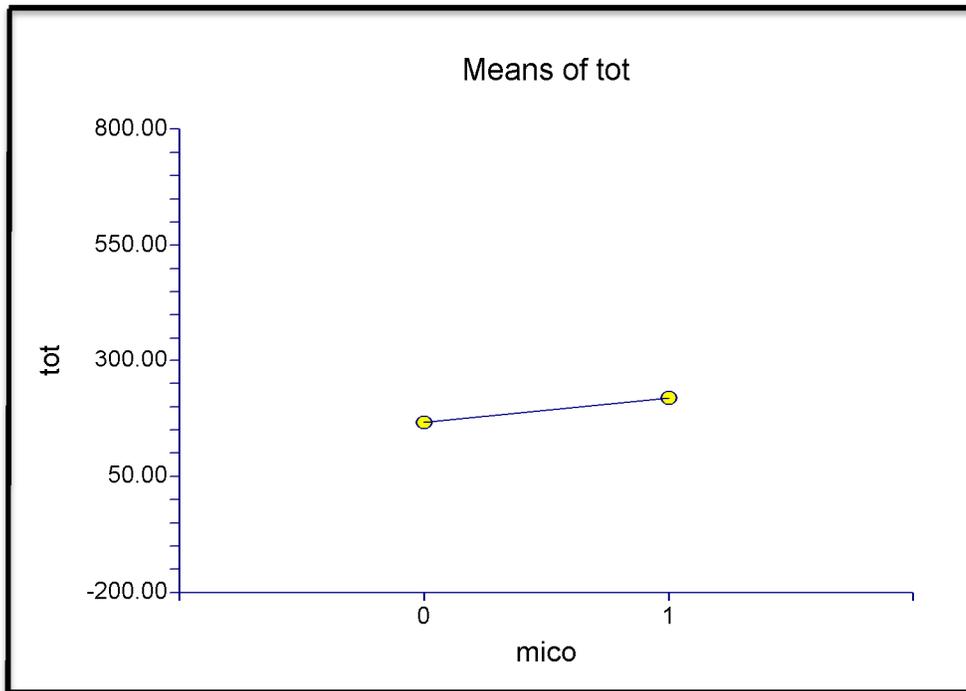
Term	Count	Mean	Standard Error
All	504	192.7972	
A: ecotecnia			
1 (Geocostales)	240	340.85	5.517151
2 (Hidrosiembra)	264	44.74445	5.260397
B: micorrización			
0 (Sin micorrizas)	240	166.1708	5.517151
1 (Con micorrizas)	264	219.4236	5.260397

AB: ecotecnia vs micorrización

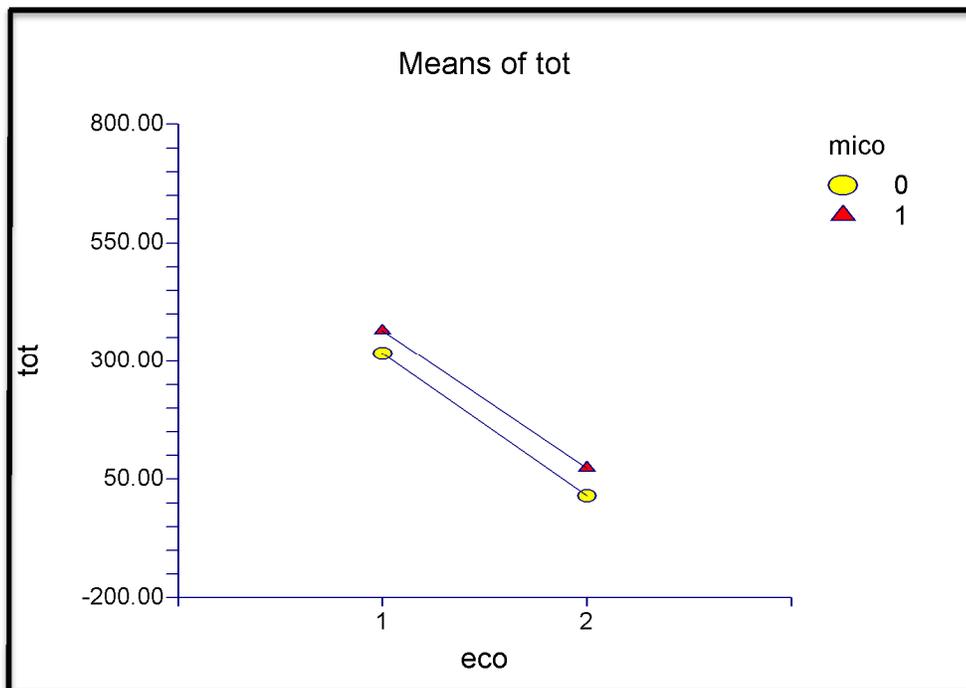
1,0 (Geocostales, Sin micorrizas)	120	316.575	7.80243
1,1 (Geocostales, Con micorrizas)	120	365.125	7.80243
2,0 (Hidrosiembra, Sin micorrizas)	120	15.76667	7.80243
2,1 (Hidrosiembra, Con micorrizas)	144	73.72222	7.122612



Gráfica 1. En el eje x se encuentran las ecotecnias: geocostales (1) e hidrosiembra (2) y en el eje y se encuentra la cantidad promedio de gramíneas establecidas en cada una de las ecotecnias.



Gráfica 2. En el eje x se encuentran la presencia (1) o ausencia (0) de hongos micorrizógenos y en el eje Y se encuentra la cantidad promedio de gramíneas establecidas en cada una de las condiciones.



Gráfica 3. Muestra la cantidad de gramíneas establecidas en cada ecotecnia y la funcionalidad de la micorrización. En el eje X se encuentran las ecotecnias: geocostales (1) e hidrosiembra (2) y en el eje Y se encuentra la cantidad promedio de gramíneas establecidas en cada una de las ecotecnias. Mientras que el significado de los símbolos se representa en la parte superior derecha de la gráfica y representa la ausencia (0) o presencia (1) de micorrizas.

PRUEBAS DE COMPARACIÓN MULTIPLE REALIZADA PARA LOS DATOS OBTENIDOS DEL ESTUDIO

Bonferroni (All-Pairwise) Multiple Comparison Test

Response: tot

Term A: ecotecnia

Alpha=0.050 Error Term= S (AB) DF=500 MSE=7305.35 Critical Value=1.959964

Group	Count	Mean	Different from Groups
2 (hidrosiembra)	264	44.74445	1 (geocostales)
1 (geocostales)	240	340.85	2 (hidrosiembra)

Bonferroni (All-Pairwise) Multiple Comparison Test

Response: tot

Term B: micorrización

Alpha= 0.050 Error Term= S (AB) DF=500 MSE=7305.35 Critical Value=1.959964

Group	Count	Mean	Different from Groups
0 (sin micorrizas)	240	166.1708	1 (con micorrizas)
1 (con micorrizas)	264	219.4236	0 (sin micorrizas)