



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

Instituto de Ciencia Básicas e Ingeniería

MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

PRODUCTO DE FORMACIÓN

Estrategias para la restauración de suelos erosionados del fraccionamiento Bosque Real en Huasca de Ocampo, Hidalgo

Para obtener el grado de

Maestro en Gestión Ambiental

PRESENTA

Andrés Muñoz Spínola

Director (a)

Dra. Dulce María Galván Hernández

Comité tutorial

Dr. Arturo Sánchez González

Dra. Jessica Bravo Cadena

Mineral de la Reforma, Hidalgo 2025



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería
School of Engineering and Basic Sciences
Área Académica de Biología
Department of Biology

Mineral de la Reforma, Hgo., a 20 de noviembre de 2024

Número de control: ICBI-AAB/1003/2024
Asunto: Autorización de impresión.

MTRA. OJUKY DEL ROCIO ISLAS MALDONADO
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH

El Comité Tutorial del nombre del producto que indique el documento curricular del programa educativo de posgrado titulado "Estrategias para la restauración de suelos erosionados del fraccionamiento Bosque Real en Huasca de Ocampo, Hidalgo", realizado por el sustentante **Andrés Muñoz Spinola** con número de cuenta **227593** perteneciente al programa de **MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL**, una vez que ha revisado, analizado y evaluado el documento recepcional de acuerdo a lo estipulado en el Artículo 110 del Reglamento de Estudios de Posgrado, tiene a bien extender la presente:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Por lo que el sustentante deberá cumplir los requisitos del Reglamento de Estudios de Posgrado y con lo establecido en el proceso de grado vigente.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"

El Comité Tutorial


Dra. Dulce María Galván Hernández
Vocal




Dr. Arturo Sánchez González
Presidente


Dra. Jessica Bravo Cadena
Secretario

DMG/BCIAP



Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo Km. 4.5 Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México. C.P. 42184
Teléfono: 52 (771) 71 720 00 Ext. 40063, 40064 y 40065
aab_icbi@uaeh.edu.mx, mantzal@uaeh.edu.mx

uaeh.edu.mx

Agradecimientos

Deseo expresar mi profundo agradecimiento al CONACYT por la beca concedida, la cual me permitió dedicar tiempo completo a esta investigación y alcanzar los objetivos planteados. Agradezco al Bosque Real de Huasca por abrirme las puertas de sus instalaciones y por su colaboración en los análisis de suelo, los cuales fueron cruciales para el desarrollo de este proyecto. Asimismo, quiero reconocer el invaluable apoyo de mi comité tutor, de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y de mi familia, quienes me brindaron aliento y comprensión durante estos dos años, haciéndome sentir acompañado en todo momento.

Índice

Glosario.....	5
Introducción	6
Antecedentes.....	8
Generalidades del suelo.....	8
Horizontes del suelo	9
Características físicas, químicas y biológicas del suelo	11
Propiedades físicas.....	11
Propiedades biológicas.....	11
Propiedades químicas.....	12
Factores de degradación del suelo	12
Restauración ecológica	12
Prácticas de restauración en suelos	13
Marco Legal para el manejo de suelos	14
Justificación	19
Objetivos.....	20
General	20
Particulares	20
Materiales y método	21
Caracterización del sitio.....	21
Indicadores de percepción social	25
Muestreo y análisis de suelo	27
Tratamientos de restauración.....	27
A) Estabilización del suelo	27
B) Reintroducción de especies vegetales	29
Análisis Estadísticos	30
Talleres participativos	31
Resultados y Discusión	32
Indicadores de percepción social	32
Análisis del suelo	38
Listado de especies con potencial para la restauración biológica.....	42
Tratamientos de restauración.....	44
A) Estabilización del suelo	44

B) Introducción de especies vegetales y monitoreo	48
Talleres participativos	51
Discusión General	66
Conclusión	68
Referencias Bibliográficas	70
Anexos	77
Anexo 1. Producto Legislativo	77
Anexo 2. Instrucciones de arborización utilizado en el taller “Erosión del suelo y alternativas para combatirlo”	78
Anexo 3. Instrumento de evaluación utilizado en el taller “Erosión del suelo y alternativas para combatirlo”	79
Anexo 4. Instructivo para realizar una composta	80
ANEXO 5. Manual De Estrategias Para La Restauración De Suelos Erosionados En El Fraccionamiento Bosque Real, Huasca De Ocampo, Hidalgo	81
Anexo 6. Recibo del Manual	82

Glosario

- **Abundancia:** Número absoluto de individuos de la población (Morlans, 2004).
- **Densidad:** Número de individuos sobre unidad de espacio (superficie o volumen) (Morlans, 2004).
- **Erosión:** Puede ser definida como el movimiento del material del suelo de un lugar del paisaje a otro (Pérez Bidegain et al., 2011).
- **Fertilidad:** Capacidad que tiene el terreno para sustentar el crecimiento de las plantas y optimizar el rendimiento de los cultivos (IAEA, 2022).
- **Floración:** Tiempo que duran abiertas las flores de las plantas de una misma especie (R.A.E., 2022).
- **Frecuencia:** Es la probabilidad de encontrar una especie en un área dada (Martella et al., 2012).
- **Inflorescencia:** Forma en que aparecen colocadas las flores en las plantas (R.A.E., 2022).
- **Restauración:** Proceso de impulsar la recuperación de vegetación que ha sido degradada o destruida, para restaurar la salud e integridad de un sistema. (NATURE, 2022).
- **Riqueza de especies:** Número de especies de flora y fauna diferentes, presentes en un espacio determinado (Melic, 1993).
- **Sucesión:** Reemplazo de especies vegetales de acuerdo con las variaciones en el ambiente y las tolerancias de las plantas (Martínez & Pérez-Maqueo, 2022).

Introducción

La degradación de los ecosistemas terrestres y marinos afecta sobre el bienestar de 3,200 millones de personas y tiene un costo cercano al 10 % del PIB (producto interno bruto) mundial anual en pérdida de especies y servicios ecosistémicos (FAO, 2019).

Ante esta situación diversas instancias han intentado mitigar estos problemas, a través de la restauración de ecosistemas, la cual consiste en una serie de procesos cuyo fin es invertir la degradación ecosistémica a través de diversas estrategias con la finalidad de restaurar su funcionalidad ecológica, mejorando la productividad y la persistencia de los ecosistemas (FAO, 2019).

Uno de los recursos más degradados a nivel mundial es el suelo, cerca del 33% se encuentra de moderado a altamente degradado, debido principalmente a factores humanos que generan erosión, a la pérdida de materia orgánica, falta de nutrientes, compactación, contaminación química, acidificación y salinización, entre otros (FAO, 2017).

El suelo es un recurso no renovable al que le toma cientos de años en formarse, así mismo, este recurso es vital para la alimentación, la infiltración de agua, retención de dióxido de carbono, purificación del aire y refugio de la biodiversidad (Cherlinka, 2021), por esto es importante realizar la restauración de los mismos, para garantizar la persistencia de estos servicios. Una de las principales estrategias de restauración de suelos consiste en el uso de plantas, las cuales a través de sus raíces generan movimientos mecánicos que ayudan a estabilizar el suelo (Correa de Assis & Sánchez-Castillo, 2023)

Para ayudar a establecer un uso sustentable del suelo, existen diferentes estrategias, la más importante en nuestro país es el Ordenamiento Ecológico Territorial, el cual se presenta como un instrumento crucial de la política ambiental, concebido como un proceso de planificación estratégica. Su objetivo fundamental es establecer un patrón de ocupación del territorio que minimice los conflictos entre diversos actores sociales y las autoridades en una región determinada, mientras maximiza el consenso y la colaboración (SEMARNAT, 2021).

Este proceso dinámico involucra la creación, implementación, evaluación y, en caso necesario, la modificación de políticas ambientales. Estas políticas buscan alcanzar un equilibrio óptimo entre las actividades productivas y la protección de los recursos naturales. Para lograrlo, se fomenta la vinculación entre los tres niveles de gobierno (federal, estatal y municipal), la participación de la sociedad civil y la transparencia en la gestión ambiental (SEMARNAT, 2021).

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) establece cuatro modalidades de ordenamiento ecológico, tomando en cuenta la competencia de los tres niveles de gobierno y el alcance territorial de aplicación (SEMARNAT, 2021).

A nivel federal:

- Programa Nacional de Ordenamiento Ecológico del Territorio (PNOET): Formulado, expedido, ejecutado y evaluado por el Gobierno Federal, este programa tiene como

objetivo vincular las acciones y programas de las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal que incidan en el patrón de ocupación del territorio nacional. Es de aplicación estricta en todo el territorio nacional (SEMARNAT, 2021).

- Regionalización ecológica: Define áreas de atención prioritaria, áreas de aptitud sectorial y lineamientos y estrategias ecológicas aplicadas a dichas áreas (SEMARNAT, 2021).

A nivel estatal y municipal:

- Programa Estatal de Ordenamiento Ecológico del Territorio (POET): Elaborado por el gobierno estatal, este programa establece lineamientos y estrategias para la ordenación del territorio a nivel estatal (SEMARNAT, 2021).
- Programa Municipal de Ordenamiento Ecológico del Territorio (PMOT): Elaborado por el gobierno municipal, este programa define lineamientos y estrategias para la ordenación del territorio a nivel municipal (SEMARNAT, 2021).

El fraccionamiento Bosque Real en Huasca de Ocampo, Hidalgo, fue creado en el año de 1975 por el urbanista Carlos Rodríguez Cobos, utilizando el lema "Amamos el Bosque". El ingeniero planeó un fraccionamiento buscando un equilibrio entre colonos y el bosque, para ello estableció una serie de manifiestos a todos los interesados en comprar un lote, de los cuales destacan los siguientes:

1. Respetar la intimidad de las personas, en tanto no hagan algún daño a los demás ni a la naturaleza.
2. Favorecer la generación y evolución de ambientes donde los residentes del fraccionamiento logren una convivencia armónica.
3. Respeto a cada uno de los individuos, como entes únicos, diferentes, irrepetibles y en evolución permanente, aun cuando no acepten el principio anterior
4. Conservación del entorno natural estimulando los valores personales, comunitarios y de la naturaleza
5. Construcción del 20% del total de la superficie adquirida en la compra de un lote, con la finalidad de conservar el 80% del bosque.

Estos manifiestos establecen los objetivos y acciones promovidas por el fraccionamiento con el fin de conservar el valor de la naturaleza en armonía con valores humanos, personales y comunitarios, sin embargo, debido a situaciones ambientales combinadas con factores antropogénicos, se ha generado erosión hídrica en algunas zonas del fraccionamiento. Es por esto que surgió el interés de atender los problemas asociados al suelo para establecer estrategias adecuadas a las condiciones de perturbación y degradación fisicoquímica que presentan, esto mediante una comparación entre un sitio de referencia y la zona erosionada, así como, prácticas de estabilidad de suelo y evaluación de enmiendas orgánicas para el establecimiento de especies vegetales que en conjunto, permitan recuperar el suelo, así como evitar la erosión de este para seguir conservando la salud y el atractivo paisajístico del bosque, tal como lo plantea la administración del fraccionamiento Bosque Real.

Antecedentes

Generalidades del suelo

A través del tiempo, la sociedad ha presentado al recurso agua como uno de los más importantes para la supervivencia del hombre, sin embargo, existe otro recurso esencial, que pocas veces es tomado en cuenta, incluso es imperceptible para gran parte de la sociedad.

Dicho recurso es el suelo, el cual es definido como un cuerpo formado de capas, compuestas por materia orgánica, minerales, líquidos y gases, que generan pérdidas, ganancias y transferencias de energía (CONAFOR, 2018). Es esencial para el mantenimiento y prosperidad de la vida, debido a que funciona como el principal sostén de la biodiversidad terrestre.

Al ser un recurso finito con una tasa de renovación lenta, es muy importante asegurar su subsistencia, no obstante, es uno de los recursos más explotados y su conservación no es prioritaria, aun cuando es considerado un recurso patrimonial y ambiental (SEMARNAT, 2018).

Existen diversos servicios ambientales que el suelo provee, entre ellos destacan: la fijación de carbono, agua verde, termorregulador, hábitat y producción agrícola convencional (SEMARNAT, 2018), los cuales se describen a continuación:

1. Fijación de carbono: Las plantas requieren al suelo para poder fijar carbono, debido a lo anterior, el suelo es esencial en el ciclo del elemento mencionado (Márquez, 2021). Se ha calculado que los suelos contienen más carbono que el almacenado en la vegetación y cerca de dos veces más que el encontrado en la atmósfera (SEMARNAT, 2018).
2. Agua verde: Definida como agua almacenada en el subsuelo, representa aproximadamente el 95% del agua consumida por las plantas, debido a lo anterior, es esencial para el bienestar agrícola y ambiental (SEMARNAT, 2018).
3. Termorregulador: Gracias a su capacidad de absorción y emisión de calor, el suelo es considerado regulador de temperatura, a consecuencia de esto, los sitios donde el suelo se ha perdido o se encuentra deteriorado tienden a ser extremos, evitando el crecimiento y desarrollo de la mayoría de las especies vegetales (SEMARNAT, 2018).
4. Hábitat: El suelo provee los nutrientes necesarios para el desarrollo de todo tipo de especies, debido a ello, es esencial para la existencia de la vegetación, así como la interacción entre especies (SEMARNAT, 2018).
5. Producción agrícola convencional: Al ser la base donde se desarrollan los cultivos convencionales, el suelo genera de manera directa e indirecta el 95% de los alimentos utilizados (SEMARNAT, 2018).

Estos servicios se asocian con el desarrollo de un bosque saludable que provee de múltiples recursos (maderables y no maderables) mismos que son aprovechados por la población, si el bosque está sano, brindará una óptima cobertura vegetal que permitirá gozar de un microclima templado; analizándolo desde el punto de vista económico, un bosque saludable tiene una mayor plusvalía que uno dañado a causa de la erosión.

Es por esto que la conservación y recuperación del suelo es esencial, de perderse este recurso, gran parte de la biodiversidad actual se extinguiría. Para asegurar la permanencia del suelo, es importante la interacción de diferentes sectores de la sociedad (tanto gubernamental, académico, tercer sector y sociedad en general), cada actor podrá aportar diferentes medidas para mitigar el impacto de degradación del suelo a través de propuestas y/o acciones específicas que van desde reforestar, reintroducir especies nativas, estabilizar suelo, medidas para la descontaminación, hasta un cambio de hábitos personales y de sensibilización hacia el mejoramiento y recuperación del medio ambiente. Para el caso particular del Fraccionamiento Bosque Real, es esencial recuperar las zonas erosionadas a fin de mejorar la salud del bosque, ya que, de él, depende el bienestar ambiental y social de la región.

Horizontes del suelo

Los suelos están constituidos por diversas capas, las cuales van a estar delimitadas por características físicas, químicas y biológicas, estas capas se aprecian cuando se tiene un corte vertical del suelo las cuales reciben el nombre de “perfiles”. La capa superior suele ser rica en materia orgánica, es de color más oscuro que las inferiores y se le conoce como “horizonte A”, posteriormente, tenemos la capa media, la cual suele ser más arcillosa y clara que la anterior, a esta se le conoce como “Horizonte B”; finalmente tenemos la capa de la roca madre (hay casos en los que no existe) puede ser espesa, delgada o inexistente, a esta capa se le denomina “Horizonte C” (Thompson & Troeh, 1982).

Por su parte, la FAO (2009) considera un mayor número de horizontes del suelo, ya que los cataloga para la mayoría de los ambientes (acuáticos, semi acuáticos, congelados, desérticos, etc). Con base en esto, es posible identificar los diferentes horizontes presentes en el fraccionamiento Bosque Real, donde solo se consideran los siguientes (Figura 1):

- Horizonte O: Estratos compuestos por materia orgánica intacta o parcialmente descompuesta como hojas, ramas, musgos y líquenes, se encuentra en la superficie del suelo mineral.
- Horizonte A: Compuesto por minerales formados en la superficie del suelo o bien, por debajo del horizonte O, se caracteriza por la desintegración parcial o total de la roca original, así como por ser rica en materia orgánica descompuesta.
- Horizonte B: Formado debajo del horizonte O y el horizonte A, se caracteriza por poseer una concentración de sales, individuales o en combinación con arcilla silicatada, hierro, aluminio, humos, carbonatos, yeso o sílice, así como
- Horizonte C: capas que no han sido afectadas por procesos pedogenéticos (ruptura por animales o plantas) y no poseen las propiedades de los horizontes anteriores, por lo que a todo suelo que no reúna las propiedades del horizonte O, A o B, puede ser considerado como horizonte C.
- Horizonte R: lechos de roca dura que subyacen al suelo, en el que, al introducir agua, no saturara en menos de 24 horas.

El suelo se compone por minerales de la roca madre y materia orgánica de los seres vivos, se puede considerar a estos minerales como el esqueleto del suelo, entre estas partículas existen espacios vacíos o poros, los cuales permitirán el ingreso de agua y aire, por ejemplo, en suelos arcillosos, el contenido de materia orgánica es bajo, por lo que este tipo de suelos son capaces de almacenar mayor cantidad de agua, impidiendo la aeración de este (Thompson & Troeh, 1982). Por tal razón, es importante caracterizar las propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo (Figura 3) para definir acciones específicas a seguir para lograr el éxito en la recuperación de suelos y ecosistemas.



Figura 1. Horizontes del suelo, presentes en el Fraccionamiento Bosque Real de Huasca.

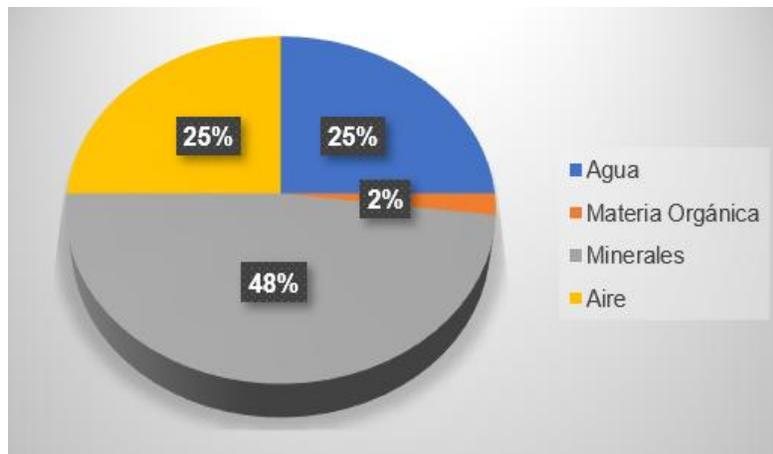


Figura 2. Distribución de la fracción mineral, de la materia orgánica y aire agua en el suelo (Iglesias et al., 2007)

Características físicas, químicas y biológicas del suelo

Propiedades físicas

Las propiedades físicas pueden ser utilizadas como indicadores de la calidad del suelo ya que son capaces de reflejar la manera en que este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así mismo, plasman la estructura, densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad del suelo superficial, capacidad de almacenamiento del agua y conductividad hidráulica saturada (Bautista Cruz, Etchevers Barra, Del Castillo, & Gutiérrez, 2004). Algunas de las propiedades más importantes se describen a continuación:

Textura: Se caracteriza por la proporción de arena, limo y arcilla dentro del suelo, puede ser determinada mediante el tacto destacando diferentes consistencias de acuerdo con el tipo de suelo que se está analizando, se pueden categorizar las consistencias en (CONAFOR, 2018):

1. Rasposas (correspondiente a las arenas)
2. Jabonosas (correspondiente al limo)
3. Pegajosas (Limo combinado con arcilla)

Mediante esta característica física se puede establecer los tipos de suelo junto con los rasgos que lo identifican, por ejemplo: los suelos arcillosos (caracterizados por tener una gran cantidad de nutrientes) retienen más humedad en comparación de los arenosos los cuales son los que menos retienen agua (FAO, 2023).

Así mismo existe otra clasificación establecida por el Instituto de Estadística y geografía (INEGI) la cual considera 3 clases de textura las cuales son:

1. Gruesa (65% o más de arena)
2. Media (3 partículas en equilibrio)
3. Fina (35% o más de arcilla)

Propiedades biológicas

Estas propiedades se describen como factores que afectan la calidad del suelo tales como la abundancia de micro y macroorganismos, incluidos bacterias, hongos, nemátodos, lombrices, anélidos y artrópodos (Bautista Cruz, Etchevers Barra, Del Castillo, & Gutiérrez, 2004), los cuales están presentes en dos ciclos del suelo los cuales son:

- Nitrógeno: en este ciclo la actividad biológica está presente a través de organismos encargados de descomponer la materia orgánica (artrópodos, anélidos, nematodos, protozoarios, hongos y bacterias), proveniente de restos vegetales y animales (FAO, 2023).
- Carbono: En este ciclo, los organismos participan en la circulación de nutrientes que a su vez provoca el intercambio del flujo del carbono (a través de la descomposición del humus, el cual es considerado la reserva más estable del elemento mencionado) (FAO, 2023).

Propiedades químicas

Se refieren a las condiciones químicas que afectan las relaciones suelo-planta, la calidad y disponibilidad del agua, así como a la capacidad amortiguadora del suelo y la concentración de nutrientes para las plantas y microorganismos, entre las principales propiedades destacan el pH, intercambio catiónico, conductividad eléctrica, los cuales son importantes para la absorción y aprovechamiento de los nutrientes por parte de las plantas (SQI, 1996 como se citó en Bautista Cruz, Etchevers Barra, Del Castillo, & Gutiérrez, 2004).

Factores de degradación del suelo

La erosión del suelo es producida de manera natural a nivel global, sin embargo, gracias a las actividades humanas no sostenibles como la agricultura intensiva, la tala inmoderada, el pastoreo excesivo y los cambios no regulados en el uso de la tierra, se ha acelerado e incrementado su proceso, aproximadamente se calcula que dicho incremento es de 1000 veces a comparación de la degradación natural (FAO, 2022).

Una de las consecuencias de la erosión del suelo, es el arrastre de la tierra por agua o viento, debido a que aumenta la probabilidad de inundaciones, deslizamientos, y vientos intensos, estas situaciones además de poner en riesgo a la biodiversidad presente, pueden dañar las explotaciones agrícolas, provocar múltiples daños en infraestructura urbana y limitar servicios vitales para los ciudadanos (FAO, 2019).

La erosión del suelo es uno de los principales problemas ambientales a nivel mundial, la asociación de esta problemática con la pérdida de ecosistemas involucra indirectamente un impacto negativo tanto en lo económico como en lo social. Algunos de los principales efectos de la degradación del suelo son los siguientes (Brunel & Seguel, 2011):

1. Pérdida de materia orgánica
2. Disminución en retención de agua
3. Incremento de la densidad aparente del suelo
4. Disminución de aireación
5. Reducción de la fertilidad

Restauración ecológica

La restauración ecológica es una disciplina científica que se desarrolla a partir de la teoría ecológica, los principios o guías para el mejoramiento o recuperación de ecosistemas que han sido dañados, degradados o destruidos (López-Barrera et al., 2017); puede ser definida como la serie de procesos que impulsan la recuperación de vegetación degradada o destruida, con la finalidad de restablecer la salud de un ecosistema, sin embargo, este tipo de actividades suelen ser muy costosas (Nature, 2023).

Uno de los tipos de restauración ecológica más común es la forestal, la cual, ofrece múltiples beneficios ecológicos ya que, los bosques son esenciales en la absorción de dióxido de carbono, conservan la biodiversidad, aumenta la cobertura forestal, permite una

mayor captación y filtración de agua pluvial, además, generan numerosos beneficios y actividades económicas (Nature, 2023).

No obstante, pocas veces se hace una restauración ecológica adecuada, esto se debe principalmente al carácter multidisciplinario de la restauración, normalmente es complicado conjuntar acciones académicas, sociales y económicas, debido a lo anterior, muchos de los planes de restauración ecológica realizados, únicamente se enfocan en actividades de reforestación sin un cuidado de recuperar la estructura y funcionalidad de un ecosistema (Calva-Soto & Pavón, 2018)

Prácticas de restauración en suelos

En el Estado de Hidalgo, existen pocos proyectos exitosos de restauración ecosistémica, uno de ellos es el realizado en los Llanos de Apan, donde se promovió la restauración ecológica para el secuestro de carbono forestal, este proyecto fue realizado por la empresa líder del sector ambiental llamada TOROTO, dicho proyecto planteó lo siguiente:

1. Detección de problemática: Los Llanos de Apan es una región ubicada en Hidalgo, al centro de México, en la cual ha existido un manejo inadecuado de los recursos naturales, generando altas tasas de erosión del suelo y escasez de agua perjudicando la resiliencia del ecosistema (TOROTO, 2023).
2. Propuesta de solución: Reunió a diferentes ejidos involucrados en la problemática mencionada, posteriormente se propuso la regeneración y permanencia de cobertura vegetal y biodiversidad a través del financiamiento de la restauración ecológica con la finalidad de generar bonos de carbono.

Así mismo en el proyecto se realizaron actividades que ayudaron al cumplimiento de la solución, dichas actividades fueron:

- a) Análisis y monitoreo ambiental
- b) Restauración y conservación (reforestaciones con especies nativas y conservación de las zonas de vegetación ya establecidas, utilizando principalmente *Opuntia spp*, *Quercus spp* y *Juniperus deppeana*, esto se complementó con la implementación de planes para la rotación de potreros y gestión del pastoreo.
- c) Talleres y capacitaciones (fortalecimiento de las brigadas comunitarias, creación de pequeños grupos a los cuales se capacitó en temas de reforestación, incendios forestales, prácticas de prevención e implementación de brechas cortafuego, primeros auxilios, manejo de fauna silvestre, etc.) (TOROTO, 2023).

Estas acciones se pueden considerar como las mínimas indispensables, para que un proyecto de restauración tenga éxito, todas son igual de importantes y deben de estar en equilibrio para garantizar la permanencia a largo plazo del proyecto.

Marco Legal para el manejo de suelos

La degradación del suelo tiene graves consecuencias económicas, sociales y ambientales, por lo que es necesario establecer un marco legal sólido para promover la restauración de este recurso.

Esta serie de reglas y normas tienen la finalidad de reducir los daños provocados por la deforestación, la erosión, la salinización y la contaminación. En la tabla 1 se presenta el fundamento de los principales instrumentos legales que regulan el manejo del recurso suelo.

Tabla 1. Marco legislativo con relación al uso y manejo del suelo en México.

El presente marco legal se fundamenta en los siguientes principios:	
Instrumento Legal	Sección
La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	Artículo 4o., párrafo quinto, “Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Estado garantizará el respeto a este derecho. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley”.
	Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos: La propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponde originariamente a la Nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada,
Plan Nacional De Desarrollo 2020-2024	“El gobierno de México está comprometido a impulsar el desarrollo sostenible, que en la época presente se ha evidenciado como un factor indispensable del bienestar”.
Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2020-2024	Objetivo prioritario 1: Promover la conservación, protección, restauración y aprovechamiento sustentable de los ecosistemas y su biodiversidad con enfoque territorial y de derechos humanos, considerando las regiones bioculturales, a fin de mantener ecosistemas funcionales que son la base del bienestar de la población.
Ley General Del Equilibrio Ecológico Y La Protección Al Ambiente	CAPÍTULO I “Normas Preliminares”. ARTÍCULO 1o. “La presente Ley es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable y establecer

	<p>las bases para:”. Fracción VI “La prevención y el control de la contaminación del aire, agua y suelo”.</p>
	<p>CAPÍTULO 2 “Distribución de Competencias y Coordinación” ARTÍCULO 4o. “La Federación, las entidades federativas, los Municipios y las demarcaciones territoriales de la Ciudad de México ejercerán sus atribuciones en materia de preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente, de conformidad con la distribución de competencias prevista en esta Ley y en otros ordenamientos legales.”</p>
<p>Reglamento De La Ley General Del Equilibrio Ecológico Y La Protección Al Ambiente En Materia De Ordenamiento Ecológico</p>	<p>Capítulo 3 “Del Ordenamiento Ecológico General Del Territorio”; Artículo 22 El programa de ordenamiento ecológico general del territorio tendrá por objeto; Fracción II. Establecer los lineamientos y estrategias ecológicas necesarias para: Inciso a. Promover la preservación, protección, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.</p> <p>Artículo 23 Para efectos del artículo anterior las áreas de atención prioritaria se identificarán en: Inciso II. Regiones que deban ser preservadas, conservadas, protegidas, restauradas, o que requieran el establecimiento de medidas de mitigación para atenuar o compensar impactos ambientales adversos, considerando entre otros, los siguientes elementos: Inciso a. Presencia de procesos de degradación o desertificación.</p> <p>Capítulo 4 “Del Ordenamiento Ecológico Regional”; Artículo 43 La etapa de diagnóstico tendrá por objeto identificar y analizar los conflictos ambientales en el área de estudio, mediante la realización de las siguientes acciones; Fracción III. Delimitar las áreas que se deberán preservar, conservar, proteger o restaurar, así como aquellas que requieran el establecimiento de medidas de mitigación para atenuar o compensar impactos ambientales adversos, considerando; Inciso a. Degradación ambiental, desertificación o contaminación.</p>
<p>Ley General De Cambio Climático</p>	<p>TÍTULO PRIMERO “Disposiciones Generales” CAPÍTULO ÚNICO; ARTÍCULO 2o; Fracción I “Garantizar el derecho a un medio ambiente sano y establecer la concurrencia de facultades de la federación, las entidades federativas y los municipios en la elaboración y aplicación de políticas públicas para la adaptación al cambio climático y la mitigación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero”; Fracción V “Fomentar la educación, investigación, desarrollo y transferencia de tecnología e innovación y difusión en materia de adaptación y mitigación al cambio climático”.</p>
<p>Ley General De Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial Y</p>	<p>Título Primero disposiciones generales Capítulo 3 “Causas de Utilidad Pública”; Título Primero disposiciones generales Artículo 6. En términos de lo dispuesto en el artículo 27, párrafo tercero de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, son de interés público y de beneficio social los actos públicos tendentes a establecer Provisiones, Reservas, Usos del suelo y Destinos de áreas y predios de</p>

<p>Desarrollo Urbano</p>	<p>los Centros de Población, contenida en los planes o programas de Desarrollo Urbano; Fracción VII. La preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección del ambiente en los Centros de Población.</p> <p>Título Cuarto Sistema de planeación del ordenamiento territorial, desarrollo urbano y metropolitano Capítulo 5 “Programas Metropolitanos y de Zonas Conurbadas” Artículo 34. Son de interés metropolitano; Fracción VIII. La preservación y restauración del equilibrio ecológico, el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y la protección al ambiente, incluyendo la calidad del aire y la protección de la atmósfera; Título Octavo Instrumentos Normativos Y De Control.</p> <p>Artículo 75. El uso, aprovechamiento y custodia del Espacio Público se sujetará a lo siguiente: Fracción XI. Se deberá asegurar la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente, la calidad formal e imagen urbana, la Conservación de los monumentos y el paisaje y mobiliario urbano.</p>
<p>Ley General De Desarrollo Forestal Sustentable</p>	<p>Artículo 3, Son objetivos específicos de esta Ley, fracción II. Regular la protección, conservación, uso sustentable y restauración de los ecosistemas, recursos forestales y sus servicios ambientales; así como la zonificación, el manejo y la ordenación forestal, fracción XXVII. Promover acciones con fines de conservación y restauración de suelos</p>
<p>Programa Nacional De Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano (PNOTDU) 2021-2024</p>	<p>Objetivo 5 ; Promover el hábitat integral de la población en la política de vivienda adecuada; Acción puntual 5.4 Relevancia del objetivo prioritario 4: potencializar las capacidades organizativas, productivas y de desarrollo sostenible; del sector agrario, de las poblaciones rurales y, de los pueblos y comunidades indígenas y afro mexicanas en el territorio, con pertinencia cultural.</p> <p>Objetivo 6 Fortalecer la sostenibilidad y las capacidades adaptativas en el territorio y sus habitantes; Acción puntual 6.1.4 Promover instrumentos para incentivar la protección, conservación y restauración de áreas naturales, así como de importancia para la provisión de servicios ecosistémicos, con prioridad en zonas de periferia urbana y en zonas rurales con potencial de conservación.</p>
<p>Programa Sectorial De Medio Ambiente Y Recursos Naturales (PROMARNAT) 2020-2024</p>	<p>Objetivo 6 “Objetivos prioritarios; 6.1 Promover la conservación, protección, restauración y aprovechamiento sustentable de los ecosistemas y su biodiversidad con enfoque territorial y de derechos humanos, considerando las regiones bioculturales, a fin de mantener ecosistemas funcionales que son la base del bienestar de la población; Estrategia prioritaria y puntual; 1.3. Restaurar los ecosistemas, con énfasis en zonas críticas, y recuperar las especies prioritarias para la conservación con base en el mejor conocimiento científico y tradicional disponibles. Acción puntual 1.3.1.- Promover la restauración productiva mediante la reconversión de tierras degradadas a sistemas agroforestales y agroecológicos, preferentemente en áreas alteradas por fenómenos naturales, especies exóticas invasoras y causas antropogénicas; Acción puntual 1.3.2.- Fomentar y difundir la investigación científica y articularla con los conocimientos tradicionales y saberes locales para fortalecer la toma de decisiones sobre restauración productiva, rehabilitación de ecosistemas y la recuperación de especies prioritarias; Acción puntual 1.3.3.; Restaurar los ecosistemas naturales terrestres, dulceacuícolas y marinos, con énfasis en zonas críticas, para recuperar los servicios</p>

	ambientales que proveen mediante un enfoque interdisciplinario, integral, intersectorial, participativo y territorial de largo plazo.
Plan Estatal de Desarrollo 2022-2028	Acuerdo 4 “Acuerdo para el Desarrollo Sostenible e Infraestructura Transformadora”; Estrategia 4.4 Cuidado del medio ambiente “Impulsar la gestión del medio ambiente para el bienestar de las generaciones actuales y futuras, además de proteger, restaurar y aprovechar de manera sostenible los recursos naturales que brindan los ecosistemas del estado”; 4.4.6 ; Incrementar la capacidad estatal para la conservación, restauración, conocimiento de la biodiversidad y los recursos naturales, impulsando su manejo y aprovechamiento sostenible; 4.4.6.2 . Desarrollar proyectos de conservación, preservación, restauración y aprovechamiento sostenible de la diversidad biológica, además del desarrollo forestal.
Ley Para La Protección Al Ambiente Del Estado De Hidalgo	TITULO PRIMERO “Disposiciones Generales” CAPÍTULO I “Del Objeto y Aplicación De La Ley”; Artículo 1o “- La presente Ley es Reglamentaria del párrafo vigésimo del artículo 5 la Constitución Política del Estado de Hidalgo, en materia de protección al ambiente y preservación y restauración del equilibrio ecológico en el Estado. Sus disposiciones son de observancia obligatoria en el territorio del Estado de Hidalgo y tiene como finalidad propiciar el desarrollo sustentable y establecer las bases para:” Fracción V “Prevenir y controlar la contaminación del aire, agua y suelo en el Estado en aquellos casos que no sea competencia de la Federación”
Marco Legal Internacional	
Objetivos de desarrollo Sostenible (Agenda 2030)	Objetivo 15 Sección 15.3 Poner fin a toda la deforestación ilegal, incluida la tala ilegal, el comercio de productos forestales ilegales y la conversión de bosques en otras tierras 15.4 Gestionar de manera sostenible todos los tipos de bosques, detener la pérdida de bosques, aumentar la forestación y la reforestación y aumentar significativamente el área de bosques de todos los tipos. 15.5 Reducir considerablemente la degradación de todas las formas de suelo, incluido el suelo de los bosques, deteniendo e invirtiendo su tendencia para 2030. 15.9 Integrar los valores de la diversidad biológica en las políticas, estrategias y planes de desarrollo nacional y local
	Objetivo 17 Sección 17.7 Promover el desarrollo de tecnologías ecológicamente racionales y su transferencia, divulgación y difusión a los países en desarrollo en condiciones favorables, incluso en condiciones concesionarias y preferenciales, según lo convenido de mutuo acuerdo.

A pesar de la existencia de un marco legal sólido diseñado para fomentar la restauración de suelos forestales a través de la colaboración entre gobiernos, sociedad y empresas, la implementación efectiva de estas normativas se ve obstaculizada por diversos factores. El desconocimiento de las leyes ambientales por parte de los servidores públicos, la corrupción y la insuficiente vigilancia debido a la escasez de personal especializado han generado un incumplimiento

generalizado o parcial de las obligaciones legales. Como consecuencia, se han producido daños significativos a los ecosistemas, resultando en la pérdida de valiosos recursos naturales y culturales a nivel nacional

Justificación

La erosión del suelo impacta la salud y el rendimiento del mismo, ya que elimina la capa superficial fértil (limitando la protección del suelo ante la exposición solar), disminuye la productividad agrícola, degrada los ecosistemas, aumenta los riesgos hidrogeológicos, provoca pérdida de biodiversidad y daña la infraestructura urbana, provocando menor infiltración de agua y evitando un adecuado almacenamiento y drenaje de la misma, por tanto, genera saturación del suelo e insuficiencia de agua (FAO, 2019).

Con la finalidad de evitar todas las consecuencias mencionadas dentro del fraccionamiento Bosque Real en Huasca de Ocampo, es necesario promover la restauración de los suelos erosionados mediante planes específicos que atiendan las condiciones particulares de degradación en las que se encuentra actualmente, de esta forma, además de evitar riesgos sociales, será posible recargar mantos acuíferos, asegurar el bienestar del bosque y permitir que cualquier interesado en la restauración suelo con características similares a las analizadas pueda replicarlo, por tanto, estas acciones tendrán un impacto benéfico a los habitantes del fraccionamiento, así como zonas urbanas cercanas a este.

Objetivos

General

- Implementar estrategias para la restauración de suelos erosionados en el fraccionamiento Bosque Real mediante la evaluación de parámetros químicos, acciones de estabilización del suelo y participación social, con el fin de elaborar un manual de procedimientos que integre los saberes obtenidos.

Particulares

- Obtener información de las problemáticas ambientales asociadas al uso del suelo en el fraccionamiento Bosque Real a partir de indicadores de percepción social aplicados a los habitantes del sitio.
- Definir el nivel de degradación del suelo en el fraccionamiento Bosque Real mediante el análisis de parámetros químicos de una muestra compuesta en comparación con una muestra de referencia.
- Identificar especies vegetales con potencial para la restauración de suelos distribuidas en el fraccionamiento Bosque Real.
- Evaluar tres estrategias de restauración edáfica para reducir la presencia de suelos degradados en el fraccionamiento Bosque Real.
- Implementar talleres participativos sobre prácticas de restauración, erosión de suelo, reproducción y siembra de plantas nativas, en el fraccionamiento Bosque Real y en escuelas cercanas, para fomentar la educación ambiental sobre la prevención de la erosión del suelo.
- Elaborar un manual de procedimientos para la restauración de suelos degradados a partir de la información generada de los análisis químicos y los talleres de participación social para el mejoramiento del bosque de pino-encino.

Materiales y método

Caracterización del sitio

El fraccionamiento Bosque Real se encuentra en el Municipio de Huasca de Ocampo, colindando en la parte sureste con Omitlán de Juárez, Hidalgo, esta zona cuenta con una vegetación predominada por el bosque de coníferas (BPQ: Bosque pino-encino, BQ: bosque de encino), aunque también puede encontrarse zonas de agricultura temporal (TA) (Figura 4) (SEMARNAT, 2022).

El tipo de suelo que conforma el área de estudio es andosol ócrico (Figura 5) (SEMARNAT, 2022), el clima perteneciente al fraccionamiento según la clasificación climática de Köppen modificada por García (2001) es CW2, templado húmedo, con lluvias en verano y sequía en invierno, con un porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2 mm; la temperatura promedio anual es de 13.4°C y la precipitación promedio anual de 861.3 mm (SMN, 2010).

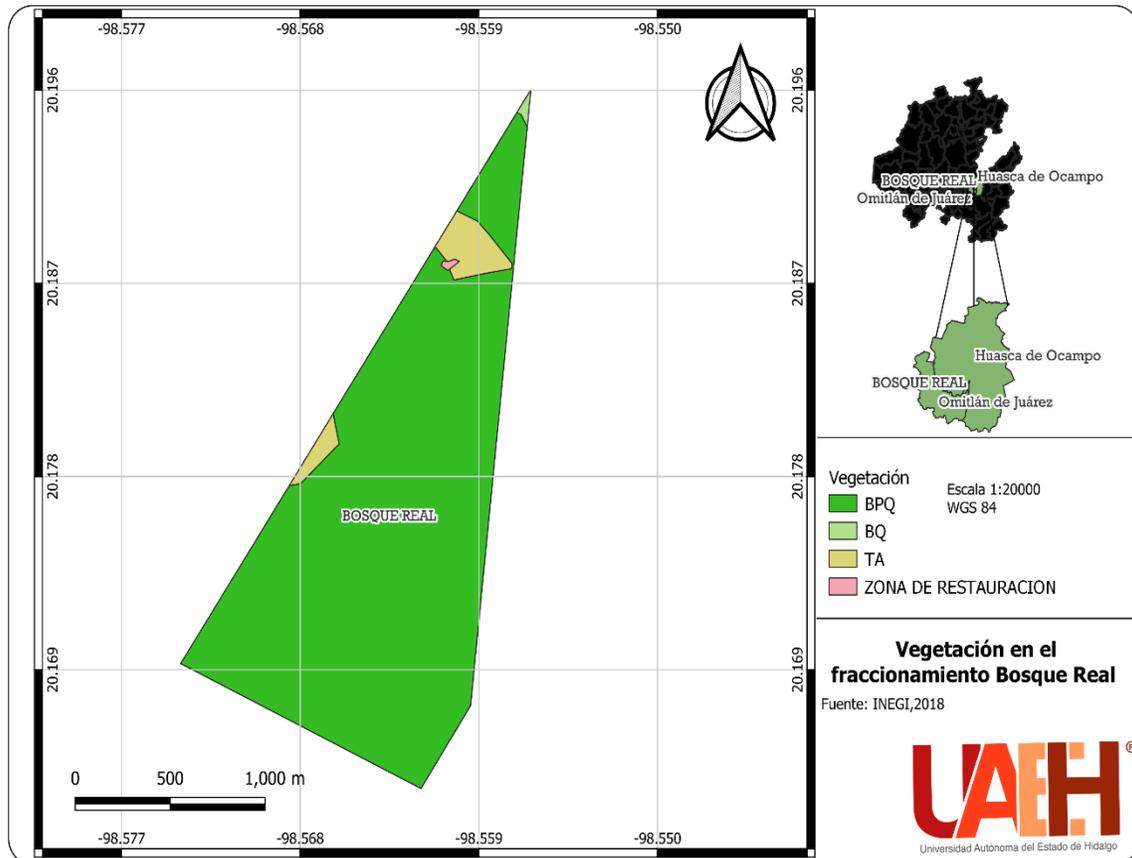


Figura 3. Mapa de vegetación en el fraccionamiento Bosque Real donde se observa dominancia del bosque de Pino Encino (BPQ). (Información obtenida del portal INEGI; Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VII. Conjunto Nacional; 2018).

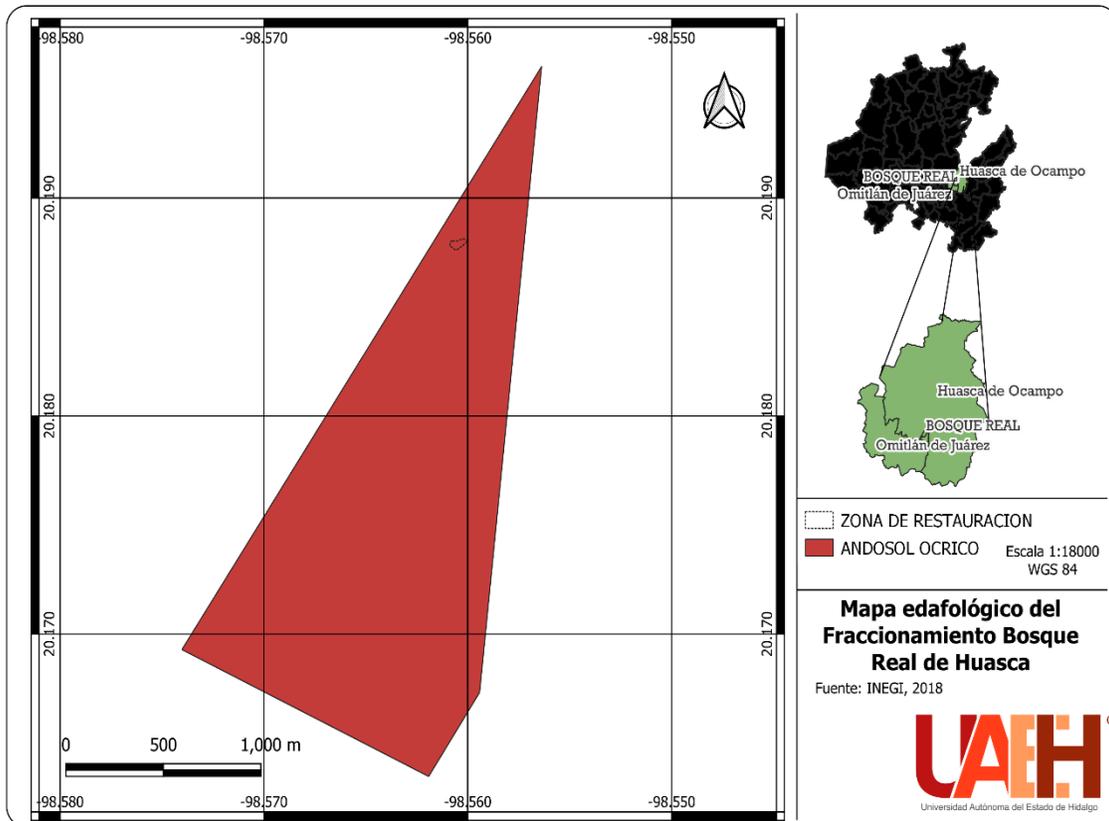


Figura 4. Mapa edafológico del Fraccionamiento Bosque Real de Huasca, en él podemos observar que el tipo de suelo en todo el fraccionamiento es Andosol Ócrico. Información obtenida del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) - Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2023).

El fraccionamiento está ubicado en la región hidrológica 26 perteneciente al río Pánuco, acuífero 1315 (Huasca – Zoquital) con una recarga anual de 52.1 mm y una descarga natural de 36.9 mm (SEMARNAT, 2022), la precipitación anual de 865.6 mm con una temperatura media de 15°C (CONAGUA, 2023).

La zona del fraccionamiento presenta erosión hídrica (Figura 6), denominada como HL2+HC2, lo cual significa:

- A) HL2: Hídrica laminar Grado Moderado (HL2). Pérdida parcial del suelo con alguna de las siguientes evidencias: remontantes discontinuos con altura promedio menor a 10 cm, presencia de pequeños montículos, algunos surcos aislados incluso con cárcavas dispersas, escasos surgimientos de roca o cementación, manchones de vegetación, canalillos y compactación de suelo (CONAFOR, 2018).

- B) HC2: Hídrica Cárcavas Grado Moderado (HC2). Cuando el promedio de profundidad o ancho de las cárcavas está entre 100 y 200 cm. Pueden presentarse estructuras en forma de pedestales con una separación aproximada entre una cárcava y otra de 30 a 50 m. Su forma es alineada coincidiendo con el patrón de drenaje, comúnmente aparecen en la parte más baja de la geoforma. (CONAFOR, 2018)

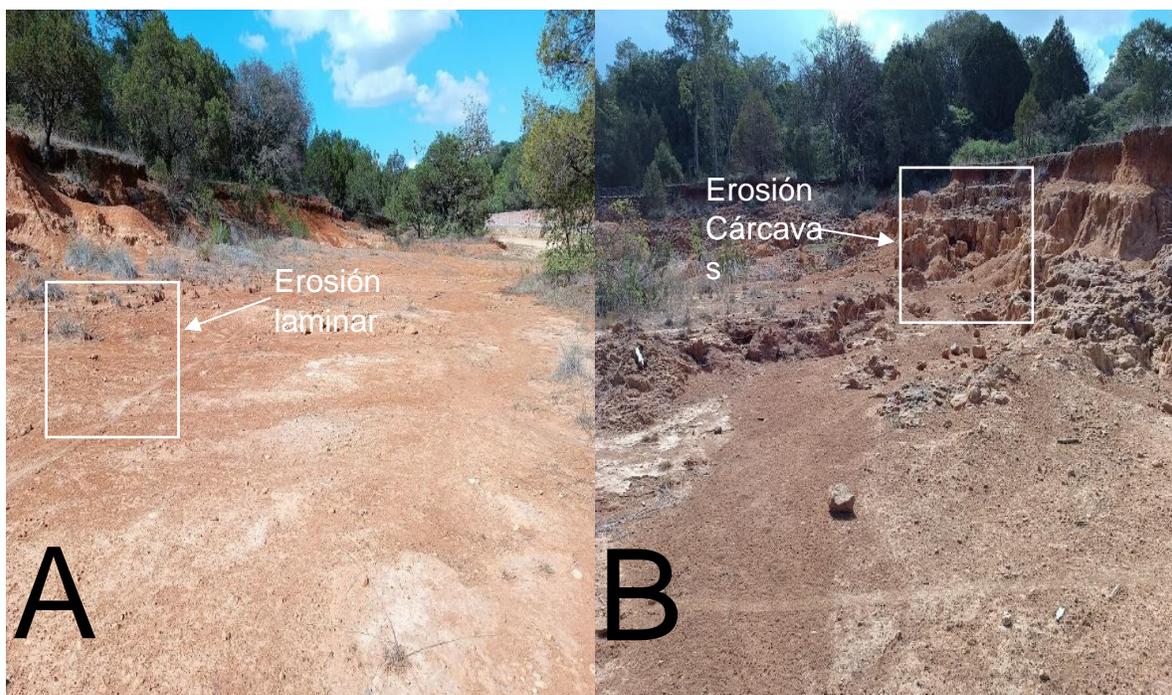


Figura 5. Ejemplos del tipo de erosión presente en el sitio de restauración

La selección de la zona de restauración (Figura 7) se llevó a cabo con la ayuda de los administradores del fraccionamiento, el polígono que se utilizó para implementar las acciones de restauración se encuentra sobre la calle “Morenas” ubicado en las parcelas:

- a. “14” con orientación 142.77 norte (parcelas 15-15 A); 80.45 sur (parcelas 13b-13 A); 109.02 oriente (MORENAS – parcela 14 A); 50.00 poniente (Límite del predio)
- b. “14 A” con orientación 58.21 norte (parcela 14); 43.17 sur (parcela 13 A); 42.70 oriente (MORENAS) ; 40.0 poniente (parcela 14)
- c. “15” con orientación 161.15 norte (parcela 16 A, 16B, 16C); 100.95 sur (Parcela 14); 109.16 oriente (MORENAS – 15 A); 50.00 (Límite del predio)
- d. “15 A” con orientación 58.28 norte (parcela 15); 41.82 sur (parcela 14); 43.01 oriente (MORENAS); 40.00 poniente (Parcela 15).

Esta zona cuenta con un área total aproximada de 5,231m² la cual se caracteriza por presentar erosión hídrica y antrópica (Figura 8).

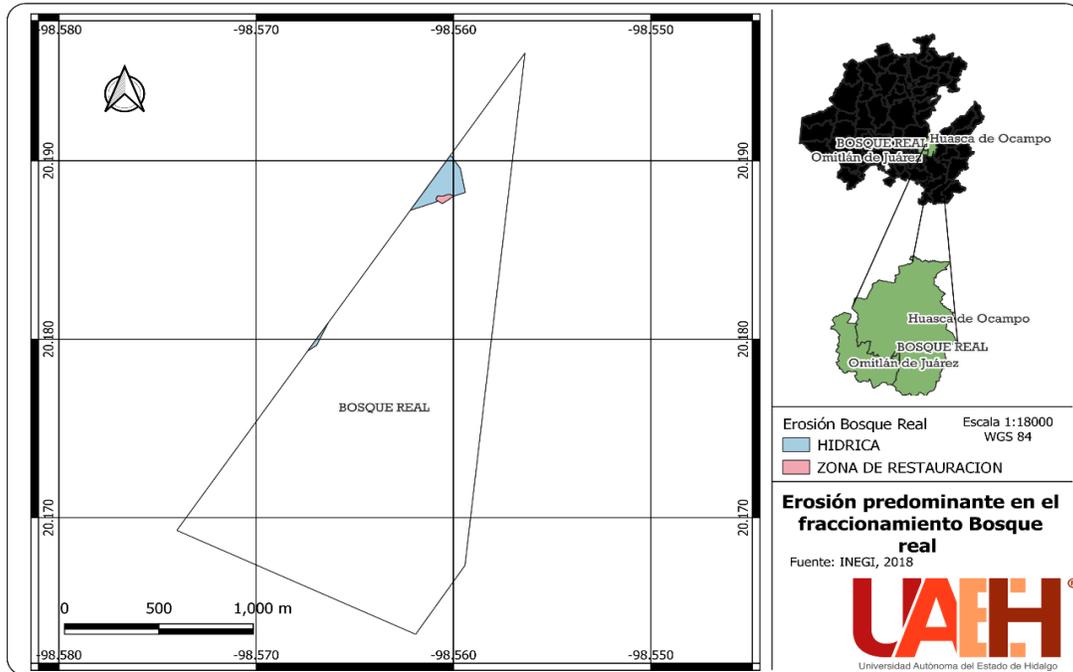


Figura 6. Tipo de erosión predominante en el fraccionamiento Bosque Real (Información obtenida de INEGI; Conjunto de Datos de Erosión del Suelo, Escala 1: 250 000 Serie I Continuo Nacional; 2014).

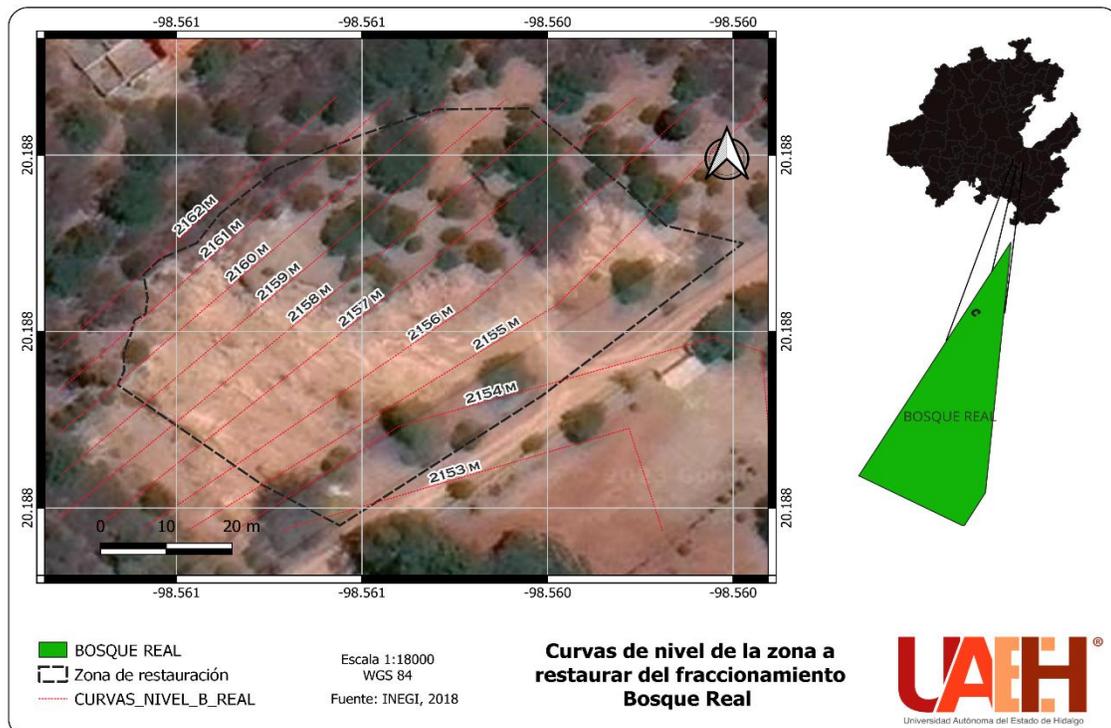


Figura 7. Curvas de nivel para representar el nivel de degradación del suelo en el fraccionamiento Bosque Real en Huasca de Ocampo, Hidalgo.

El estado de degradación fue comparado con un sitio de referencia dentro del mismo fraccionamiento, este sitio se caracterizó por presentar una vegetación basta, constituida principalmente por árboles de pinos, encinos, y cedros, el suelo tenía poca cubierta vegetal compuesta por hojarasca y ramas.

Indicadores de percepción social

Se realizó una evaluación sobre las condiciones ambientales del suelo en las que se encuentra el fraccionamiento Bosque Real, esto permitió comprender los puntos críticos para la sustentabilidad de este recurso dentro del fraccionamiento. Para esto se realizaron encuestas estructuradas a través de un formulario de Google dirigidas a personal del fraccionamiento, habitantes y comunidad alrededor del fraccionamiento, los aspectos a evaluar se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Indicadores de percepción social evaluados en habitantes del fraccionamiento Bosque Real en Huasca de Ocampo, Hidalgo.		
INDICADOR	PREGUNTA	RESPUESTAS
Salud del bosque	1. ¿Consideras que el suelo puede reflejar la salud de un bosque?	a. Totalmente de acuerdo b. Parcialmente de acuerdo c. Ni en desacuerdo ni acuerdo d. Parcialmente en desacuerdo e. Totalmente en desacuerdo
	2. ¿Consideras que tirar basura en el bosque, afecta la salud del suelo?	a. Totalmente de acuerdo b. Parcialmente de acuerdo c. Ni en desacuerdo ni acuerdo d. Parcialmente en desacuerdo e. Totalmente en desacuerdo
Causas de erosión	3. ¿Consideras que las plagas, como la del gusano barrenador y/o descortezador, pueden aumentar los procesos de erosión del suelo?	a. Totalmente de acuerdo b. Parcialmente de acuerdo c. Ni en desacuerdo ni acuerdo d. Parcialmente en desacuerdo e. Totalmente en desacuerdo
	4. ¿En los últimos 20 años que tan frecuente has visto procesos de erosión en	a. Muy frecuente b. Frecuentemente c. Ocasionalmente d. Raramente

	predios del fraccionamiento de Bosque Real?	e. Nunca
	5.¿Consideras que la tala clandestina puede causar erosión dentro y fuera del fraccionamiento?	a. Totalmente de acuerdo b. Parcialmente de acuerdo c. Ni en desacuerdo ni acuerdo d. Parcialmente en desacuerdo e. Totalmente en desacuerdo
	6.¿Qué tan frecuente has visto animales de pastoreo dentro del fraccionamiento (Vacas, caballos, cabras, borregos, burros)?	a. Muy frecuente b. Frecuentemente c. Ocasionalmente d. Raramente e. Nunca
	7.¿En los últimos 20 años qué tan frecuentes han sido los incendios forestales dentro del fraccionamiento?	a. Muy frecuente b. Frecuentemente c. Ocasionalmente d. Raramente e. Nunca
Pérdida de plusvalía	8.¿Consideras que un predio con erosión de suelo tiene una menor plusvalía?	a. Totalmente de acuerdo b. Parcialmente de acuerdo c. Ni en desacuerdo ni acuerdo d. Parcialmente en desacuerdo e. Totalmente en desacuerdo
Implementación de acciones	9.En caso de tener suelo erosionado dentro de su propiedad, ¿Estaría dispuesto(a) a remediarlo utilizando estrategias de bajo costo?	a. Totalmente de acuerdo b. Parcialmente de acuerdo c. Ni en desacuerdo ni acuerdo d. Parcialmente en desacuerdo e. Totalmente en desacuerdo

Muestreo y análisis de suelo

Se colectaron muestras de suelo de dos sitios, uno con las características de degradación antes señaladas, y otro conservado que funcionará como sitio de referencia. El procedimiento se realizó de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos.

Para ello se realizó un muestreo en zigzag, en cada punto se marcó un monolito de 50 x 50 cm, con ayuda de un barreno se tomaron de 6-10 submuestras de 0.5 kg cada una a una profundidad de 15-20 cm. Estas submuestras se mezclaron para obtener una muestra compuesta por condición de suelo, las cuales fueron tamizadas tres veces en el sitio, eliminando los terrones grandes entre cada tamizaje. Al final se guardaron 2 kg de muestra en bolsas de polipropileno debidamente identificadas.

Cada muestra fue enviada al laboratorio FertiLab ubicado en el municipio de Celaya, Guanajuato, para realizar los análisis químicos del suelo.

Tratamientos de restauración

Se aplicaron dos estrategias para la restauración de suelos debido a las condiciones de degradación por erosión hídrica presentes en el sitio de estudio.

A) Estabilización del suelo

Dentro del área de estudio se identificaron dos zonas prioritarias para restauración, una correspondiente a la formación de cárcavas y la otra ubicada en un llano con erosión laminar, por tanto, las estrategias de estabilización fueron las siguientes:

- Cubiertas orgánicas (prueba piloto en la zona de degradación laminar): A través del tiempo las cubiertas orgánicas se han utilizado para nutrir el suelo, proteger las semillas y evitar la erosión, así mismo, dichas cubiertas, permiten estabilizar el suelo reduciendo la erosión del agua y el viento y ayudan a reducir los cambios bruscos de temperatura sobre la biota del suelo (Díaz Mendoza, 2011). En el sitio erosionado se utilizó esta estrategia para recuperar la fertilidad y/o cubierta de materia orgánica, se evaluaron tres tipos de cubiertas colocadas en un área de 1 x 1 m², con tres repeticiones cada una (Figura 4), las cubiertas fueron:
 - a) Acolchado de madera triturada (Cedro blanco, fresno y encino). La intención de este procedimiento es evitar la luz solar directa en el suelo, ayudar a retener humedad, y aportar nutrientes con la degradación de la madera.
 - b) Cubierta con vegetación muerta de la zona (hojas y ramas). El material vegetal proviene de zonas conservadas del fraccionamiento, con la finalidad de aportar nutrientes, devolver humedad al suelo, y permitir el establecimiento de artrópodos.
 - c) Lombricomposta: La lombricomposta se obtuvo durante un periodo de tres meses para ello, en una tina de 150 L se vertieron diferentes materiales (Tezontle grueso, tezontle fino, tierra, ramas) posteriormente se agregaron 300 lombrices californianas perteneciente a la especie *Eisenia fétida* posteriormente se agregaron aproximadamente 40 L de desperdicios orgánicos (cáscara de huevo, fruta, vegetales, etc), después se agregó agua

cada semana y se removía la tierra con la finalidad de que entrara el aire, finalmente durante este periodo de tiempo, se fueron anexando residuos orgánicos cada 2 semanas, así como tierra y hojarasca. Se colocó la cubierta orgánica sobre el suelo erosionado, así mismo, se realizó una zanja captadora de agua con la finalidad de disminuir la fuerza del agua, evitando la erosión en el sitio bajo tratamiento. En el caso de la lombricomposta, se agregaron hojas de maguey para hidratar la zona previamente a la adición de la composta, de esta manera las hojas funcionan como mecanismo de protección.

Estos tratamientos permanecieron por un periodo de tres meses (mayo, junio y julio del 2023) para que los factores ambientales combinados con factores biológicos propiciaran la degradación de las cubiertas y posterior nutrición del suelo.

- Terrazas de banco o talud: Esta estrategia se aplicó en las zonas de cárcavas, ya que se recomienda su construcción en zonas con pendiente no mayor al 50%, o en zonas de alto riesgo de erosión o pedregosidad (Contreras Contento & Torres Ardila, 2021). Se realizó una evaluación previa de la pendiente para corroborar si era necesaria o no la formación de terrazas. La construcción de las terrazas se llevó a cabo con ayuda de una máquina retroexcavadora, la cual se encargó de formar 3 terrazas utilizando material rocoso así como tierra del lugar, para ello fue necesario desintegrar las cárcavas.

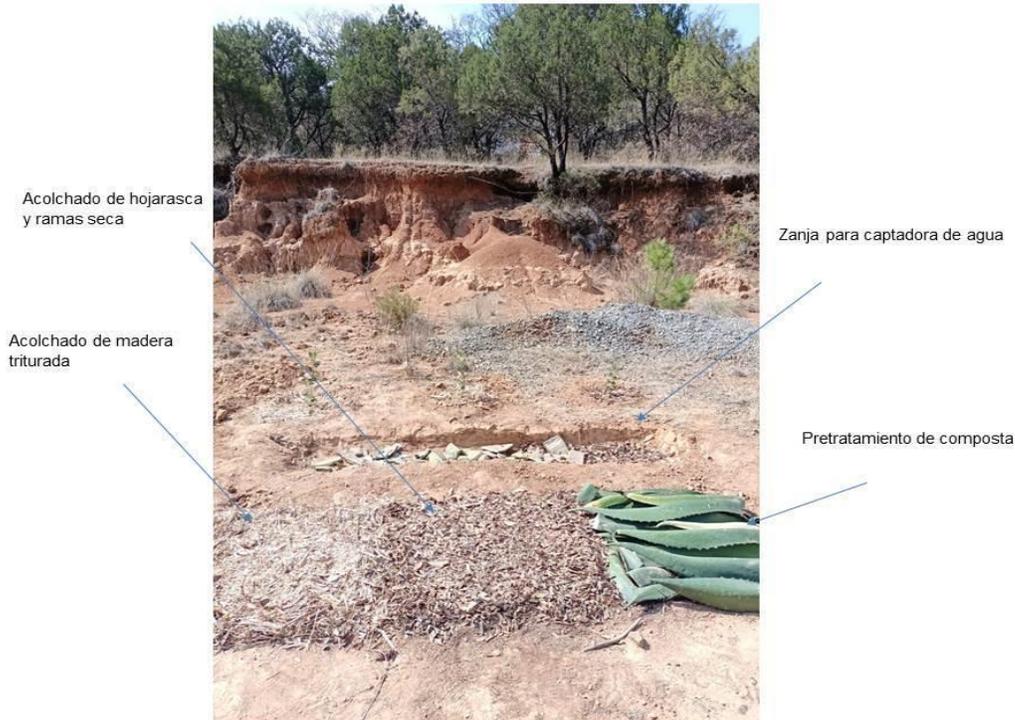


Figura 8. Modelo de tratamiento en zona de erosión hídrica laminar A.

El método de evaluación de pendiente utilizado para evaluar el tratamiento de estabilización fue el que recomienda la FAO (2021), el cual consta de lo siguiente:

1. **Determinar la línea de dirección de la pendiente:** Es necesario seleccionar el punto más alto del terreno y una estaca sobre él, posteriormente, es necesario, trazar una línea recta hacia el punto más bajo, en el mismo sentido de la pendiente. Esta línea se llama “línea de dirección de la pendiente”.
2. **Calcular el nivel de la pendiente:** Para conocer el desnivel del terreno, se hace una operación matemática conocida como “media”. Se toman los niveles de pendiente de cinco puntos diferentes, elegidos al azar en la parcela, se suman y el resultado se divide entre la cantidad de puntos medidos.
3. **Ejemplo de procedimiento:**
 - a. Se coloca el aparato “A” en uno de los puntos marcados; levantando la pata que está en el aire hasta que marque el nivel.
 - b. Como el aparato “A” mide 2 metros de ancho, el porcentaje de pendiente es la mitad de la diferencia en altura en centímetros entre los puntos determinados a lo largo de la pendiente, que en este caso son dos (con el aparato “A” puesto a nivel)
 - c. Para este ejemplo, imaginemos que existen 140 centímetros de diferencia de nivel, divididos entre 200 centímetros de ancho de las patas del aparato “A”, igual a 0.70 que multiplicados por 100, son igual a 70% de pendiente.

B) Reintroducción de especies vegetales

Se realizó un listado de las especies vegetales presentes en el fraccionamiento Bosque Real, posteriormente se clasificaron por estado de sucesión (primaria, secundaria y terciaria) para elegir aquellas con potencial para la restauración de suelos en el fraccionamiento.

Posterior a la elaboración del listado, se seleccionaron especies vegetales para su reintroducción en el sitio a restaurar de acuerdo con su tipo de reproducción, crecimiento rápido, amplia distribución dentro del fraccionamiento y características bioculturales que las hacen atractivas para los colonos de Bosque Real.

. Las especies vegetales elegidas fueron las siguientes:

- Retama (*Senna multigladosa*)
- Escobetilla (*Baccharis heterophylla*)
- Fresno (*Fraxinus uhdei*)
- Maguey pulquero (*Agave salmiana*)
- Conchita (*Echeveria secunda*)

- Siempre viva (*Sedum sp.*)
- Hierba del burro (*Salvia microphylla*)
- Gallito de monte (*Salvia patens*)
- Tlacote (*Salvia mexicana*)
- Toronjil (*Agastache mexicana*)
- Tepozán blanco (*Buddleja cordata*)
- Pino llorón (*Pinus patula*)
- Cedro Blanco (*Cupressus lusitanica*)
- Nopal (*Opuntia sp.*)

Dichas plantas se cultivaron en un invernadero a partir de semilla, posteriormente, cuando alcanzaron una talla aceptable (10 a 15 cm) se mantuvieron gradualmente fuera del invernadero para empezar un proceso de endurecimiento, el cual consiste en limitar el riego de manera gradual, aumentando los lapsos de sequía, con la finalidad de fomentar la resistencia de las plantas (Vilagrosa, Villar Salvador, & Puértolas, 2006), este proceso se mantuvo por 6 meses.

Posterior al tiempo de estabilización del suelo, se sembraron las plantas que presentaron un mayor crecimiento las cuales fueron, *Senna multiglandulosa*, *Agave salmiana* y *Buddleja cordata*, estas especies se utilizaron para evaluar su sobrevivencia en el sitio a restaurar y posteriormente elegir la que presentara mayor resistencia para la evaluación con tratamientos orgánicos. Para esta actividad se agregó lluvia sólida hidratada, así como un sustrato de diferentes componentes, el cual denominaremos “Sustrato rico en nutrientes” (SR), compuesto por tezontle fino, madera triturada, abono de vaca, harina de roca, tierra de monte y tierra arcillosa.

Cabe resaltar que la especie que más se sembró fue *Senna multiglandulosa* o mejor conocida como retama, dicha especie pertenece a la familia de las fabáceas, presenta una alta capacidad para fijar nitrógeno y empezar a formar suelo. En esta fase se evaluaron cinco tratamientos: T1) Control, sin sustrato orgánico, T2) Lombricomposta (LB), T3) SR, T4) LB + Acolchado (hojarasca de la región), T5) SR + Acolchado. Se realizó un monitoreo por un periodo de seis meses (diciembre 2023-mayo 2024) donde se registró el crecimiento en diámetro de las plantas con ayuda de un vernier (mm) en cada una de las condiciones a restaurar.

Análisis Estadísticos

Para realizar los análisis estadísticos, se obtuvieron los datos de promedio, desviación estándar y error de la desviación estándar de las plantas por tratamiento. Se calculó la tasa de incremento en el diámetro, para evitar de esta manera el sesgo por el tamaño inicial registrado. La fórmula aplicada fue $Ti=Dx+1/Dx$, donde Dx es el diámetro al tiempo x , y $Dx+1$ es el diámetro de la misma planta a un tiempo posterior. Estos datos no fueron normales por lo que se realizó un ANOVA de medidas repetidas más un modelo lineal no generalizado (GLM) considerando la distribución log normal que era la que mejor se ajustaba a la distribución de los datos, este análisis permitió evaluar el efecto del tiempo sobre el incremento en el diámetro. Posteriormente, para evaluar el efecto de los

tratamientos (enmiendas orgánicas), se realizó un ANOVA no paramétrica de Friedman con la medida directa de los datos. Para el análisis no se consideraron ejemplares que murieron durante el tiempo de evaluación, todas las pruebas estadísticas se realizaron con el programa Past v4.05 (Hammer, Harper y Ryan, 2001)

Talleres participativos

Con el fin de fomentar la educación ambiental sobre la prevención de la erosión de suelos, se realizaron talleres participativos dirigidos a estudiantes de bachillerato dentro del municipio de Huasca de Ocampo, así como a colonos y vecinos del fraccionamiento Bosque Real. En dichos talleres se abordaron temas de prevención y mitigación de erosión, así como de arborización y propagación de plantas nativas.

Cada taller contó con distintas estrategias de educación ambiental con el objetivo de facilitar un mejor entendimiento sobre las acciones que pueden provocar la erosión, así mismo, se abordaron las estrategias que ayudan a mitigar la misma, con la finalidad de que puedan ser replicadas por cada uno de los participantes, con ello se promovió la difusión de la información. Los temas, objetivos y público al cuál fueron dirigido los talleres se observan en la tabla 3.

Tabla 3. Propuestas de talleres participativos sobre la importancia de la restauración ecológica del bosque.			
Público dirigido	Taller	Objetivo	Fecha
Estudiantes de bachillerato (COBAEH HUASCA DE OCAMPO)	Erosión del suelo y alternativas para combatirlo	Brindar información de fácil comprensión sobre la erosión del suelo, junto con alternativas que pueden ayudar a mitigar dicha problemática	21 de abril 2023
Colonos y vecinos del fraccionamiento	Propagación de especies nativas	Fomentar la reproducción de especies nativas, a través de la propagación sexual y asexual	17 de junio 2023
Colonos, vecinos y Estudiantes de bachillerato	Estrategias adecuadas para plantar especies nativas, plogging y arborización en zona conservada	Enseñar las estrategias necesarias para asegurar la supervivencia de plantas recién trasplantadas Realizar plogging en el bosque Arborizar en zona conservada con <i>Pinus patula</i>	7 de octubre 2023
Estudiantes de bachillerato (COBAEH)	Elaboración de compostas	Brindar una alternativa viable, para desechar los residuos orgánicos y con ello generar composta	17 de noviembre 2023

HUASCA DE OCAMPO)			
-------------------	--	--	--

Resultados y Discusión

Indicadores de percepción social

Se aplicó una encuesta a 24 colonos del fraccionamiento Bosque Real, cuyos resultados se pueden apreciar en las figuras 10, 11 y 12, así como en la tabla 3. Estos resultados se refieren a la percepción que tienen los habitantes del fraccionamiento con respecto a la salud del bosque y su relación con el suelo (P1 y P2), a las causas que pueden provocar erosión del suelo (P3, P4, P5, P6 y P7), la pérdida de plusvalía de sus propiedades a causa de la erosión (P8), y si están dispuestos a realizar acciones para reducir la erosión de suelos (P9).

El 99 y 100% de los entrevistados consideran que las condiciones del suelo si puede ser un indicador de la salud del suelo y que la presencia de basura puede afectarla (Tabla 3), esto nos muestra que la mayoría de los entrevistados, están conscientes sobre las acciones humanas y naturales que perjudican la salud del bosque, esta situación, revela que las estrategias por parte de los administradores, para permitir la compra de predios, han generado que los colonos sea personas con arraigo y pertenencia al bienestar del bosque.

El 57 % de los colonos menciona que han visto sitios con erosión en el fraccionamiento, la apreciación sobre los factores que provocan erosión se distribuye de la siguiente manera: en primer lugar, se encuentra la tala clandestina (98%), seguido de la presencia de plagas (89%), incendios (74%) y finalmente el pastoreo (70%). Esta información permitió plantear las estrategias para prevenir la erosión dentro del fraccionamiento.

El interés en la implementación de estrategias que contribuyan a mitigar la erosión revela la preocupación que tiene cada uno de los entrevistados, hacia la conservación del bosque, esto es de esperarse, ya que, debido a las políticas del fraccionamiento, cada uno de sus habitantes comparten ideologías respecto a mantener un bosque saludable, en ese sentido, es notorio que los entrevistados tienen conocimiento básico sobre situaciones que pueden poner en peligro el bienestar forestal.

Con respecto al concepto del fraccionamiento, la mayoría de los entrevistados tienen clara la relación entre un terreno conservado y la plusvalía que mantiene (92%), por tanto, están dispuestos a implementar medidas que contribuyan a reducir la erosión en sus predios.

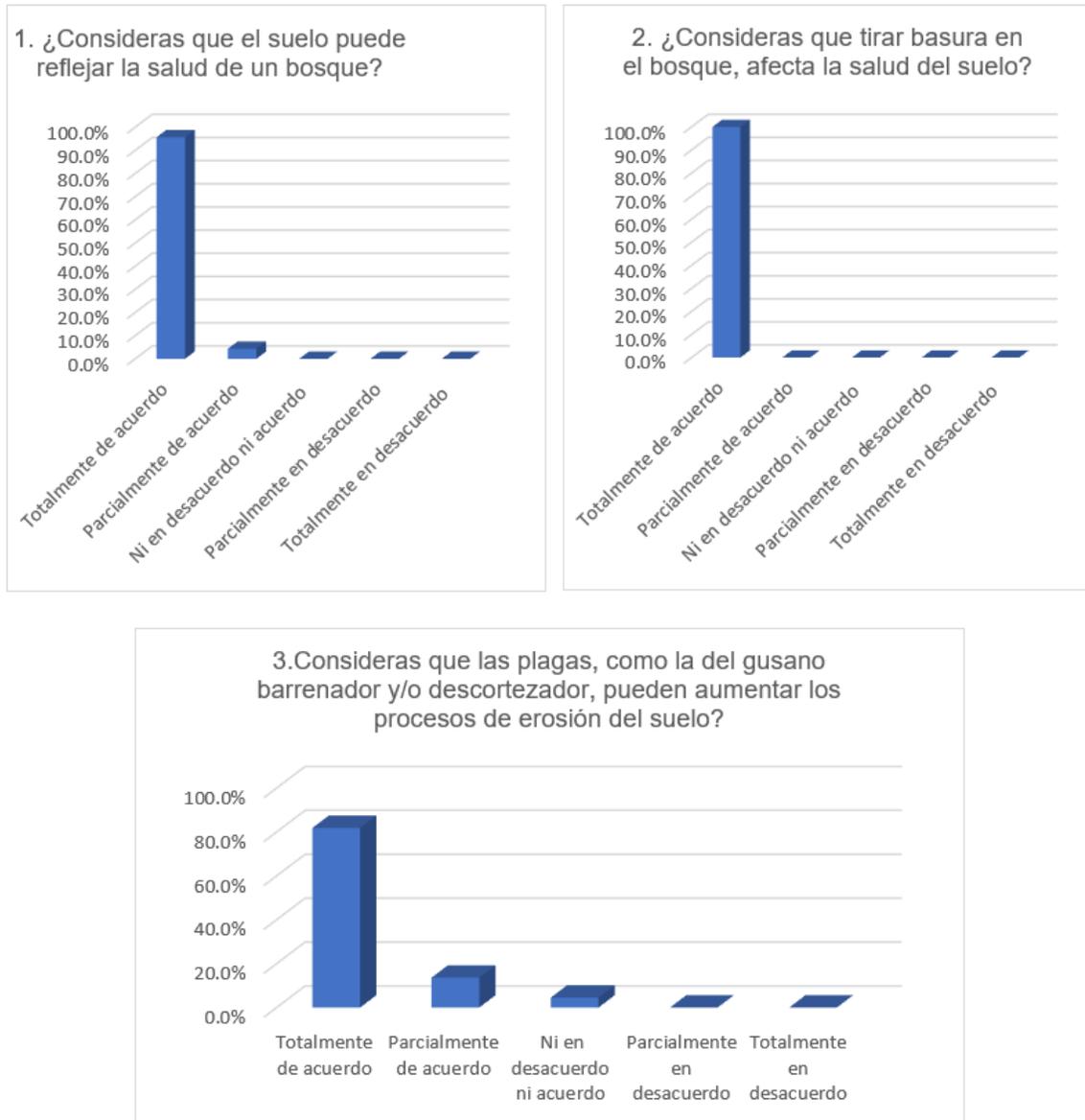


Figura 9. Resultado de los indicadores de percepción social sobre la Salud del bosque

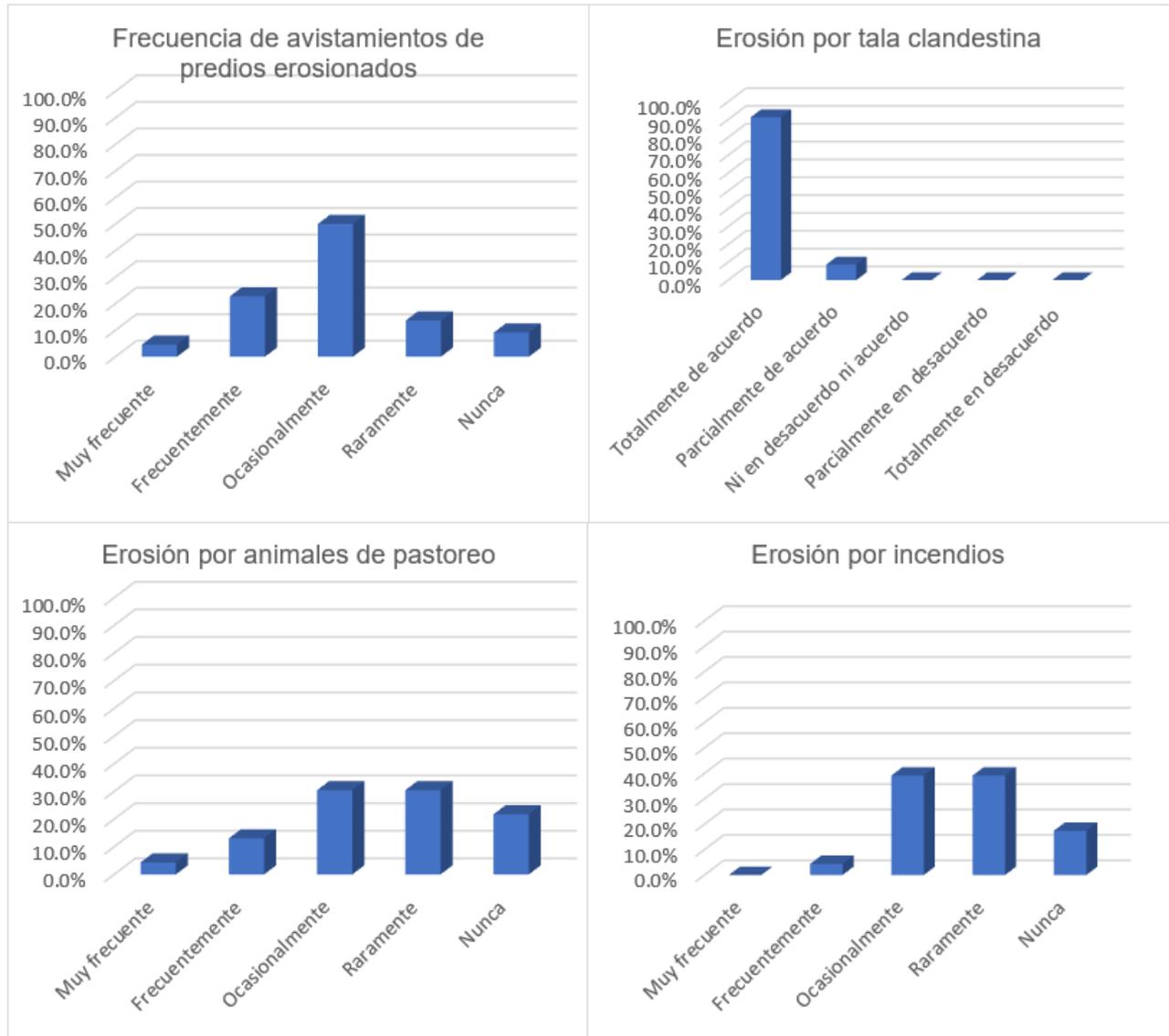


Figura 10. Resultado de los indicadores de percepción social sobre factores que causan erosión.

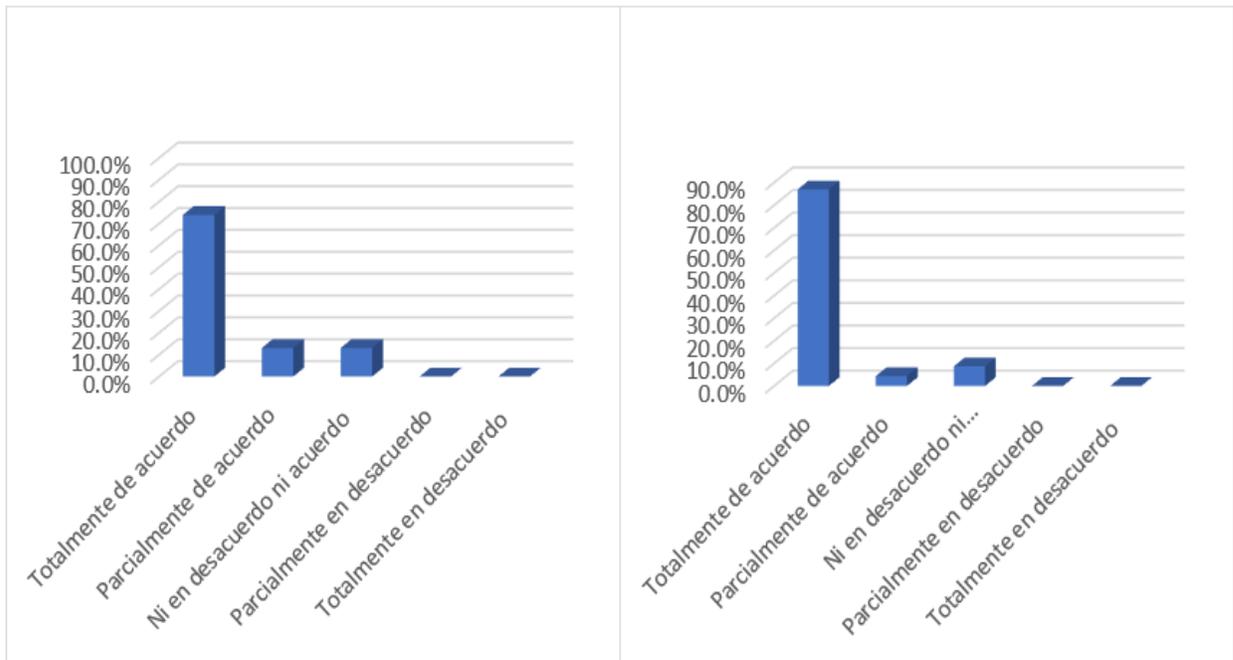


Figura 12. Resultado de los indicadores de percepción social sobre la plusvalía en predios con erosión

Tabla 4. Resultados de las encuestas aplicadas a colonos del fraccionamiento Bosque Real para conocer la sustentabilidad del suelo.	
Porcentajes obtenidos	
P1	El 99% de las personas entrevistadas, consideran que el suelo puede reflejar la salud del bosque,
P2	El 100% de las personas entrevistadas, considera que tirar basura afecta la salud del suelo
P3	El 89% de las personas entrevistadas que las plagas como el gusano barrenador pueden aumentar los problemas de erosión
P4	El 57% de los entrevistados ha visto predios dentro del fraccionamiento con erosión.
P5	El 98% de las personas entrevistadas consideran que la tala clandestina es causante de erosión
P6	El 70% de las personas entrevistadas han observado animales de pastoreo dentro del fraccionamiento
P7	El 74% de las personas entrevistadas consideran que en los últimos 20 años los incendios dentro del fraccionamiento han sido frecuentes
P8	El 92% de las personas entrevistadas considera que un terreno erosionado tiene menos plusvalía
P9	El 96% de los entrevistados comentaron que, en caso de existir erosión dentro de su propiedad, estarían dispuestos a implementar medidas para mitigarla.

El atractivo principal del fraccionamiento es el bosque, debido a ello, se esperaría que la mayoría de las personas que vivieran en él, valoran su salud y cuidado; en ese sentido, la encuesta reveló que más del 90% de los encuestados considera que la salud del suelo refleja un bosque sano, y que situaciones como tirar basura, pueden generar muchos daños. Cabe señalar que la percepción hacia la salud del bosque es positiva, lo cual podrá facilitar futuros proyectos que ayuden a recuperar el bienestar forestal, sin embargo, a pesar de que existe conciencia sobre situaciones que dañan al bosque, es necesario facilitar más información a la población sobre el tema. Soares y Ortega (2021) mencionan que la percepción de la población sobre la necesidad de realizar acciones para conservar el bosque está en función de los significados y utilidad que le dan, por tanto, sus estrategias estarán encaminadas a la elaboración de propuestas que contrarresten las problemáticas percibidas.

En ese sentido Moreno Cano, Casado del Río, & Jiménez Iglesia (2015) realizaron una encuesta sobre la percepción social del concepto de cambio climático y su divulgación en los medios de comunicación en la ciudad de Bucaramanga (Colombia), la cual, reveló que el 84% de la población tiene una percepción clara y negativa del cambio climático, reconociendo que la actividad humana es la principal causa. Así mismo mencionan que esta preocupación generalizada fue expresada por el 87% de las personas, mismas que a

su vez, expresan inquietud por el impacto que el cambio climático tendrá en las generaciones futuras, estos hallazgos subrayan la urgencia de abordar el cambio climático y la importancia de que los medios de comunicación desempeñen un papel activo en la educación e información del público sobre este tema crucial.

Otro ejemplo similar es el de Soares y Sandoval Ayala (2016), que a través de una encuesta realizada en el Municipio de Ixil (México) reveló, que un tercio de la población asocia el cambio climático con la actividad humana, lo que indica una creciente comprensión de las causas del fenómeno. Sin embargo, los impactos percibidos se centran en los cultivos y las cosechas, lo que refleja la dependencia de la comunidad por la agricultura. Esta situación genera una sensación de vulnerabilidad entre los residentes, quienes temen por sus medios de vida, su economía y su salud frente a los efectos del cambio climático, por ello, es crucial implementar medidas de adaptación y apoyo que empoderen a las comunidades locales para hacer frente a los desafíos del cambio climático de manera efectiva. Lo anterior se puede relacionar con la percepción de los colonos, y los problemas del bosque (erosión, plagas, etc.) desde la perspectiva, en que para ellos un bosque sano, es un bosque agradable para vivir, por ello, es normal, que tengan conocimiento sobre situaciones naturales o humanas que sean capaces de dañar el entorno.

Es fundamental comprender cómo la población local percibe la salud del bosque, ya que, a pesar de su importancia, aún se necesitan más investigaciones sobre las percepciones de la población local, ya que los estudios existentes son limitados. Existen estudios que toman en cuenta el papel de las percepciones sociales en el impacto de programas de conservación, donde se analizan las percepciones ambientales de las personas que viven en la zona de estudio, con el objetivo de comprender mejor la relación entre las comunidades locales y sus bosques. Al comprender las percepciones de las personas, es posible obtener información valiosa sobre sus lógicas y motivaciones, así como sus intereses y necesidades de conservación. Esta información es fundamental para diseñar e implementar intervenciones de restauración y conservación de bosques que sean efectivas y culturalmente apropiadas (Ortega López & Soares de Morales, 2022)

La percepción ciudadana va a estar delimitada por muchas variables socio ambientales, sin embargo, se esperaría que las personas que compraron predios en el fraccionamiento Bosque Real conocieran previamente las pautas y reglas del mismo, no obstante, debido a que han existido ventas por parte de terceros, donde no explican dichas pautas, existen habitantes que no están conformes al ciento por ciento, esto genera algunas problemáticas, sin embargo, realizando un mayor esfuerzo de concientización a través de la educación ambiental, gradualmente será posible, implementar acciones que aseguren una percepción positiva sobre la salud del bosque, las causas de erosión del suelo, y sobre todo los beneficios ambientales y económicos que se generarán.

El bienestar del bosque en Bosque Real va a depender de la percepción de los Colonos, es decir, si tienen una percepción positiva sobre la implementación de estrategias que permitan mitigar las problemáticas forestales, se puede asegurar la conservación y resiliencia del mismo, en ese sentido, Calixto Flores y Herrera Reyes (2010) en su estudio sobre la percepciones y la educación ambiental, mencionan que nuestras decisiones y comportamientos hacia el ambiente están profundamente influenciados por las evaluaciones emocionales que hacemos de él, tendemos a actuar de manera favorable o desfavorable hacia aquello que percibimos como positivo o negativo, respectivamente, a través de la comprensión de las percepciones individuales, se pueden promover cambios en las conductas ambientales y como consecuencia se podrá tomar conciencia de los efectos negativos y con ello se podrán plantear alternativas más sostenibles, en otras

palabras la percepción ambiental se convierte en una herramienta fundamental para conocernos a nosotros mismos y al mundo que nos rodea, permitiéndonos adaptarnos a él de manera armónica y responsable.

Análisis del suelo

Los resultados del análisis de macro y micronutrientes del suelo tanto del sitio degradado como el de referencia se pueden apreciar en la Tabla 5.

Tabla 5. Comparación de los parámetros químicos del suelo entre la zona a restaurar con respecto a un sitio de referencia en el fraccionamiento Bosque Real.							
Parámetros químicos							
<i>Zona a Restaurar</i>				<i>Zona de Referencia</i>			
Material	Valor	Unidad	Interpretación	Material	Valor	Unidad	Interpretación
pH	7.56	N/A	Moderadamente alcalino	pH	8.22	N/A	Alcalino
M. O.	0.75	%	Muy bajo	M. O.	4.84	%	Muy Alto
P	1.66	ppm	Muy bajo	P	1.66	ppm	Muy bajo
K	126	ppm	Bajo	K	163	ppm	Moderadamente alto
Ca	555	ppm	Bajo	Ca	912	ppm	Moderadamente alto
Mg	233	ppm	Medio	Mg	217	ppm	Medio
Na	62.1	ppm	Moderadamente alto	Na	31.3	ppm	Bajo
Fe	6.83	ppm	Moderadamente bajo	Fe	31.4	ppm	Alto
Zn	<0.25	ppm	Muy bajo	Zn	1.77	ppm	medio
Mn	6.47	ppm	Moderadamente bajo	Mn	26.2	ppm	Alto
Cu	0.13	ppm	Muy bajo	Cu	0.41	ppm	Moderadamente bajo
B	0.03	ppm	Muy bajo	B	0.11	ppm	Muy bajo
S	1.35	ppm	Muy bajo	S	1.35	ppm	Muy bajo
NO ₃ a N	0.54	ppm	Muy bajo	NO ₃ a N	0.95	ppm	Muy bajo

De estos parámetros, tanto los macroelementos K y Ca, como los microelementos Fe, Zn, Mn, y Cu tienen valores bajos con respecto al sitio de referencia, en cambio, la cantidad de Na es alto en el sitio erosionado con respecto al sitio de referencia, estos bajos niveles pueden estar asociados con la erosión hídrica presente en el sitio perturbado, lo cual también tiene relación con la pérdida del contenido de materia orgánica (M.O.).

p.H: El pH es un parámetro que permite saber que tan ácido o alcalino es un suelo, así como, la disponibilidad de nutrientes que influyen directamente en las propiedades químicas, físicas y biológicas de las plantas, por tal motivo, el valor de pH va a influir

directamente en la supervivencia y adaptabilidad de las plantas (INTAGRI, 2021). La tabla de ph y absorción de nutrientes elaborada por Sánchez Ormeño et al. (2021) (Figura 13) hace alusión del rango ideal de ph para asegurar la absorción de nutrientes, el cual debe estar entre 6.5 y 7.5, sin embargo, un rango de ph que abarque de 6 a 8, se puede considerar como suficiente para la absorción de la mayoría de los nutrientes.

En ese sentido, la comparación entre el pH de la zona a restaurar (7.56, moderadamente alcalino) y la zona de referencia (8.22, alcalino) entran en los parámetros de Ph de un bosque de pino encino perturbado, el cual tiene un rango de 7.5 a 8.5. (Cantu S. & González R., 2022), en todo caso, ambos pH se encuentran alcalinos con respecto a valores medios reportados para suelos forestales (5.62) (Islas-López et al., 2014)

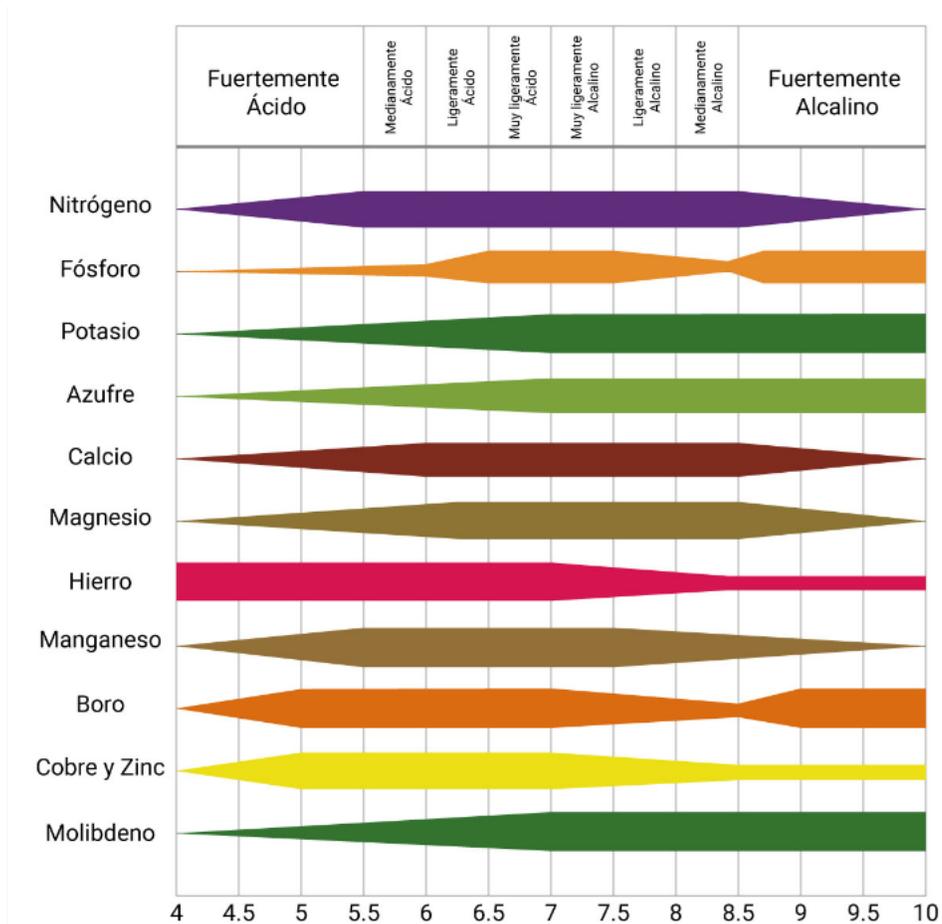


Figura 13. Tabla de disponibilidad de nutrientes respecto al pH del suelo (Sánchez Ormeño et al., 2021)

M.O.(Materia orgánica): Está compuesta de diferentes elementos (carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, azufre, etc.) que son esenciales para el crecimiento de las plantas, debido a que regula la actividad química, mantiene la biodiversidad del suelo, evita la compactación, permite una mayor porosidad y genera una mayor fertilidad (López, 2020). La materia orgánica se considera un indicador del bienestar edafológico, entre mayor sea su concentración, mejor salud tendrá el suelo; ante esto, si comparamos los valores del sitio a restaurar (0.75%) y el sitio de referencia (4.84%) con la tabla de valores medios de las

propiedades químicas de los suelos forestales (con valores del 7.29%) (Islas-López et al., 2014), se podría decir que ambos sitios tienen poca materia orgánica a lo esperado para un bosque sano.

P (Fósforo): Es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas, ya que fomenta el enraizamiento, participa en los procesos de fotosíntesis, respiración, fosforilación, así como, la absorción de nitrógeno; por otro lado, interviene en la floración y acelera la maduración de los frutos (K+S, K+S Minerals and Agriculture, 2019). Por ello, la falta de fósforo generaría infertilidad en el suelo, ya que además de retardar la maduración y crecimiento radicular de las plantas, provocaría trastornos metabólicos debido al mal funcionamiento de la transferencia energética (K+S, K+S Minerals and Agriculture, 2019). Este elemento se encuentra en proporciones bajas (1.66 ppm) para ambas condiciones analizadas

K (potasio): El potasio desempeña diversas funciones en la nutrición de las plantas, es muy importante en la adaptación a efectos ambientales, en la absorción de agua del suelo y provee una mayor calidad a las flores (FERTILAB, 2022). El sitio a restaurar presenta niveles bajos de K (126 ppm) con respecto al sitio de referencia (163 ppm), esto puede ser perjudicial para las plantas que se utilicen para la restauración ya que la deficiencia de este elemento puede provocar problemas de clorosis, marchitez o flacidez (PennState, 2023).

Ca (calcio): Elemento encargado de mantener la estructura de los suelos, colabora en la rigidez de las plantas, así como en la defensa contra patógenos, actúa en reacciones hormonales, debido a ello, es básico para la calidad y producción de las plantas (Agricultura, 2017). El sitio de referencia presenta niveles moderadamente altos de Ca con respecto a la zona a restaurar (912 y 555 ppm, respectivamente), esto puede dificultar el establecimiento de las especies elegidas para la restauración, por esta razón es importante la selección de especies nativas y adaptadas a condiciones de degradación severas.

Mg (Magnesio): Elemento que participa en la fosforilación, fijación de carbono, síntesis de proteína, la deficiencia de dicho elemento provoca un bajo crecimiento en las raíces, así como una pobre absorción del agua y nutrientes (Cakmak & Yazici, 2021). Para ambos sitios los niveles de Mg son intermedios (entre 217 y 233 ppm).

Na (sodio): Elemento que estimula el crecimiento de las plantas, su deficiencia puede causar clorosis, necrosis e incluso, impide la floración. Así mismo, el exceso de sodio genera erosión del suelo, repercutiendo negativamente en las reservas de aire y agua del suelo (K+S, Minerals and Agriculture, 2019). Esto puede presentarse en el sitio perturbado donde los niveles de Na son moderadamente altos.

Fe (Hierro): Elemento necesario para la clorofila, la respiración, la activación enzimática, fotosíntesis (almacena la energía luminosa), su deficiencia produce la pérdida de color verde, limitando su crecimiento (Mata, 2020); los valores bajos de Fe se encuentran en el sitio a restaurar (6.83 ppm).

Zn (Zinc): Elemento que favorece la fertilidad y calidad de las semillas, ayuda a nivel celular, manteniendo la integridad de las membranas celulares, debido a ello su deficiencia repercute directamente en la reproducción de las plantas (INTAGRI, 2021). El Zn se encuentra en proporciones medias (1.77 ppm) en el sitio de referencia con respecto al perturbado (<0.25 ppm) donde está muy bajo.

Mn (Manganeso): Elemento involucrado en la fotosíntesis, respiración y asimilación de nitrógeno, así como la germinación de polen, resistencia a patógenos, etc. Su déficit provoca clorosis intervenal en hojas jóvenes, las cuales se tornan amarillentas, cuando existe un déficit severo el crecimiento de la planta es afectado (Bloodnick, 2022). Esto se

puede presentar en plantas que se establezcan en el sitio a restaurar donde los valores son moderadamente bajos.

Cu (cobre): Elemento esencial para completar el ciclo de vida de las plantas (producción de semillas viables, fotosíntesis, formación de la clorofila y respiración). La deficiencia repercute directamente en el crecimiento (SOBITEC, 2017). Los valores fueron bajos para ambos sitios.

Los análisis de fertilidad en el predio a restaurar dieron como resultado lo siguiente:

- Boro (B): .03 mg
- Fósforo (P): 1.66 mg
- Potasio (K): 126 mg
- Materia orgánica (M.O): 0.75%
- pH: 7.56

Mientras que en la zona de referencia presentaban:

- Boro (B): .11 mg
- Fósforo (P): 1.66 mg
- Potasio (K): 163 mg
- Materia orgánica (M.O): 4.84%
- pH: 8.22

Brunel & Seguel (2011) mencionan que la erosión del suelo disminuye el rendimiento y crecimiento de las plantas al reducir la cantidad de nitrógeno (N) y fósforo (P) disponibles, así como la materia orgánica (M.O). Esto se debe a que la erosión elimina capas superficiales del suelo, donde se concentra la mayor parte de estos nutrientes y M.O. Además de la reducción de nutrientes, la erosión afecta otras propiedades del suelo que también impactan el crecimiento de las plantas. Por ejemplo, altera la porosidad, compacta el suelo y reduce la capacidad de infiltración y retención de agua. Estos cambios son más severos en los primeros horizontes del suelo, por lo que el contenido de nutrientes disminuye con la profundidad.

En el análisis de suelo realizado por Brunel & Seguel (2011) a 18 cm de profundidad en un área erosionada reveló los siguientes resultados:

- Boro (B): .15 mg
- Fósforo (P): 4 mg
- Potasio (K): 87 mg
- Materia orgánica (M.O): 0.98%
- pH: 6.48

Por lo tanto, la erosión del suelo limita la disponibilidad de agua y nutrientes, restringe el crecimiento de las raíces y, en general, reduce la productividad del suelo. Estos efectos negativos son más pronunciados en suelos erosionados con menor profundidad de enraizamiento.

No obstante, con respecto al fraccionamiento Bosque Real, es importante resaltar que a pesar de que los valores de la zona de referencia son mas altos que la zona a restaurar, son bajos si se comparan con otros estudios en sitios con vegetación y clima semejantes.

En ese sentido, Matías Ramos y colaboradores (2020) mencionan que el promedio de M.O en bosque conservados es de 12.58%, con un pH promedio de 5.9, así mismo, en dicho estudio mencionan que, a mayor materia orgánica presente en el suelo, la tasa de infiltración se incrementa, esto indica que al aumentar la infiltración existe menor erosión.

En ese sentido en la zona de referencia como en la zona a restaurar, existe erosión continua, la cual, ha reducido gradualmente el contenido de M.O y con ello la capacidad de infiltrar agua, lo cual aumenta gradualmente la degradación del suelo, perdiendo propiedades fisicoquímicas, disminuyendo su capacidad de resiliencia. Altas concentraciones de materia orgánica en el suelo permiten mejorar la capacidad para retener agua, ya que reducen su densidad y resistencia a la penetración, permitiendo que el agua se infiltre con mayor facilidad (Sandoval García et al., 2021).

El grado de erosión en la zona a restaurar del Fraccionamiento Bosque Real era alto, ya que presentaba un porcentaje de inclinación del 40% en las zonas de cárcavas, lo que generaba perdida de suelo en temporada de lluvias, por causa del arrastre.

Listado de especies con potencial para la restauración biológica

Se realizó un listado de especies vegetales presentes en el fraccionamiento Bosque Real (Tabla 6), a partir de esta lista se realizó una selección y clasificación de especies con potencial para la restauración biológica de acuerdo con el estado de sucesión en el que se desarrollan (Tabla 7).

Tabla 6. Listado de especies vegetales nativas dentro del fraccionamiento Bosque Real, Huasca de Ocampo, Hidalgo.

ESPECIE	NOMBRE COMÚN
<i>Agave salmiana</i>	Maguey pulquero
<i>Arbutus tessellata</i>	Madroño mexicano
<i>Baccharis conferta</i>	Escoba
<i>Begonia gracilis</i>	Ala de Ángel
<i>Buddleja cordata</i>	Tepozán
<i>Chimaphila maculata</i>	Chimafila manchada
<i>Cirsium ehrenbergii</i>	Cardo
<i>Cosmos bipinnatus</i>	Girasol morado
<i>Cosmos scabiosoides</i>	Girasol guinda
<i>Crocantemun glomeratum</i>	cenicillo amarillo
<i>Dugesia mexicana</i>	Alchicolia
<i>Echeveria Secunda</i>	Conchita
<i>Fleischmannia pycnocephala</i>	Cruz dulce chica
<i>Gentiana spathacea</i>	Flor de hielo
<i>Geranium bellum</i>	Pata de león de monte

<i>Iostephane heterophylla</i>	Hierba del oso
<i>Juniperus deppeana</i>	Táscate
<i>Juniperus flaccida</i>	Enebro triste
<i>lepechinia schiedeana</i>	Hierba del cáncer
<i>Loeselia mexicana</i>	Espinosilla
<i>Lysimachia arvensis</i>	Jabonera
<i>Mammillaria discolor</i>	Biznaga de diversos colores
<i>Mammillaria rhodantha rhodantha</i>	Biznaga de flores rosadas
<i>Monotropa hypopitys</i>	Pipa de indio
<i>Opuntia robusta</i>	Nopal Camueso
<i>Orthrosanthus exsertus</i>	
<i>Passiflora adenopoda</i>	Granada cimarrona
<i>Pinguicula moranensis</i>	Violeta de barranca
<i>Pinus devoniana</i>	Pino escobeeon
<i>Pinus montezumae</i>	Ocote blanco
<i>Pinus patula</i>	Ocote colorado
<i>Prunus serotina</i>	Capulín
<i>Pseudognaphalium roseum</i>	Gordolobo rosado
<i>Quercus laurina</i>	Encino laurelillo
<i>Quercus Rugosa</i>	Encino quiebra hacha
<i>Roldana aschenborniana</i>	Hediondilla
<i>Salvia elegans</i>	Hierba del burro
<i>Salvia mexicana</i>	Tlacote
<i>Salvia patens</i>	Flor del gallito
<i>Stevia monardifolia</i>	Hierba dulce
<i>Tigridia pavonia</i>	Oceloxochitl
<i>Vaccinium leucanthum</i>	Cahuiche

Tabla 7. Listado de especies de sucesión primaria, secundaria y terciaria distribuidas en el fraccionamiento Bosque Real

Primaria	Secundaria	Terciaria
<i>Agave salmiana</i>	<i>Buddleja cordata</i>	<i>Arbutus tessellata</i>
<i>Baccharis conferta</i>	<i>Orthrosanthus exsertus</i>	<i>Juniperus deppeana</i>
<i>Begonia gracilis</i>	<i>Roldana aschenborniana</i>	<i>Juniperus flaccida</i>
<i>Cirsium ehrenbergii</i>	<i>Senna-multiglandulosa</i>	<i>Hesperocyparis lusitanica</i>
<i>Cosmos bipinnatus</i>		<i>Pinus devoniana</i>
<i>Cosmos scabiosoides</i>		<i>Pinus montezumae</i>
<i>Dugesia mexicana</i>		<i>Pinus patula</i>
<i>Fleischmannia pycnocephala</i>		<i>Quercus laurina</i>
<i>Geranium bellum</i>		<i>Quercus Rugosa</i>

<p><i>Ipechinia schiedeana</i> <i>Loeselia mexicana</i> <i>Opuntia ficus-indica</i> <i>Passiflora adenopoda</i> <i>Pinguicula moranensis</i> <i>Pseudognaphalium roseum</i> <i>Salvia elegans</i> <i>Salvia mexicana</i> <i>Salvia patens</i> <i>Stevia monardifolia</i> <i>Tigridia pavonia</i></p>	<p><i>Vaccinium leucanthum</i></p>
--	------------------------------------

De estas especies se eligieron a retama (*Senna multigladosa*), maguey pulquero (*Agave salmiana*), conchita (*Echeveria secunda*), hierba del burro (*Salvia microphylla*), gallito de monte (*Salvia patens*), tlacote (*Salvia mexicana*), toronjil (*Agastache mexicana*), tepozán blanco (*Buddleja cordata*), pino llorón (*Pinus patula*), cedro blanco (*Hesperocyparis lusitanica*) y nopal (*Opuntia Sp*) para realizar las pruebas de restauración, debido a que las plantas son fáciles de conseguir, tienen alto porcentaje de germinación, y su crecimiento es rápido a comparación de otras encontradas en el fraccionamiento.

Tratamientos de restauración

Se establecieron las áreas prioritarias a restaurar, principalmente las zonas con erosión hídrica laminar.

A) Estabilización del suelo

Cubiertas orgánicas: En la Figura 14 se pueden observar 3 cubiertas orgánicas diferentes (composta, madera triturada y hojarasca) implementadas en la zona a restaurar, además, con la finalidad de asegurar la permanencia de estos tratamientos, se realizó una zanja de protección evitar posibles escorrentías o deslizamientos de suelo en zonas altas.

Las cubiertas orgánicas o mejor conocidas como cubiertas vegetales, son de gran importancia en la conservación del suelo, estas ayudan a protegerlo del impacto generado por la lluvia, crean sombra y aumentan el porcentaje de humedad presente (FAO, 2023), debido a ello, son utilizadas para mitigar la erosión. Así mismo, actúa como un escudo protector del suelo, defendiéndolo del impacto erosivo de las gotas de lluvia. Al interceptar las gotas de lluvia, la cubierta vegetal reduce su energía cinética y evita que estas impacten directamente sobre el suelo, lo que podría provocar su desprendimiento y arrastre, además, no solo protege al suelo de la erosión, sino que también actúa como un aliado para su desarrollo y productividad ya que, al reducir la velocidad del escurrimiento superficial, la cubierta vegetal permite una mayor infiltración del agua en el suelo, aumentando así la disponibilidad de humedad para las plantas (Ruiz V., Bravo E., & Loeza R, 2001).

En España se han utilizado cubiertas vegetales para mitigar la erosión de suelo en plantaciones de olivos, las cuales han generado excelentes resultados, principalmente han

ayudado a fijar carbono, reducir las pérdidas de sedimento y mejorar el balance de agua (Márquez García, 2018).

Las zanjas son pequeñas excavaciones o trincheras de tierra construidas siguiendo curvas de nivel, buscan interceptar, recolectar e infiltrar escorrentía de aguas superficiales de terrenos adyacentes y gradiente arriba (Locatelli et al., 2020), es recomendable ubicarlas al pie de cada terraza, para capturar suelo y aprovechar el agua de escorrentía, estas zanjas funcionan como reservorios temporales de agua superficial, almacenándola y liberándola lentamente hacia el suelo, lo que beneficia a las plantas de diversas maneras, para maximizar los beneficios de las zanjas de infiltración, se recomienda revegetar con pastos o forestar los espacios intermedios entre ellas (Pizarro Tapia et al., 2004).

La zanja realizada en la zona de tratamiento funcionó de forma adecuada durante el periodo de lluvia, las precipitaciones se presentaron durante 2 semanas, permitiendo acumular aproximadamente 400 kg de suelo. A pesar de que la zanja de protección fue diseñada como un medio de retención de suelo e infiltración de agua, puede utilizarse para obtener otros beneficios, como: 1) Reducción en la escorrentía, 2) Reducción en la pérdida de suelo, 3) Almacenamiento de humedad en el suelo y 4) Acumulación de suelo fértil.

No obstante, para tener estos beneficios Locatelli y colaboradores (2020) comentan que es necesario tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. **Estudios previos de la zona:** Es fundamental realizar estudios detallados del suelo y la geología antes de implementar nuevos sistemas de zanjas. En la medida de lo posible, se deben realizar experimentos con trazadores y modelos de aguas subterráneas para evaluar su impacto. Además, es importante considerar los efectos potenciales sobre otros servicios ecosistémicos, como la producción agrícola, la biodiversidad, el secuestro de carbono y la belleza del paisaje.
2. **Asociación de zanjas con cobertura vegetal:** La influencia de la cubierta vegetal en el desempeño de las zanjas de infiltración confirma la necesidad de integrar el manejo de la vegetación con las zanjas para lograr una mayor disminución de la escorrentía en comparación con el uso exclusivo de zanjas. Se recomienda fortalecer o restaurar la cubierta vegetal para minimizar la erosión entre las zanjas y prevenir su obstrucción.
3. **Reducción de efectos adversos:** Minimizar las alteraciones al suelo y la vegetación durante la construcción de zanjas es crucial para prevenir el aumento de la erosión. Además de estos impactos negativos en las zanjas mismas, es fundamental considerar la reducción de efectos adversos en el entorno circundante.

En lo que respecta a las coberturas orgánicas, la que tuvo mayor éxito fue la de hojarasca con material perteneciente a la zona (hojas y ramas), aproximadamente posterior a un mes de la colocación de las coberturas, se empezó a observar crecimiento vegetal perteneciente a la especie *Cosmos bipinnatus*.

Cabe destacar que los componentes de la hojarasca desempeñan roles esenciales ya que actúan como regenerador del suelo, previniendo la erosión, optimizando sus propiedades físicas y químicas, y preservando su fertilidad, además de servir como sustento para la fauna heterótrofa, no obstante, al ser un entorno dinámico y complejo, es necesario realizar más estudios para tener una mayor comprensión y con ello desentrañar el funcionamiento de los ecosistemas y el ciclo de nutrientes (López-Hernández et al., 2013).



Figura 14. Modelo de tratamiento en zona de erosión hídrica laminar B.

Terrazas. Con ayuda de una máquina retroexcavadora, se formaron tres terrazas (formadas con roca y sustrato obtenido del mismo lugar), cada una de ellas contó con un bordo en la parte final para retener sustrato, así como el suficiente espacio para poder sembrar plantas que ayuden a prevenir la erosión.

En las zonas de corte, donde se encontraba desprendimiento de sustrato, se le dio inclinación con la finalidad de mitigar este problema. En la Figura 15 se observa la composición estructural de las terrazas, así como el antes (A) y después (B) de la zona erosionada.

En las terrazas dos y tres se realizaron dos bordos para retener agua y suelo, en el bordo de la terraza dos, se sembró nopal, con la finalidad de brindar soporte, formar raíces, evitar la pérdida de sustrato y estabilizar el área previa al bordo, por otro lado, en la terraza tres se sembraron retamas en el bordo, con la finalidad de que ayuden a retener agua y suelo.

Después de dos semanas de lluvia constantes en el mes junio del 2023, se logró notar algunos de los beneficios que aportan las terrazas para reducir la erosión entre las que destacan principalmente los siguientes:

1. Retención de agua y arribo de ranas pertenecientes a la especie *Hyla arenicolor*.
2. Aparición de diferentes especies de plantas en las zonas bajas de las terrazas.
3. Retención de suelo en la terraza tres y dos.

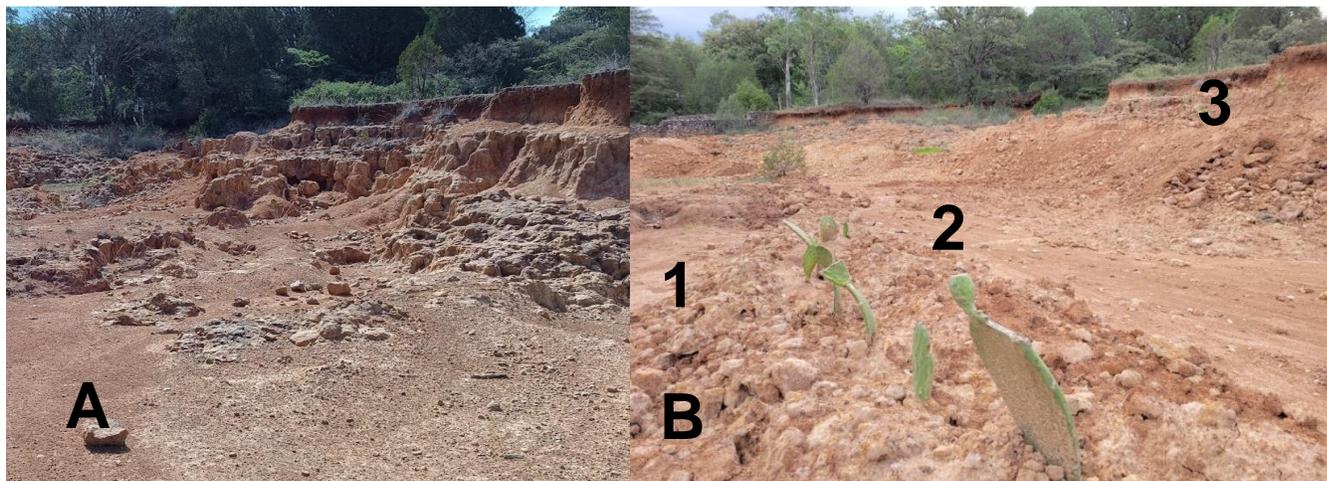


Figura 15. Antes y después de implementar las terrazas como tratamiento de estabilización

Las terrazas se elaboraron con la finalidad de que actuarán como barreras físicas que contribuyan a disminuir la velocidad del agua que corre por la pendiente, evitando así el aumento de erosión del suelo, especialmente durante la época de lluvia. Las laderas o cárcavas con inclinaciones superiores a 45 grados presentan un desafío significativo para la reforestación, tanto por la dificultad de que las semillas germinen de forma natural como por la complejidad de las tareas de restauración, las cuales requieren forzosamente ayuda de maquinaria para modificar el suelo (terrazas), para posteriormente establecer la vegetación (Tormo, Bochet, & García-Fayos, 2009).

Está comprobado que las terrazas son altamente efectivas para controlar la erosión del suelo, la escorrentía superficial y la pérdida de sedimentos. Se ha demostrado que reducen la erosión en un 99.09%, aumentan la infiltración del agua en un 43.6%, disminuyen el escurrimiento superficial en un 74% y la pérdida de sedimentos en un 46.6% (Mancilla Villa, Oropeza Mota, & Martínez Menes, 2009).

Es necesario considerar el uso de barreras de vegetación permanentes en las terrazas, plantadas a lo largo del contorno, es necesario considerar la siembra de especies perenes, con la finalidad de desarrollar una cubierta densa capaz de reducir la velocidad de escorrentía, se puede utilizar vegetación que sea capaz de fijar nitrógeno, así mismo, es recomendable suministrar de forma gradual, estiércol y hojarasca, también es necesario realizar podas para evitar la competencia por luz, el tiempo para que las terrazas combinadas con la vegetación empiecen a estabilizar el suelo es de aproximadamente 2 años, ya que pasado este tiempo, la pérdida de suelo se reduce en un 75% y la escorrentía se reduce aproximadamente el 20% en comparación con las zonas sin vegetación, es importante mencionar que en muchos lugares donde se han establecido terrazas, al cabo

de unos años, acaban abandonándolas, debido a la falta de mano de obra así como al aumento de precio (Dorren & Rey, 2004).

B) Introducción de especies vegetales y monitoreo

El día 30 de junio del 2023 (figura 17), se sembraron nopales (*Opuntia sp.*) en el bordo correspondiente a la terraza dos, con la finalidad de proporcionar una mayor resistencia a la erosión con ayuda de la formación de raíces del nopal, posteriormente, el día 5 de julio se sembraron 12 retamas (*Senna multiglandulosa*) en el bordo de la terraza tres (figura 18); con la finalidad de ayudar a resistir la sequía, a todas las retamas sembradas se les administró ½ litro de lluvia sólida hidratada.

Posteriormente, el día 24 de agosto, se sembraron dos agaves (*Agave salmiana*), un tepozán blanco (*Buddleja cordata*) y 20 retamas (*Senna multiglandulosa*) (figura 18), a todos excepto a los agaves, se les agregó 10 gr de lluvia sólida (deshidratada). El día 27 de septiembre se revisaron los ejemplares, 5 de las 20 retamas murieron debido a la sequía, por ello, se procedió a retirarlas. Se agregaron cinco nuevos ejemplares, todas las plantas fueron regadas con la finalidad de hidratar la lluvia sólida y evitar la desecación.



Figura 16. Siembra de nopales en el bordo de la terraza 2



Figura 17. Siembra de retamas en el bordo de la terraza 3

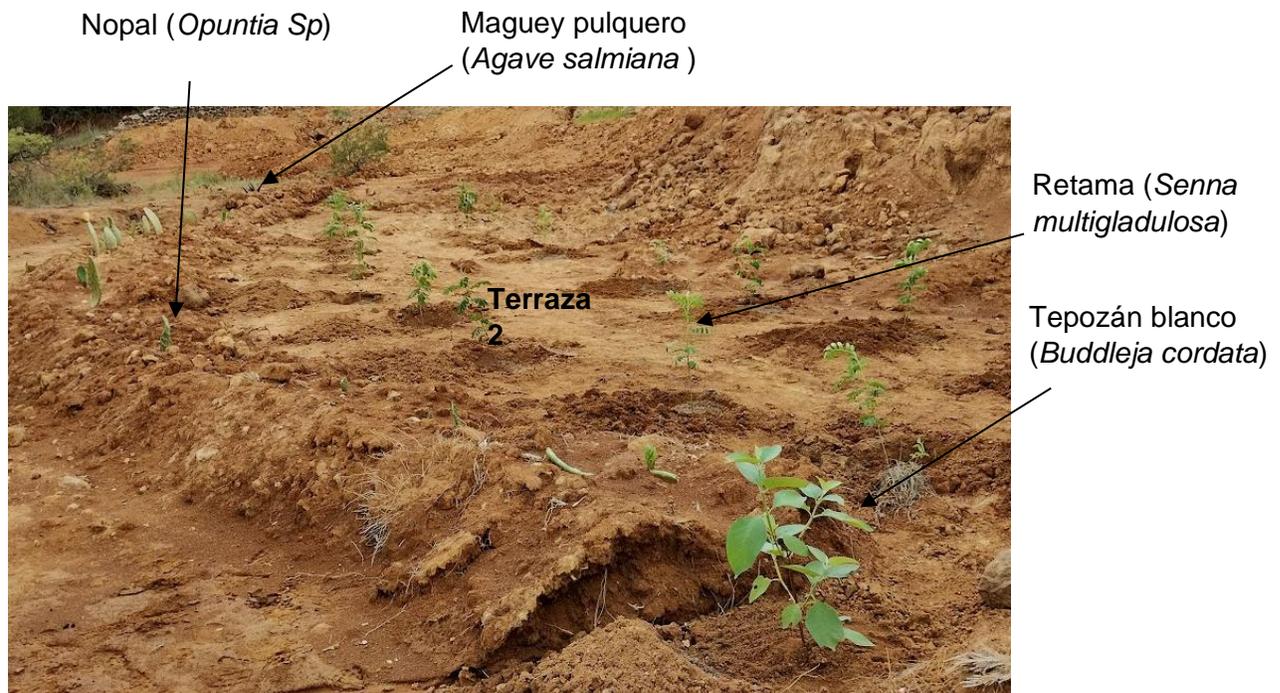


Figura 18. Siembra de retamas, agave y tepozán

Una alternativa adicional de restauración es a través de bancos de semillas físicamente dormidas de *M. foliolosa* la cual es una planta perteneciente a la familia de las fabáceas, mismas que son capaces de mantener la viabilidad y vigor, germinando con altos porcentajes y producir plántulas de crecimiento rápido, el almacenamiento artificial de semillas de *M. foliolosa* no es una restricción para las técnicas de restauración basadas en semillas (Silva y Fernández, 2014)

Una vez sembradas y estabilizadas las especies, se eligieron ejemplares de retama para evaluar el efecto de cinco tratamientos con enmiendas orgánicas, las cuales se monitorearon por un periodo de 6 meses, para ello se midió el incremento en el diámetro de cada árbol por tratamiento. Se obtuvo que el incremento tiene un efecto significativo con respecto al tiempo, esto se calculó mediante un ANOVA bajo un modelo lineal generalizado (GLM) ($F=2231.52$, $gl=5$, $P=<0.001$).

Posteriormente se realizó un ANOVA de Friedman para determinar el efecto de los tratamientos sobre el incremento del diámetro, el resultado indica que existen diferencias significativas ($\chi^2= 74.398$, 5 , $p=1.24E-14$) donde el tratamiento del sustrato rico en nutrientes + acolchado estimulan un mayor crecimiento, en comparación del tratamiento de lombricomposta el cual es menos propicio para el crecimiento (Figura 19)

Seitz y colaboradores (2018) han demostrado que las cubiertas vegetales vivas de malas hierbas son más efectivas para reducir la erosión del suelo que los residuos vegetales muertos en sistemas agrícolas sin labranza. Se requieren investigaciones más profundas sobre los factores que afectan la erosión del suelo, las investigaciones deberían incluir diversos sistemas con diferentes prácticas de cultivo y fertilización en distintos sustratos y climas. Además, se deberían estudiar las influencias de los microorganismos en la agregación del suelo, especialmente el impacto de los hongos micorrícicos. Si bien este

estudio está enfocado en técnicas de agricultura para reducir erosión, podría ser útil para implementar en estrategias de conservación de suelos, mediante cubiertas vegetales, debido a que tendrían el mismo efecto sobre el suelo.

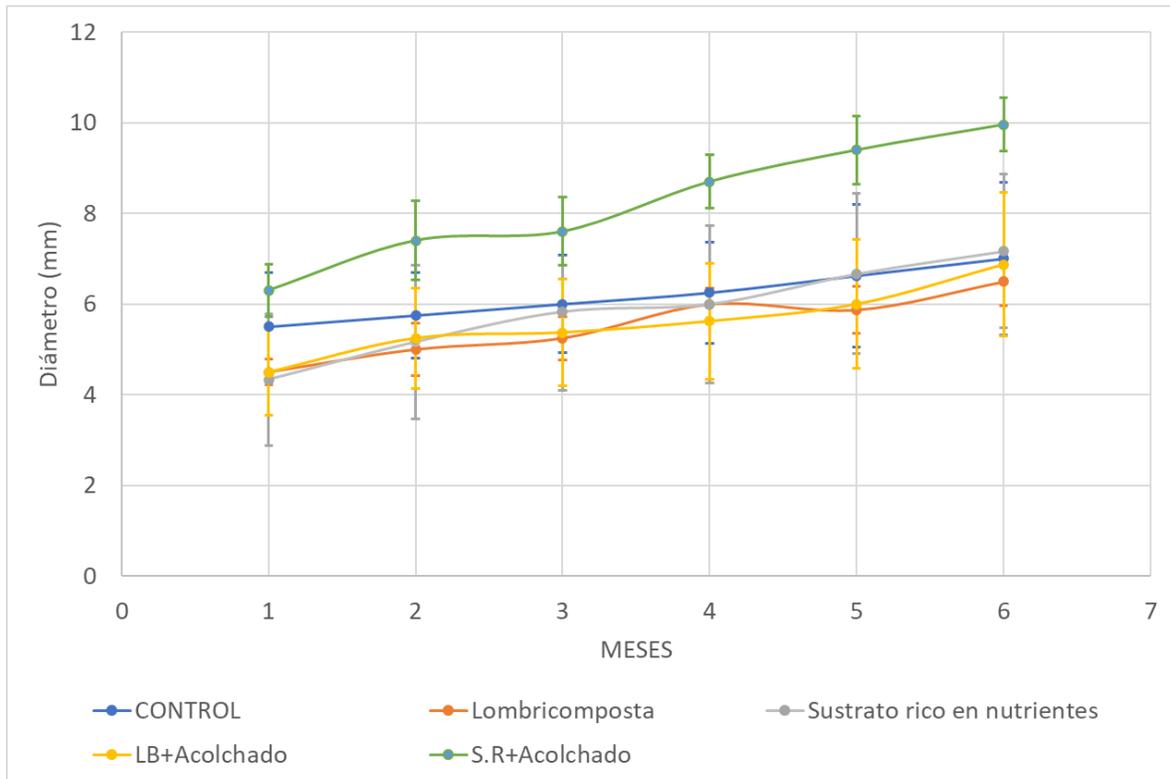


Figura 19. Gráfica de crecimiento del diámetro de las plantas

Tabla 8. Tabla de crecimiento del diámetro (mm) de las plantas

	t1	t2	t3	t4	t5	t6
Control	5.5 - 2.38	5.75 - 0.89	6 - 2.16	6.25 - 2.21	6.62 - 3.14	7 - 3.36
Lombricomposta	4.5 - 0.57	5.0 - 1.15	5.25 - 0.95	6 - 0.70	5.87 - 1.03	6.5 - 1.08
Sustrato rico en nutrientes	4.33 - 2.51	5.16 - 2.92	5.83 - 3.01	6.00 - 3	6.66 - 3.05	7.16 - 2.9
LB+Acolchado	4.5 - 1.91	5.25 - 2.21	5.37 - 2.35	5.62 - 2.56	6.00 - 2.82	6.87 - 3-17
S.R+Acolchado	6.3 - 1.30	7.4 - 1.94	7.6 - 1.67	8.7 - 1.30	9.4 - 1.67	9.96 - 1.31

En el proceso de siembra se utilizaron plantas de la especie *Senna multiglandulosa*, la cual al pertenecer a la familia de las Fabáceas, es de rápido crecimiento, con alto porcentaje de germinación, además, es excelente para restaurar el suelo, esta estrategia ha sido utilizada en numerosos proyectos de restauración, principalmente por su resistencia a la baja fertilidad, así como a la capacidad de formar simbiosis mutualista con bacterias fijadoras de nitrógeno, debido a ello, son piezas clave en el proceso de revegetación de suelos con escasos nutrientes (Castellano Hinojosa, Contreras-Medrano, & J Bedmar, 2016).

A pesar de la utilización de la lluvia sólida, fue necesario regar las plantas 2 veces por mes, debido a las altas temperaturas (35°C) y a la escases de lluvia en esta temporada (noviembre 2023 – abril 2024).

Durante diciembre 2023 y enero 2024, hubo heladas fuertes, alcanzado temperaturas de -3°C, debido a ello, los 25 ejemplares perdieron parte del tallo cerca de la zona del meristemo apical.

Talleres participativos

Se han realizado cinco talleres participativos de educación ambiental, a continuación, se presenta la planeación y resultados obtenidos para esta actividad.

Planeación Taller 1 “Erosión del suelo y alternativas para combatirlo”

Datos generales	
Programa académico del que depende:	Maestría en gestión Ambiental
Nombre del responsable del proyecto:	Andrés Muñoz Spínola
Nombre del proyecto:	Manual de procedimientos para la restauración de suelos erosionados del fraccionamiento bosque real huasca de Ocampo Hidalgo
Datos de la sesión	
Nombre del programa de educación ambiental (si aplica):	Erosión del suelo y alternativas para combatirlo

Número de sesión:	1			
Escenario de aplicación (escuela, comunidad, empresa, institución, etc.):	COBAEH HUASCA DE OCAMPO			
Descripción del escenario de aplicación:	El plantel está ubicado a un costado de la carretera "Huasca-Tulancingo", cuenta con amplio espacio para crecimiento, así mismo, cuenta con áreas que pueden ser utilizadas para construir jardines, o implementar ecotecnias. El lugar donde se llevó a cabo el curso-taller fue en un salón de clases (el cual, debido a su gran tamaño, es utilizado para realizar este tipo de eventos, esto es debido a que la escuela no cuenta con aula de medios			
Diagnóstico del grupo de trabajo:	Los alumnos a los que se les impartió el curso-taller son de cuarto semestre, se caracterizó por haber presencia de subgrupos, con poca empatía entre alumnos y resistencia a participar en clase.			
Problema a abordar:	Falta de conocimiento en cuanto a la erosión del suelo y los factores que la propician			
Tema específico:	Erosión del suelo y alternativas para combatirla			
Objetivo del tema:	Brindar información de fácil comprensión sobre la erosión del suelo, junto con alternativas que pueden ayudar a mitigar dicha problemática			
Aprendizaje(s) esperado (s)	Los alumnos identificar los factores del día a día, que impactan en la salud del suelo, con la finalidad de evitar la erosión, así mismo, aprenderán a realizar de forma adecuada la arborización, como una medida de prevención a la erosión			
Tiempo total:	3 días, 2 horas			
Momentos para la enseñanza y el aprendizaje				
Estrategia didáctica:	1.- Ponencia y video de sensibilización, 2.- Instructivo (taller de arborización) y 3.- Matriz de indicadores			
Inicio				
Indicaciones para el grupo de trabajo	Tiempo	Recursos y/o materiales didácticos	Producto(s)	Instrumento de evaluación
Poner atención, preguntar y/o comentar sobre la ponencia y el video de sensibilización	40 min	Proyector, laptop y bocinas	Preguntas, comentarios y participaciones individuales	Preguntas de desarrollo
Desarrollo				
Indicaciones para el grupo de trabajo	Tiempo	Recursos y/o materiales didácticos	Producto(s)	Instrumento de evaluación
Dividirse en 5 equipos, porterilmente, cada equipo deberá de seguir e implementar las acciones planteadas en el instructivo	80 min	Pala, carretilla, azadón, pico, cernidor, plantas y lluvia solida	Plantas sembradas adecuadamente	Supervivencia de las plantas, al mes de plantarlas
Cierre				

Indicaciones para el grupo de trabajo	Tiempo	Recursos y/o materiales didácticos	Producto(s)	Instrumento de evaluación
Realizar de tarea una matriz de indicadores	3 días	Hoja de papel, lápiz y/o lapicero	Matriz de indicadores completa (con 4 soluciones a la problemática planteada)	Rubrica (excelente, bueno, mejorable)
Estrategia(s) de evaluación:	Finalmente, se acordó con la maestra de ecología, recibir las matrices de indicadores, para saber que tanto permeo la información a los alumnos, así mismo, brinda una oportunidad de establecer diferentes estrategias que permitan un mayor entendimiento de la información brindada.			

Implementación

El primer taller se llevó a cabo el 21 de abril del 2023, en las instalaciones del COBAEH Huasca de Ocampo, con alumnos de cuarto semestre (figura 20). En dicho taller se expuso una presentación sobre la problemática que representa la erosión y los servicios ecológicos que provee el suelo, posteriormente se armaron equipos y se le dio a cada equipo un instructivo para realizar una arborización exitosa (como mecanismo de mitigación de erosión en suelo), junto con una planta de *Senna multiglandulosa* con la finalidad de llevar a cabo las instrucciones proporcionadas y fomentar la participación en arborizaciones comunitarias o escolares. Finalmente, a cada equipo se les dio una matriz de indicadores, con la finalidad de evaluar los conocimientos adquiridos con la práctica (ver Anexo 2).



Figura 20. Evidencia taller erosión del suelo y alternativas para combatirlo

Planeación Taller 2 “Propagación de especies nativas”

Datos generales		
Programa académico del que depende:	Maestría en gestión Ambiental	
Nombre de los responsables del proyecto:	Dra. Dulce María Galván Hernández (Taller de propagación) Dr. Arturo Sánchez González (Ponente) Andrés Muñoz Spínola (Asistente y organizador)	
Nombre del proyecto:	Manual de procedimientos para la restauración de suelos erosionados del fraccionamiento bosque real huasca de Ocampo Hidalgo	
Datos de la sesión		
Nombres del programa de educación ambiental:	Ponencia de Ecología y servicios ambientales de los bosques templados de Huasca de Ocampo, Hidalgo	Taller de Propagación de flora nativa
Número de sesión:	1	
Escenario de aplicación (escuela, comunidad, empresa, institución, etc.):	Fraccionamiento Bosque Real De Huasca de Ocampo	
Descripción del escenario de aplicación:	La ponencia junto con el taller, serán llevadas a cabo en instalaciones del fraccionamiento, Bosque Real de Huasca, se espera contar con la presencia de administradores del fraccionamiento, colonos, vecinos y estudiantes del municipio.	
Diagnóstico del grupo de trabajo:	Todos los participantes, cuentan con formaciones disciplinarias diferentes, así mismo, existen algunos que apenas están en formación o cuentan únicamente con secundaria concluida.	
Problema a abordar:	Falta conocimientos sobre los servicios ambientales que proporciona el bosque, y la propagación de plantas nativas dentro del fraccionamiento.	
Temas específicos:	Ecología y servicios ambientales de los bosques	Propagación de plantas nativas
Objetivo del tema:	Concientizar a los participantes sobre la importancia ecológica del bosque, así como, proporcionar conocimientos necesarios para propagar plantas nativas.	
Aprendizaje(s) esperado (s)	Los participantes entenderán la importancia ecológica del bosque y tendrán los conocimientos suficientes para propagar plantas nativas.	
Tiempo total:	120 minutos	
Momentos para la enseñanza y el aprendizaje		
Estrategias didácticas:	Ponencia y taller participativo	

Inicio

Indicaciones para el grupo de trabajo	Tiempo	Recursos y/o materiales didácticos	Producto(s)	Instrumento de evaluación	
Poner atención, preguntar y/o comentar sobre la ponencia	40 min	Proyector y laptop	Preguntas, comentarios y participación individual	Preguntas de desarrollo	
Desarrollo					
Indicaciones para el grupo de trabajo	Tiempo	Recursos y/o materiales didácticos	Producto(s)	Instrumento de evaluación	
Dividirse en equipos para analizar las diferentes estrategias de propagación	40 min	Semillas Plantas Enraizador Charolas Bolsas Sustrato	Reproducción sexual y asexual de plantas	Número de semillas germinadas al mes	Número de plantas enraizadas vivas al mes propagarlas
Cierre					
Indicaciones para el grupo de trabajo	Tiempo	Recursos y/o materiales didácticos	Producto(s)	Instrumento de evaluación	
Percepción social del evento	20 min	Hoja de papel, lápiz y/o lapicero	Encuesta de evaluación	Gráfica sobre la percepción del evento	
Estrategia(s) de evaluación:	A través de un cuestionario físico, los participantes, mencionarán su percepción sobre el evento, así mismo, darán a conocer su satisfacción sobre el mismo, junto con los nuevos conocimientos aprendidos.				

Implementación

El día 17 de junio del 2023, se llevó a cabo el taller de propagación de especies nativas a cargo de la Dra. Dulce María Galván Hernández y la ponencia de Ecología y servicios ambientales de los bosques templados de Huasca de Ocampo, Hidalgo, a cargo del Dr. Arturo Sánchez González, ambos eventos fueron realizados en las instalaciones del fraccionamiento Bosque Real de Huasca, hubo una afluencia aproximada de 40 participantes (Personal administrativo del fraccionamiento, colonos, vecinos y personas del municipio).



Figura 21. Evidencia de la ponencia sobre Ecología y servicios ambientales de los bosques templados de Huasca de Ocampo, Hidalgo, y el taller de propagación de plantas nativas

Taller 3 “Estrategias adecuadas para plantar especies nativas, plogging y arborización en zona conservada”

Datos generales	
Programa académico del que depende:	Maestría en gestión Ambiental
Nombre del responsable del proyecto:	Andrés Muñoz Spínola
Nombre del proyecto:	Manual de procedimientos para la restauración de suelos erosionados del fraccionamiento bosque real huasca de Ocampo Hidalgo
Datos de la sesión	
Nombres del programa de educación ambiental:	Taller de siembra de especies nativas, reforestación en zona conservada y plogging forestal
Número de sesión:	1
Escenario de aplicación (escuela, comunidad, empresa, institución, etc.):	Fraccionamiento Bosque Real De Huasca de Ocampo
Descripción del escenario de aplicación:	Se hará un recorrido sobre la avenida las morenas y la zona forestal perimetral con la finalidad de recolectar residuos sólidos que contaminan el suelo del bosque. Posteriormente el taller se realizará en la zona erosionada, donde previamente se hizo una estabilización mediante terrazas, se darán instrucciones a los participantes, para sembrar de forma adecuada las distintas especies de plantas nativas. Para finalizar se realizará una siembra de <i>Pinus patula</i> en una zona forestal conservada cerca del lugar de restauración.
Diagnóstico del grupo de trabajo:	Todos los participantes, cuentan con formaciones disciplinarias diferentes, así mismo, existen algunos que apenas están en formación o cuentan únicamente con secundaria concluida.
Problemas para abordar:	Falta de supervivencia de plantas, debido a una siembra inadecuada, residuos sólidos en el bosque y reintroducción de pino llorón en zona conservada.
Temas específicos:	Siembra adecuada de plantas utilizadas para la restauración del suelo, reducción de contaminación por residuos sólidos urbanos, reintroducción de <i>Pinus patula</i> en una zona conservada.
Objetivos del tema:	Proporcionar a los participantes el método adecuado para sembrar, asegurando una mayor supervivencia en las plantas. Coadyuvar en la recolección de residuos sólidos en suelo forestal, a través de caminatas colaborativas. Reintroducir <i>Pinus patula</i> en zona forestal conservada.
Aprendizaje(s) esperado (s)	Los participantes aprenderán a sembrar plantas de forma adecuada, aumentando con ello, la supervivencia y el vigor de crecimiento de las plantas, además aprenderán a realizar plogging en beneficio del suelo forestal y sabrán la forma adecuada de plantar pinos.
Tiempo total:	120 minutos
Momentos para la enseñanza y el aprendizaje	

Estrategias didácticas:	Talleres participativos & Plogging			
Inicio				
Indicaciones para el grupo de trabajo	Tiempo	Recursos y/o materiales didácticos	Producto(s)	Instrumento de evaluación
Poner atención, preguntar y/o instrucciones generales	5 min	Exposición oral	Preguntas, comentarios y participación individual	Preguntas de desarrollo
Los participantes harán plogging sobre la avenida las morenas	40 min	Bolsas o sacos de basura y guantes	Recolección de residuos sólidos en suelo forestal	Número de bolsas o sacos llenos de residuos sólidos.
Desarrollo				
Indicaciones para el grupo de trabajo	Tiempo	Recursos y/o materiales didácticos	Producto(s)	Instrumento de evaluación
Dividirse en equipos de siembra, designando un área específica para cada equipo	60 min	Pala Pico Barreta Cernidor Carretilla Lluvia sólida Cubeta de 20l Plantas Lluvia sólida	Siembra adecuada de plantas	Número de plantas sembradas en 60 minutos
Los participantes degustarán de un refrigerio y bebidas	30 min	Vasos, platos, servilletas, comida y líquido	Convivencia con el grupo de trabajo	Comentarios y observaciones durante el almuerzo
Cierre				
Indicaciones para el grupo de trabajo	Tiempo	Recursos y/o materiales didácticos	Producto(s)	Instrumento de evaluación
Los participantes realizarán una arborización con <i>Pinus patula</i> en una zona forestal conservada	60	Pala, pico, azadón, pinos, lluvia solida	Pinos sembrados	Conteo de la supervivencia bimestral de plantas
Percepción social del evento	10 min	Comunicación verbal	Encuesta de evaluación oral	Comentarios finales
Estrategia(s) de evaluación:	A través de un cuestionario, se analizará el entendimiento de la práctica realizada, así mismo, se obtendrá información sobre cómo llevaban a cabo el proceso de siembra antes del taller.			

Implementación



Figura 22. Evidencia del taller de estrategias adecuadas para plantar especies nativas, plogging y arborización en zona conservada

Taller 4 “Elaboración de composta y lombricomposta en el plantel COBAEH de Huasca de Ocampo”

Taller 4	
Datos generales	
Programa académico del que depende:	Maestría en gestión Ambiental
Nombre del responsable del proyecto:	Andrés Muñoz Spínola
Nombre del proyecto:	Manual de procedimientos para la restauración de suelos erosionados del fraccionamiento bosque real huasca de Ocampo Hidalgo
Datos de la sesión	
Nombres del programa de educación ambiental:	Taller de composta y lombricomposta
Número de sesión:	1
Escenario de aplicación (escuela, comunidad, empresa, institución, etc.):	Fraccionamiento Bosque Real De Huasca de Ocampo
Descripción del escenario de aplicación:	El taller será llevado a cabo en un Colegio de Bachilleres del Estado de Hidalgo, ubicado en el municipio de Huasca de Ocampo, a alumnos de quinto semestre, cabe mencionar que es un plantel de concentración, debido a ello, los estudiantes provienen de diferentes localidades del municipio.
Diagnóstico del grupo de trabajo:	Todos los participantes, cursan el quinto semestre, debido a ello, tienen los conocimientos suficientes para seguir instrucciones precisas y resolver problemáticas que puedan surgir, no obstante, el facilitador del taller estará presente para ayudar a resolver cualquier eventualidad
Problemas que abordar:	Los residuos orgánicos mal manejados, se pueden convertir en una problemática ambiental (foco de infección o atrayendo fauna nociva).
Temas específicos:	Composta y lombricomposta de residuos orgánicos
Objetivos del tema:	Proporcionar a los participantes el método adecuado para crear una composta. Resolver cualquier duda que pueda surgir en la elaboración de la composta y la lombricomposta
Aprendizaje(s) esperado (s)	Los participantes aprenderán a crear una composta y una lombricomposta.
Tiempo total:	90 minutos
Momentos para la enseñanza y el aprendizaje	
Estrategias didácticas:	Talleres participativos
Inicio	

Indicaciones para el grupo de trabajo	Tiempo	Recursos y/o materiales didácticos	Producto(s)	Instrumento de evaluación
Poner atención, preguntar y/o instrucciones generales	5 min	Exposición oral	Preguntas, comentarios y participación individual	Preguntas de desarrollo
Los participantes se dividirán en 3 equipos, contabilizarán los materiales y escucharán las instrucciones del facilitador	5 min	Exposición oral Bloc Lonas Taladro Martillo Clavos Pijas Residuos orgánicos Pala Azadón Pico Barreta Lombrices	Instrucciones	Preguntas de desarrollo
Desarrollo				
Indicaciones para el grupo de trabajo	Tiempo	Recursos y/o materiales didácticos	Producto(s)	Instrumento de evaluación
El equipo 1 deberá de crear la lombricomposta, para ello deberá armar la cama de bloc con costera.	60 min	Exposición oral Bloc Taladro Martillo Clavos Pijas Pala Azadón Pico Barreta Lombrices	Cama de lombricomposta montada	Número de plantas sembradas en 60 minutos
El equipo 2 y 3, deberán crear la composta, para ello deberán hacer una fosa de 2m de largo, por 1m de ancho y 40cm de profundidad.		Exposición oral Bloc Pala Azadón Pico Barreta	Cama de composta montada	Comentarios y observaciones durante el almuerzo
Cierre				
Indicaciones para el grupo de trabajo	Tiempo	Recursos y/o materiales didácticos	Producto(s)	Instrumento de evaluación
Ambos equipos verterán los residuos orgánicos, y agregaran los sustratos para complementar el compostaje, posteriormente cubrirán	20	Exposición oral Lombrices Residuos orgánicos Tezontle Tierra de monte Abono de vaca Arena de pomex	Composta y lombricomposta terminadas	Supervivencia de lombrices y madurez de la composta a los 3 meses de revisión

con lonas ambas camas de compostaje, por otro lado, el equipo de lombricomposta agregara las lombrices a su cama.			
Estrategia(s) de evaluación:	Seguimiento semanal de las compostas, revisión trimestral, maduración y calidad de composta.		

Implementación



Figura 23. Evidencia del taller de composta y lombricomposta en el COBAEH de Huasca de Ocampo.

Participación ciudadana

La participación ciudadana en cualquier tipo de proyecto con énfasis en el cuidado del medio ambiente es esencial para la implementación y desarrollo de estrategias para la conservación de los suelos. Para tener un mejor panorama sobre dicha participación, existen herramientas útiles que permiten analizar diferentes aspectos asociados a la población y el recurso natural, una de ellas es la metodología de la investigación participativa, la cual permite diseñar en conjunto con la comunidad propuestas y tecnologías que estén adaptadas a las condiciones socioeconómicas y medioambientales, las cuales, tendrán un criterio de validez y aceptación amplio, ya que combinan de forma equilibrada el conocimiento local, junto con el gestor, encontrando así, soluciones en común acuerdo a las problemáticas de la comunidad (Guzmán Casado & Alonso Mielgo, 2007).

En este proyecto la participación ciudadana fue esencial para conocer posibles causas de erosión, adicionalmente fue de gran ayuda al sembrar las especies vegetales, pudiendo plantar un mayor número de plantas en menor tiempo posible, en ese sentido, la participación ciudadana permite generar sinergias mediante acciones conjuntas, optimizando el aprovechamiento de recursos naturales y económicos disponibles, facilitando con ello un intercambio de información, asegurando las iniciativas y acciones decididas (Guzmán Casado & Alonso Mielgo, 2007).

Hay autores que no consideran la participación ciudadana en la ejecución de proyectos de restauración, la consideran como una actividad deliberada que inicia o acelera la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido (Broncano Toaquiza, 2023), sin embargo, es importante considerar siempre a la comunidad, de no hacerlo el proyecto de restauración no tendrá éxito, principalmente por la cantidad de tiempo que lleva.

Sin embargo al igual que en el presente trabajo, existen proyectos donde la participación social es esencial, ya sea para la elaboración o para asegurar la permanencia del mismo, por ejemplo Cotler y colaboradores en 2015 realizaron un trabajo titulado “Evaluación de prácticas de conservación de suelos forestales en México: caso de las zanjas trinchera”, en el que evaluaron la efectividad de las zanjas, para ello, realizaron entrevistas a constructores para conocer su opinión sobre el impacto económico en las parcelas, los requerimientos técnicos y sociales para su implementación, así como la viabilidad de mantenerlas sin apoyo gubernamental.

Con la finalidad de asegurar el bienestar del proyecto de restauración a futuro, es necesario que se sigan impartiendo talleres de concientización, entre mayor participación ciudadana exista, mayor será el éxito, si cada proyecto de restauración dentro del fraccionamiento, genera un sentido de pertenencia para con los colonos y vecinos, será más fácil monitorear y cuidar cada una de las zonas, a su vez, cuando las personas estén conscientes sobre los beneficios de la restauración y las acciones que puedan causar daño al medio ambiente, llegaremos gradualmente a fomentar un bosque más saludable, diverso y resiliente ante el cambio climático.

Discusión General

Discusión técnica

Los análisis de suelo, como destaca Zamalvide en 1996, son fundamentales para evaluar la fertilidad y el grado de perturbación de un ecosistema. Al identificar el 'nivel crítico' de nutrientes, es decir, el punto de inflexión que afecta el crecimiento vegetal (Molina, 2007), podemos diseñar estrategias de restauración más precisas y eficientes. La fertilidad del suelo es un factor determinante para el éxito de la restauración, ya que garantiza la supervivencia y el crecimiento de las especies vegetales (Villagrosa et al., 1996).

Los resultados de este estudio, que coinciden con los hallazgos de Mata-Balderas y colaboradores en 2014, revelan que especies como la retama, el nopal y el maguey pulquero son altamente resilientes en ambientes semiáridos. Estas especies, gracias a su capacidad de adaptación, son ideales para iniciar procesos de sucesión ecológica en áreas degradadas. Sin embargo, es esencial complementar la selección de especies con prácticas de conservación de suelos y vegetación, como sugieren los mismos autores.

La implementación de terrazas ha demostrado ser una estrategia eficaz para controlar la erosión y mejorar las condiciones del suelo (Lugo, 2016). A pesar de que el proceso de restauración aún está en curso, los resultados preliminares son muy prometedores. La estabilización del terreno ha permitido el establecimiento de diversas especies vegetales, con una tasa de supervivencia cercana al 80% tras un año. Para garantizar este éxito, se han implementado prácticas complementarias como el riego y la construcción de cajetes.

La combinación de sustrato enriquecido y acolchado ha sido clave para el establecimiento de las plantas. El sustrato, rico en materia orgánica, proporciona los nutrientes necesarios para el crecimiento vegetal, como señalan Guerrero y colaboradores en 2007. Por su parte, el acolchado protege el suelo de la erosión y crea un microambiente favorable para el desarrollo radicular, tal como lo indican Montoya y colaboradores en 2015.

Para futuras investigaciones, se sugiere incorporar el número de brotes y ramas como indicadores adicionales de la efectividad de los tratamientos. Estos parámetros, junto con el diámetro de las plantas, permitirán una evaluación más completa de la respuesta de las especies a las diferentes condiciones.

Percepción y participación ciudadana

El presente proyecto no habría sido posible sin el invaluable apoyo y compromiso de la administración del fraccionamiento Bosque Real. Su profunda conexión con el bosque, no solo como espacio de vida sino también como un ecosistema que brinda servicios esenciales, ha sido fundamental para lograr esta alianza. Esta visión compartida ha generado una sinergia entre los colonos y vecinos, quienes han demostrado un gran interés en abordar las problemáticas que afectan la salud del bosque.

Actividades como la plantación de árboles y la elaboración de composta, que inicialmente podrían parecer tareas rutinarias, se transformaron en oportunidades para promover el emprendimiento y la mejora ambiental. Esta nueva perspectiva motivó a estudiantes, administradores y vecinos a participar activamente en los talleres y a solicitar más. La

creciente demanda es una clara señal del impacto positivo de estas iniciativas, que han fortalecido el tejido social y consolidado un compromiso colectivo con la conservación.

Esta experiencia subraya la importancia de involucrar a diversos actores en la educación ambiental. Al hacerlo, se construye una red de personas comprometidas con el cuidado del medio ambiente, lo que a su vez contribuye a mejorar la calidad de vida y fomentar la cohesión social. No obstante, Los resultados de este estudio indican que la percepción social es un factor clave tanto en la planificación de talleres como en la implementación de proyectos de restauración. Aunque los colonos, administradores y vecinos del Fraccionamiento Bosque Real comparten una visión similar sobre las amenazas al bosque, es fundamental recordar los hallazgos de Cepeda y colaboradores en 2016, quienes demostraron que la percepción sobre el uso y conocimiento del bosque puede variar significativamente entre diferentes grupos sociales. Si bien la brecha perceptual en este caso particular es menor, es esencial continuar ofreciendo talleres para fortalecer el conocimiento de todos los actores y promover acciones concretas para mejorar la salud del bosque y reducir la erosión.

La participación ciudadana en cualquier tipo de proyecto con énfasis en el cuidado del medio ambiente es esencial para la implementación y desarrollo de estrategias para la conservación de los suelos. Para tener un mejor panorama sobre dicha participación, existen herramientas útiles que permiten analizar diferentes aspectos asociados a la población y el recurso natural, una de ellas es la metodología de la investigación participativa, la cual permite diseñar en conjunto con la comunidad propuestas y tecnologías que estén adaptadas a las condiciones socioeconómicas y medioambientales, las cuales, tendrán un criterio de validez y aceptación amplio, ya que combinan de forma equilibrada el conocimiento local, junto con el gestor, encontrando así, soluciones en común acuerdo a las problemáticas de la comunidad (Guzmán Casado & Alonso Mielgo, 2007).

En este proyecto la participación ciudadana fue esencial para conocer posibles causas de erosión, adicionalmente fue de gran ayuda al sembrar las especies vegetales, pudiendo plantar un mayor número de plantas en menor tiempo posible, en ese sentido, la participación ciudadana permite generar sinergias mediante acciones conjuntas, optimizando el aprovechamiento de recursos naturales y económicos disponibles, facilitando con ello un intercambio de información, asegurando las iniciativas y acciones decididas (Guzmán Casado & Alonso Mielgo, 2007).

Hay autores que no consideran la participación ciudadana en la ejecución de proyectos de restauración, la consideran como una actividad deliberada que inicia o acelera la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido (Broncano Toaquiza, 2023), sin embargo, es importante considerar siempre a la comunidad, de no hacerlo el proyecto de restauración no tendrá éxito, principalmente por la cantidad de tiempo que lleva.

Sin embargo al igual que en el presente trabajo, existen proyectos donde la participación social es esencial, ya sea para la elaboración o para asegurar la permanencia del mismo, por ejemplo Cotler y colaboradores en 2015 realizaron un estudio sobre la efectividad de las zanjas trincheras como prácticas de conservación de suelos forestales en México, para ello, realizaron entrevistas a constructores para conocer su opinión sobre el impacto económico en las parcelas, los requerimientos técnicos y sociales para su implementación, así como la viabilidad de mantenerlas sin apoyo gubernamental, mostrando que la participación de los habitantes generan un sentido de pertenencia y con ello un cuidado a largo plazo de sus recursos.

Con la finalidad de asegurar el bienestar del proyecto de restauración a futuro, es necesario que se sigan impartiendo talleres de concientización, entre mayor participación ciudadana exista, mayor será el éxito, si cada proyecto de restauración dentro del fraccionamiento, genera un sentido de pertenencia para con los colonos y vecinos, será más fácil monitorear y cuidar cada una de las zonas, a su vez, cuando las personas estén conscientes sobre los beneficios de la restauración y las acciones que puedan causar daño al medio ambiente, llegaremos gradualmente a fomentar un bosque más saludable, diverso y resiliente ante el cambio climático.

Conclusión

- Las entrevistas realizadas revelaron una clara conciencia entre los residentes sobre las amenazas antropogénicas y naturales que enfrenta el bosque dentro del fraccionamiento. La principal preocupación actual es la plaga del gusano barrenador y descortezador, que seca los árboles rápidamente, aumentando el riesgo de incendios y accidentes por su caída.
- Las pautas de conservación que se realizan en el fraccionamiento actúan como un filtro, atrayendo a colonos que comparten un genuino interés por el bienestar del bosque. Esta característica representa una valiosa área de oportunidad para establecer futuros proyectos de conservación, aprovechamiento sustentable y educación ambiental en la zona de estudio.
- Los análisis de suelo son fundamentales para establecer un diagnóstico preciso del estado de salud de los suelos en cada predio y, por ende, para identificar las medidas de restauración más adecuadas. Los parámetros evaluados, como pH, materia orgánica, potasio, sodio y nitrógeno, proporcionan información crucial sobre la fertilidad, la estructura y la capacidad de retención de agua del suelo. Con esta información, es posible diseñar estrategias de restauración específicas y monitorear su efectividad a lo largo del tiempo, garantizando así la recuperación de los ecosistemas degradados.
- Se seleccionaron 14 especies de las 42 identificadas con potencial para la restauración debido a su rapidez de germinación y crecimiento, así como, a su resistencia y disponibilidad, estas son retama (*Senna multigladosa*), escobetilla (*Baccharis heterophylla*), fresno (*Fraxinus uhdei*), maguey pulquero (*Agave salmiana*), conchita (*Echeveria secunda*), siempre viva (*Sedum sp.*), hierba del burro (*Salvia microphylla*), gallito de monte (*Salvia patens*), tlacote (*Salvia mexicana*), toronjil (*Agastache mexicana*), tepozán blanco (*Buddleja cordata*), pino llorón (*Pinus patula*), cedro blanco (*Cupressus lusitanica*) y nopal (*Opuntia sp.*).
- La retama (*Senna multigladosa*), el nopal (*Opuntia sp.*), el maguey pulquero (*Agave salmiana*), el tepozán blanco (*Buddleja cordata*) y el cedro blanco (*Cupressus lusitanica*), demostraron tener un mayor vigor a comparación de las demás, por lo que se pueden utilizar para evaluar estrategias de restauración.
- La implementación de terrazas funcionó adecuadamente para controlar la pérdida de suelo por corrientes de agua durante la temporada de lluvia. Además, contribuyeron a la estabilización del suelo y establecimiento de diversas especies de plantas con una sobrevivencia del 80% en un periodo de 6 meses.
- El tratamiento sustrato rico en nutrientes más acolchado, permitió un mayor crecimiento del diámetro en las plantas analizadas, no obstante, se recomienda

continuar investigando otras combinaciones o alternativas para complementar este tratamiento.

- La participación social en jóvenes se vio impulsada al vincular los talleres con beneficios económicos y ambientales tangibles. Esto motivó a los estudiantes a participar activamente generando un impacto positivo al relacionar sus conocimientos con oportunidades de emprendimiento o mejora ambiental.
- La exitosa colaboración con los colonos del fraccionamiento Bosque Real de Huasca ha demostrado la importancia de involucrar a las comunidades locales en proyectos de restauración ecológica. Gracias a esta experiencia, los administradores del fraccionamiento han decidido continuar con las labores de restauración y me han contratado como asesor. Este caso de estudio subraya la necesidad de considerar a todos los actores involucrados en proyectos ambientales, ya que su participación no solo garantiza la viabilidad a largo plazo de las iniciativas, sino que también fortalece el tejido social y promueve una mayor conciencia ambiental.

Referencias Bibliográficas

- Agricultura. (06 de 11 de 2017). *Revista Agropecuaria*. Obtenido de Ventajas de la fertilización con calcio en cultivos: http://www.revistaagricultura.com/carbotecnia/sanidad-y-nutricion/ventajas-de-la-fertilizacion-con-calcio-en-cultivos_9411_119_11730_0_1_in.html#:~:text=El%20calcio%20es%20el%20responsable,y%20el%20agua%20del%20suelo.
- Bautista Cruz, A., Etchevers Barra, J., Del Castillo, R., & Gutiérrez, C. (mayo de 2004). *Asociación Español de Ecología Terrestres*. Obtenido de La calidad del suelo y sus indicadores: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/572>
- Bloodnick, E. (15 de septiembre de 2022). *PROMIX*. Obtenido de La función del manganeso en el cultivo de plantas: <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-funcion-del-manganeso-en-el-cultivo-de-plantas/>
- Broncano Toaquiza , J. F. (agosto de 2023). Restauración ecológica con plantas nativas para la conservación de suelos erosionados en el Campus Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi. Obtenido de Universidad Técnica De Cotopaxi; Dirección De Posgrado; Maestría En Gestión Ambiental Con Mención en Desarrollo Sostenible: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/11428>
- Brunel, N., & Seguel, O. (Enero de 2011). Efectos De La Erosión En Las Propiedades Del Suelo. *Agro Sur*, 39 (1), 1-12. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/271353650_EFECTOS_DE_LA_EROSION_EN_LAS_PROPIEDADES_DEL_SUELO
- Cakmak, I., & M. Yazici, A. (2021). *INTAGRI*. Obtenido de El Magnesio, un Nutriente Olvidado que Puede Salvar tu Cultivo: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/magnesio-nutriente-olvidado-salvar-cultivo>
- Calixto Flores, R., & Herrera Reyes, L. (julio-diciembre de 2010). Estudio sobre las percepciones y la educación ambiental. Obtenido de *Tiempo de Educar*, vol. 11, núm. 22; pp. 227-249; ISSN: 1665-0824: <https://www.redalyc.org/pdf/311/31121072004.pdf>
- Calva-Soto, K., & Pavón, N. P. (09 de mayo de 2018). *La restauración ecológica en México: una disciplina emergente en un país deteriorado*. Obtenido de *Madera bosques* vol.24 no.1: <https://myb.ojs.inecol.mx/index.php/myb/article/view/1135/1732>
- Camara de diputados. (11 de 04 de 2022). *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*. Obtenido de *Diario Oficial de la federación*; 28 de enero del 1988: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf>
- Cantu S., I., & González R., H. (enero-marzo de 2022). Propiedades Hidrológicas Del Dosel De Los Bosques De Pinoencino En El Noreste De México. *CIENCIA UANL*, V(001), 72-78. Obtenido de CIENCIA U.A.N.L.
- Castellano Hinojosa, A., Contreras-Medrano, V., & J Bedmar, E. (Octubre de 2016). *Utilización de plantas leguminosas en restauración medioambiental de taludes y suelos degradados*. Obtenido de Researchgate: https://www.researchgate.net/publication/311675960_Utilizacion_de_plantas_leguminosas_en_restauracion_medioambiental_de_taludes_y_suelos_degradados#fullTextFileContent

- Cepeda, I. X. G., Leñero, L. A., & Ávila-Akerberg, V. (2016). Estimación del almacenamiento de carbono y la percepción social de los servicios ecosistémicos que brinda el bosque de Abies religiosa de la cuenca presa Guadalupe, Estado de México. *Teoría y Praxis*, (19), 65-93.
- Cherlinka, V. (29 de 12 de 2021). *EOS Data Analytics*. Obtenido de Conservación Del Suelo: Cómo Manejarla E Implementarla: <https://eos.com/es/blog/conservacion-del-suelo/>
- CONAFOR. (2018). *Protección, restauración y restauración de suelos forestales; Comisión Nacional Forestal; Gerencia de Restauración Forestal*. Zapopan, Jalisco, México: Desarrollos Impresos de México.
- CONAGUA. (2023). *Servicio Meteorológico Nacional*. Obtenido de Normales Climatológicas; Estado De Hidalgo (1991-2020): https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Normales_Climatologicas/Normales9120/hgo/nor9120_13098.TXT
- Contreras Contento , E. F., & Torres Ardila, D. A. (2021). *Guía metodológica para la recuperación de suelos afectados por erosión hídrica mediante el uso de terrazas*. Obtenido de Ingeniería Ambiental y Sanitaria : https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1909
- Correa de Assis, T., & Sánchez-Castillo , L. (14 de 02 de 2023). *Ciencia UANL*. Obtenido de Las Plantas: Una Estrategia Para Prevenir La Erosión Del Suelo: <https://cienciauanl.uanl.mx/?p=12384>
- Cotler, H., Cram, S., Martínez Trinidad, S., & Bunge, V. (2015). Evaluación de prácticas de conservación de suelos forestales en México: caso de las zanjas trinchera. *Investigaciones geográficas*, (88), 6-18.
- Díaz Mendoza, C. (2011). Alternativas para el control de la erosión mediante el uso de coberturas convencionales, no convencionales y revegetalización . *Ingeniería E Investigación; VOL. 31; No. 3*, 80-90.
- Dorren , L., & Rey, F. (enero de 2004). *A review of the effect of terracing on erosion*. Obtenido de Scape: https://www.researchgate.net/publication/228581261_A_review_of_the_effect_of_terracing_on_erosion#:~:text=Existing%20literature%20and%20information%20shows,they%20can%20provoke%20land%20degradation.
- FAO. (05 de 12 de 2017). *Apreciar el suelo sobre el que caminamos; ¿Por qué tenemos que valorar nuestros suelos?* Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <https://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1071075/#:~:text=Cuidar%20los%20suelos%20%3D%20Mayor%20seguridad%20alimentaria&text=Los%20suelos%20intercambian%20nutrientes%20y,esencial%20para%20la%20seguridad%20alimentaria.>
- FAO. (10 de mayo de 2019). *Detengamos la erosión del suelo para garantizar la seguridad alimentaria en el futuro; Cinco razones por las que necesitamos proteger nuestros suelos*.

Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura:
<https://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1193735/>

FAO. (enero de 2019). *Organización de las naciones Unidas para la alimentación y la agricultura*.
Obtenido de Simposio Mundial sobre la Erosión del Suelo:

<https://www.fao.org/about/meetings/soil-erosion-symposium/key-messages/es/#:~:text=La%20erosi%C3%B3n%20del%20suelo%20disminuye,graves%2C%20conduce%20al%20desplazamiento%20de>

FAO. (1 de marzo de 2019). *La nueva Década de las Naciones Unidas para la Restauración de los Ecosistemas es una oportunidad inigualable para crear empleo, mejorar la seguridad alimentaria y abordar e*. Obtenido de Organización Mundial de Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura :

<https://www.fao.org/news/story/es/item/1183553/icode/#:~:text=La%20restauraci%C3%B3n%20de%20los%20ecosistemas%20se%20define%20como%20un%20proceso,las%20necesidades%20de%20la%20sociedad.>

FAO. (03 de 11 de 2021). *Obras de conservación de suelos y agua*. Obtenido de FAO Campus:
<https://capacitacion.fao.org/course/view.php?id=24>

FAO. (2022). *Simposio Mundial sobre la Erosión del Suelo*. Obtenido de Mensajes clave:

<https://www.fao.org/about/meetings/soil-erosion-symposium/key-messages/es/>

FAO. (2023). *Agricultura de conservación; Cobertura vegetal del suelo*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura :

<https://www.fao.org/conservation-agriculture/in-practice/soil-organic-cover/es/#:~:text=La%20cubierta%20vegetal%20es%20importante,alto%20porcentaje%20de%20humedad%20posible.>

FAO. (2023). *Portal de Suelos de la FAO; Propiedades Biológicas*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-biologicas/es/>

FERTILAB. (2022). Obtenido de La Dinámica del Potasio (K) en el Suelo:

[https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/La%20Dinamica%20de%20Potasio%20\(K\)%20en%20el%20Suelo.pdf](https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/La%20Dinamica%20de%20Potasio%20(K)%20en%20el%20Suelo.pdf)

García, E. (11 de 05 de 2001). *CONABIO*. Obtenido de Climas:

<http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/clima1mgw.html>

Guerrero, C., Gómez, I., & Mataix-Solera, J. (2007). El uso de enmiendas en la restauración de suelos quemados. Incendios forestales, Suelos y Erosión hídrica. Ed. Caja Mediterráneo CEMACAM, Alcoy, 119-154.

Guzmán Casado, G. I., & Alonso Mielgo, A. M. (2007). La investigación participativa en agroecología: una herramienta para el desarrollo sustentable. *Ecosistemas; Asociación Española de Ecología Terrestre*, 24-31.

Hammer, O., Harper, D.A.T., Ryan, P.D. 2001. PAST: Paelontological Statistics software for education and data análisis. *Palaentologia Electronica* 4(1):9pp

IAEA. (2022). *Organismo Internacional de Energía Atómica*. Obtenido de Mejora de la fertilidad del suelo: <https://www.iaea.org/es/temas/mejora-de-la-fertilidad-del-suelo>

- Iglesias, J. & Galantini, Juan & Santiago, Leandro & Kleine, Cristian. (2007). Efectos de largo plazo sobre el espacio poroso del suelo. 10.13140/RG.2.2.12015.02726.
- INTAGRI. (2021). *Disponibilidad de Nutrientes y el pH del Suelo*. Obtenido de Nutrición vegetal: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/disponibilidad-de-nutrientes-y-el-ph-del-suelo>
- INTAGRI. (2021). *La Importancia del Zinc en las Plantas y su Dinámica en el Suelo*. Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/la-importancia-del-zinc-en-las-plantas-y-su-dinamica-en-el-suelo>
- Islas-López, Y., Acevedo-Sandoval, O., Cruz-Chávez, E., Prieto-García, F., & Rodríguez-Laguna, R. (2014). Formas de carbono en suelos del Parque Nacional El Chico, Hidalgo, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias: ISSN 2334-2501*, 147-157.
- K+S. (2019). *K+S Minerals and Agriculture*. Obtenido de Fósforo: http://www.ks-minerals-and-agriculture.com/eses/fertiliser/advisory_service/nutrients/phosphorus.html#:~:text=Participa%20en%20los%20procesos%20de,y%20macollamiento%20de%20los%20cultivos.
- K+S. (2019). *Minerals and Agriculture*. Obtenido de Sodio: http://www.ks-minerals-and-agriculture.com/eses/fertiliser/advisory_service/nutrients/sodium.html#anchor0
- Locatelli, B., Homberger, J.-M., Ochoa-Tocachi, B. F., Bonnesoeur, V., Román-Dañobeytia, F., Drenkhan, F., & Buytaert, W. (mayo de 2020). *Resumen de Investigación: Impactos de las zanjas de infiltración en el agua y los suelos*. Obtenido de Researchgate; DOI: 10.13140/RG.2.2.10334.36169: https://www.researchgate.net/publication/349041954_Resumen_de_Investigacion_Impactos_de_las_zanjas_de_infiltracion_en_el_agua_y_los_suelos#:~:text=Las%20zanjas%20de%20infiltraci%C3%B3n%20favorecen,largo%20plazo%20y%20a%20mayor%20escala.
- López-Barrera, F., Martínez-Garza, C., & Ceccon, E. (2017). *Ecología de la restauración en México: estado actual y perspectivas*. Obtenido de Revista Mexicana de Biodiversidad, 88: 97-112: <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.001>
- López-Hernández, J. M., González-Rodríguez, H., Ramírez-Lozano, R. G., Cantú-Silva, I., Gómez-Meza, M. V., Pando-Moreno, M., & Estrada-Castillón, A. E. (febrero de 2013). *Producción de hojarasca y retorno potencial de nutrientes en tres sitios del estado de Nuevo León, México*. Obtenido de Polibotánica; no.35; México; ISSN 1405-2768: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682013000100003
- López, P. (18 de Mayo de 2020). *Gaceta UNAM*. Obtenido de Indagan la composición de la materia orgánica del suelo: <https://www.gaceta.unam.mx/indagan-la-composicion-de-la-materia-organica-del-suelo/>
- Mancilla Villa, O. R., Oropeza Mota, J. L., & Martínez Menes, M. (junio de 2009). *Evaluación de terrazas de banco para plantaciones forestales comerciales*. Obtenido de Ciencia forestal en México; vol.34 no.105; ISSN 1405-3586: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-35862009000100005#:~:text=Las%20terrazas%20mostraron%20una%20eficiencia,y%2046.6%25%20la%20de%20sedimentos.
- Lugo, M. (2016). *Estimación de la erosión hídrica en los suelos de la microcuenca Tzalá, San Marcos, Guatemala* (Doctoral dissertation, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2016.).

- Márquez, A. (4 de febrero de 2021). *Ciclos biogeoquímicos: qué son, tipos e importancia*. Obtenido de Ecología verde: <https://www.ecologiaverde.com/ciclos-biogeoquimicos-que-son-tipos-e-importancia-3262.html>
- Márquez García, F. (2018). *Capacidad de las cubiertas vegetales para mitigar y adaptar el cambio climático en olivares semiáridos*. Obtenido de Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=149733>
- Martella, M., Trumper, E., Bellis, L., Renison, D., Giordano, P., Bazzano, G., & Gleiser, R. (2012). *Manual de Ecología Poblaciones: Introducción a las técnicas para el estudio de las poblaciones silvestres. Reduca (biología). Serie Ecología. ISSN: 1989-3620, 5 (1): 1-31.*
- Martínez, M., & Pérez-Maqueo, O. (24 de enero de 2022). *INSTITUTO DE ECOLOGIA A.C.* Obtenido de Sucesión ecológica: la naturaleza cambiante: <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/2013-06-05-10-34-10/17-ciencia-hoy/1581-sucesion-ecologica-la-naturaleza-cambiante>
- Mata-Balderas, J. M., Treviño-Garza, E. J., Jiménez-Pérez, J., Aguirre-Calderón, O. A., Alanís-Rodríguez, E., & Foroughbakhch-Pournavab, R. (2014). *Prácticas de rehabilitación en un ecosistema semiárido, afectado por el establecimiento de un banco de material, en el noreste de México. CienciaUAT, 8(2), 32-43.*
- Mata, G. E. (2020). *Importancia Del Hierro (Fe) En La Agricultura . Drokasa Peru, 12*; obtenido de: [http://drokasa.pe/application/webroot/imgs/notas/Importancia_del_Hierro_\(Fe\)_en_la_agricultura_peruana.pdf](http://drokasa.pe/application/webroot/imgs/notas/Importancia_del_Hierro_(Fe)_en_la_agricultura_peruana.pdf).
- Melic, A. (3, 1993). *Biodiversidad y riqueza biológica. Paradojas y problemas. ZAPATERI; ISSN: 1131-933X, 97-104.*
- Molina, E. (2007). *Análisis de suelos y su interpretación. San José, CR, CIA-UCR-Amino Grow International.*
- Montoya, J. S. P., Armbrrecht, I., & Galindo, V. (2015). *Uso de acolchados (mulching) en la restauración de bosques secos en el Valle del Cauca. Revista de Ciencias, 19(2), 15-15.*
- Moreno Cano, A., Casado del Río, M. Á., & Jiménez Iglesia, E. (septiembre-noviembre de 2015). *Estudio sobre la percepción social del concepto de cambio climático y su divulgación en los medios de comunicación en la región de Santander-Colombia. Obtenido de RAZÓN Y PALABRA; núm. 91; ISSN: 1605-4806: <https://www.redalyc.org/pdf/1995/199541387015.pdf>*
- Morlans , M. (2004). *Introducción A La Ecología De Poblaciones. Editorial Científica Universitaria; ÁREA ECOLOGÍA, ISSN: 1852-3013, 16.* Obtenido de Universidad Nacional de Catamarca; ISSN: 1852-3013: <https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/Morlans-2004.pdf>
- NATURE. (2022). *Restauración Ecológica*. Obtenido de The Nature Conservancy : <https://www.nature.org/es-us/sobre-tnc/donde-trabajamos/tnc-en-latinoamerica/brasil/historias-en-brasil/restauracion-ecologica/>
- Nature. (2023). *Restauración Ecológica; Restauración ecológica: transformar el planeta un bosque a la vez*. Obtenido de The Nature Conservancy: <https://www.nature.org/es-us/sobre-tnc/donde-trabajamos/tnc-en-latinoamerica/brasil/historias-en-brasil/restauracion-ecologica/>

Ortega López, S., & Soares de Moraes, D. (2022). *El papel de las percepciones sociales en el impacto de programas de conservación*. Obtenido de Universidad Central del Ecuador; vol. 9, núm. 1, e3072: <https://www.redalyc.org/journal/6538/653869372001/html/>

PennState. (2023). *Department of Plant Science*. Obtenido de Deficiencia de Potasio: <https://plantscience.psu.edu/research/labs/roots/methods/metodologia-de-investigacion/observando-los-desordenes-nutricionales-de-las-plantas/deficiencia-de-potasio#:~:text=Las%20plantas%20deficientes%20en%20potasio,aspecto%20compacto%20con%20internodos%20>

Pérez Bidegain, Mario & García Préchac, Fernando & Hill, Mariana & Clérici, C.. (2011). La Erosión de los Suelos en Sistemas Agrícolas. Art.2. Facultad de Agronomía. 67-88.

Pizarro Tapia, R., Flores Villanelo, J. P., Sangüesa Pool, C., & Martínez Araya, E. (diciembre de 2004). ZANJAS DE INFILTRACIÓN. Obtenido de Sociedad Estándares de Ingeniería para Aguas y Suelos Ltda; ISBN 956-299-555-0: https://sistemamid.com.ar/panel/uploads/biblioteca/2017-02-11_08-34-56140066.pdf

R.A.E. (07 de 10 de 2022). *Real Academia Española*. Obtenido de Diccionario de la lengua española; 23.^a ed; [versión 23.5 en línea]: <https://dle.rae.es/inflorescencia>

R.A.E. (07 de 10 de 2022). *Real academia española*. Obtenido de Diccionario de la lengua española, 23.^a ed., [versión 23.5 en línea]: <https://dle.rae.es/loraci%C3%B3n?m=form>

Ramos, M. M., Gómez Díaz, J. D., Monterroso Rivas, A. I., Uribe Gómez, M., Villar Hernández, B., Ruiz García, P., & Asencio, C. (may./jun de 2020). Factores que influyen en la erosión hídrica del suelo en un bosque templado. Obtenido de Rev. mex. de cienc. forestales vol.11 no.59 México; <https://doi.org/doi10.29298/rmcf.v11i59.673> : https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11322020000300051&script=sci_arttext

Ruiz V., J., Bravo E., M., & Loaeza R, G. (enero-marzo de 2001). Cubiertas vegetales y barreras vivas: tecnologías con potencial para reducir la erosión en Oaxaca, México. Obtenido de Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C; Terra Latinoamericana, vol. 19, núm. 1; E-ISSN: 2395-8030: <https://www.redalyc.org/pdf/573/57319111.pdf>

Sánchez Ormeño, M., Amorós Ortiz-Villajos, J., Bravo Martín-Consuegra, S., Pérez de los Reyes, C., García Navarro, F., García Pradas, J., & Jiménez Ballesta, R. (18 de 02 de 2021). *Nutrición vegetal en el cultivo de la vid: Micronutrientes y elementos traza*. Obtenido de Revista Agricultura: https://archivo.revistaagricultura.com/nutricion/sanidad-y-nutricion/nutricion-vegetal-en-el-cultivo-de-la-vid-micronutrientes-y-elementos-traza_12839_119_16062_0_1_in.html

Sandoval García, C., Cantú Silva, I., González Rodríguez, H., Yáñez Díaz, M. I., Marmolejo Monsiváis, J. G., & Gómez Meza, M. V. (2021). *Efecto de diferentes usos del suelo en las propiedades físicas e hidrológicas de un Luvisol en Oaxaca*. Obtenido de Revista Mexicana de Ciencias Forestales Vol. 12 (68); DOI: 10.29298/rmcf.v12i68.982: <https://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v12n68/2007-1132-remcf-12-68-151.pdf>

SEMARNAT. (2022). *Mapas en línea*. Obtenido de Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales: <https://gisviewer.semarnat.gob.mx/geointegrador2Beta/index.html>

SEMARNAT. (17 de marzo de 2021). Ordenamiento Ecológico del Territorio. Obtenido de El ordenamiento ecológico es un proceso de planeación adaptativo, participativo y transparente.: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/ordenamiento-ecologico-del-territorio>

- SEMARNAT. (2018). *Informe del medio ambiente; "Suelo"*. Obtenido de Compendio de estadísticas ambientales, indicadores clave , de desempeño ambiental y crecimiento verde: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/pdf/Cap3_Suelos.pdf
- Seitz, S., Goebes, P., Loaiza Puerta, V., Pujol Pereira, E. I., Wittwer, R., Six, J., . . . Scholten, T. (18 de december de 2018). *Conservation tillage and organic farming reduce soil erosion*. Obtenido de *Agronomy for Sustainable Development*; 39: 4 ; <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0545-z>: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-018-0545-z>
- Silva, L. M., & Fernandes, G. W. (2014). Effect of seed storage on germination, seedling growth and survival of *Mimosa foliolosa* (Fabaceae): implications for seed banks and restoration ecology. *Tropical Ecology*, 55(3), 385-392.
- SMN. (2010). *Normales Climatológica por Estado; Huasca de Ocampo, Zembo*. Obtenido de Servicio Metereológico Nacional : <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=hgo>
- Soares , D., & Ortega, S. (2021). Percepción social sobre participación en actividades de conservación de bosques. Una mirada desde la microcuenca Ichupio, lago de Pátzcuaro, México. Obtenido de *Sociedad y Ambiente*; 24; ISSN: 2007-6576, pp. 1-27. doi: 10.31840/sya.vi24.2304:<https://revistas.ecosur.mx/sociedadambiente/index.php/sya/article/view/2304/1862>
- Soares, D., & Sandoval-Ayala, N. C. (jul./ago de 2016). *Percepciones sobre vulnerabilidad frente al cambio climático en una comunidad rural de Yucatán*. Obtenido de *Tecnología y ciencias del agua*; vol.7 no.4; ISSN 2007-2422: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000400113
- SOBITEC. (1 de 07 de 2017). *COBRE EN LAS PLANTAS*. Obtenido de SOBITEC PERU: <http://www.sobitecperu.com/cobre-en-las-plantas/>
- Thompson, L. M., & Troeh, F. R. (1982). *Los suelos y su fertilidad* . New York: Reverté.
- Tormo, J., Bochet, E., & García-Fayos, P. (enero de 2009). *Restauración y revegetación de taludes de carreteras en ambientes mediterráneos semiáridos: procesos edáficos*. Obtenido de ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/43071036_Restauracion_y_revegetacion_de_taludes_de_carreteras_en_ambientes_mediterraneos_semiaridos_procesos_edaficos
- Vilagrosa, A., Seva, J. P. N., Valdecantos, A., Cortina, J., Alloza, J. A., Serrasolses, I., ... & Vallejo, R. (1996). IX Plantaciones para la restauracion forestal en la Comunidad Valenciana. In Proc. Conf. La restauracion de la cubierta vegetal en la Comunidad Valenciana.
- Zamalvide, J. (1996). Análisis de suelo. *Curso de actualización en fertilidad de suelos*, 1, 41-45.

Anexos

Anexo 1. Producto Legislativo



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería
School of Engineering and Basic Sciences
Área Académica de Biología
Department of Biology

Convenio de colaboración entre la Maestría de Gestión Ambiental de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, y el fraccionamiento Bosque Real de Huasca.

El presente Convenio de Colaboración tiene la finalidad de establecer la contribución entre las partes involucradas para elaborar un Manual de procedimientos para la restauración de suelos erosionados en el fraccionamiento Bosque Real de Huasca, ubicado en el Municipio de Huasca de Ocampo, Hidalgo. Para que tal producto pueda obtenerse será necesario establecer la identidad de los involucrados mediante las siguientes declaraciones:

DECLARA

"EL BIOL. ANDRÉS MUÑOZ SPÍNOLA" que es de nacionalidad mexicana, estudiante de la Maestría en Gestión Ambiental en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, con número de cuenta 227593 y cedula profesional 10629555, con domicilio en Av. José Landeros S/N, que es una persona física con capacidad para realizar el Manual de procedimientos para la restauración de suelos erosionados en el fraccionamiento Bosque Real del Municipio de Huasca de Ocampo, Hidalgo.

DECLARA

"LA DRA. DULCE MARÍA GALVÁN HERNÁNDEZ" que es de nacionalidad mexicana, mayor de edad, integrante del núcleo básico de la Maestría en Gestión Ambiental, directora del proyecto de maestría titulado "Manual de procedimientos para la restauración de suelos erosionados del fraccionamiento Bosque Real del Municipio de Huasca de Ocampo, Hidalgo", investigadora del sistema nacional de investigadores nivel 1 y funge sus funciones como profesor-investigador del Área Académica de Biología en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

DECLARA

"ALONSO RODRÍGUEZ SÁNCHEZ", que es de nacionalidad mexicana, mayor de edad, representante legal del fraccionamiento Bosque Real de Huasca, con No. De pasaporte G29762105 Se reconocen las partes para participar de manera voluntaria, bajo un convenio sin fines de lucro o compromiso de obligación legal en el entendido que:

1. Que "Bosque Real de Huasca" está interesado en colaborar con el proyecto de maestría del "BIOL. ANDRÉS MUÑOZ SPÍNOLA" basado en la creación de un manual de procedimientos para la restauración de suelos erosionados del fraccionamiento Bosque Real de Huasca.
2. Que el "BIOL. ANDRÉS MUÑOZ SPÍNOLA" está en disposición de desarrollar dicho proyecto.
3. Que la "DRA. DULCE MARÍA GALVÁN HERNÁNDEZ", está en disposición de dirigir y asesorar el proyecto mencionado.

Por lo que las partes, en total acuerdo, formalizan el presente convenio con apego a las siguientes:

CLÁUSULAS

Primera.- OBJETO DEL CONVENIO

El objeto del presente convenio es realizar un Manual de procedimientos para la restauración de suelos erosionados del fraccionamiento Bosque Real de Huasca.

Segunda.- Aceptación de la creación del manual

EL "BIOL. ANDRÉS MUÑOZ SPÍNOLA" con la dirección de la "DRA. DULCE MARÍA GALVÁN HERNÁNDEZ" aceptan realizar el manual de procedimientos de acuerdo con las peticiones realizadas por parte del "FRACCIONAMIENTO BOSQUE REAL DE HUASCA"

Tercera.- Parcelas utilizadas

El "BIOL. ANDRÉS MUÑOZ SPÍNOLA" podrá realizar las investigaciones pertinentes para poder elaborar el manual mencionado en la siguiente parcela del fraccionamiento Bosque Real de Huasca, con las siguientes medidas y colindancias:

Parcela 14 Sección "A" con una superficie de 4,616.81m2
Al Norte 142.77m con parcelas 15-15 A de la sección "A"
Al Sur 80.45m con parcelas 13B y 13 A de la sección "A"
Al Oriente 109.02m con Camino de las Morenas y parcela 14 A de la Sección "A"
Al Ponente 50.00m con Límite del predio.

Ciudad del Conocimiento
Carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5
Carolina Carrión, Mineral de la Reforma,
Hidalgo, México, C.P. 42184
Teléfono: +52 (771) 71 720 00 ext. 6640, 6642
Fax 2112
aab_icbi@uaeh.edu.mx



www.uaeh.edu.mx



Anexo 2. Instrucciones de arborización utilizado en el taller “Erosión del suelo y alternativas para combatirlo”

Instructivo para realizar una arborización exitosa

Biól. Andrés Muñoz Spínola



Descubre más información

PASO 1

Delimitación del área

Con ayuda de un estacas y/o rocas, vamos a delimitar la zona donde sembraremos nuestras plantas



PASO 2

Medir y crear la cepa

Con ayuda de la pala y el pico o barreta, haremos un hoyo con una profundidad de dos veces el tamaño de la sepa y con una longitud de dos a tres veces el diámetro de la bolsa



PASO 3

Cernido

La tierra obtenida al realizar el hoyo, la cerniremos, separando las partes gruesas de las finas



PASO 4

Plantación

Verteremos tierra gruesa en una 1/4 del hoyo realizado, posteriormente verteremos 3cm de tierra fina, después vaso de lluvia solida, finalmente colocaremos la planta y rellenaremos el hoyo con tierra fina hasta que quede de 2 a 5 cm menos que el nivel del suelo.



PASO 5

Riego

Para concluir regaremos la planta al finalizar la practica, así mismo, en caso de sequía, deberemos regarla al menos 1 vez cada 2 semanas durante 2 meses.



NOTA:
Para aumentar el vigor de las plantas, se puede agregar un puño de abono seco (borrego, caballo, gallina o vaca) a unos 5 cm del tallo de nuestra planta.



Anexo 3. Instrumento de evaluación utilizado en el taller “Erosión del suelo y alternativas para combatirlo”

Matriz de evaluación de soluciones							Equipo <u>1</u>
Problema: Aumento de la erosión del suelo en el municipio							
Solución propuesta	Beneficio	Tiempo necesario?	Ayuda necesaria	Costo	Viabilidad	Puntaje	Orden de prioridad
Gestionar arboles en la dirección de ecología municipal, para poder arborizar	☺	☹	☹	☺	☹	14	No aplica "EJEMPLO"
La conservación de nuevos arboles, para prevenir la erosión.	☺	☹	☹	☺	☹	12	Si aplica como inicio
Cuidar nuestras actividades humanas como la deforestación	☺	☺	☹	☹	☹	14	Si aplica impacto humano
Las Plantas ayudan a la conservación de áreas y fijación	☺	☺	☹	☹	☺	14	Si aplica conservación
De forma natural y al impacto de la sociedad.	☺	☹	☺	☺	☹	14	No aplica insuficiencia de ayuda.

☺ = 4 ☹ = 2 ☹ = 0

1. Es necesario tomar en cuenta las siguientes preguntas
 - a. ¿Qué estamos buscando?
 - b. ¿Dónde lo vamos a aplicar?
 - c. ¿Qué herramientas necesitamos?

2. Buscar soluciones locales
3. Tener en cuenta la viabilidad en cuanto costo y tiempo
4. A quien o quienes debemos dirigirnos para aplicar las soluciones

Fecha de entrega miércoles 26 de abril del 2023

Dudas o comentarios:

Vía email: mu227593@uaeh.edu.mx

WhatsApp: 7751449206

Anexo 4. Instructivo para realizar una composta

Instructivo para realizar una composta

Biól. Andrés Muñoz Spínola



Descubre más información

PASO 1
Delimitación del área
Con ayuda de un flexómetro o una cinta métrica, se medirá un rectángulo de 1 mt de ancho por 1.5 mts de largo.



PASO 2
Remover tierra
Con ayuda de la barreta, el azadón, el pico y la pala, se removerá 90cm de tierra, la tierra que saquemos, deberá ser cerrida, separando tierra fina y terrones.



PASO 3
Primera y segunda capa
Se colocara 20cm aproximadamente de materia orgánica seca, posteriormente agregaremos 10 cm de los terrones obtenidos al cernir



PASO 4
Segunda y tercer capa
Verteremos de manera uniforme 15 cm de materia orgánica fresca y 15 cm de abono fresco o seco



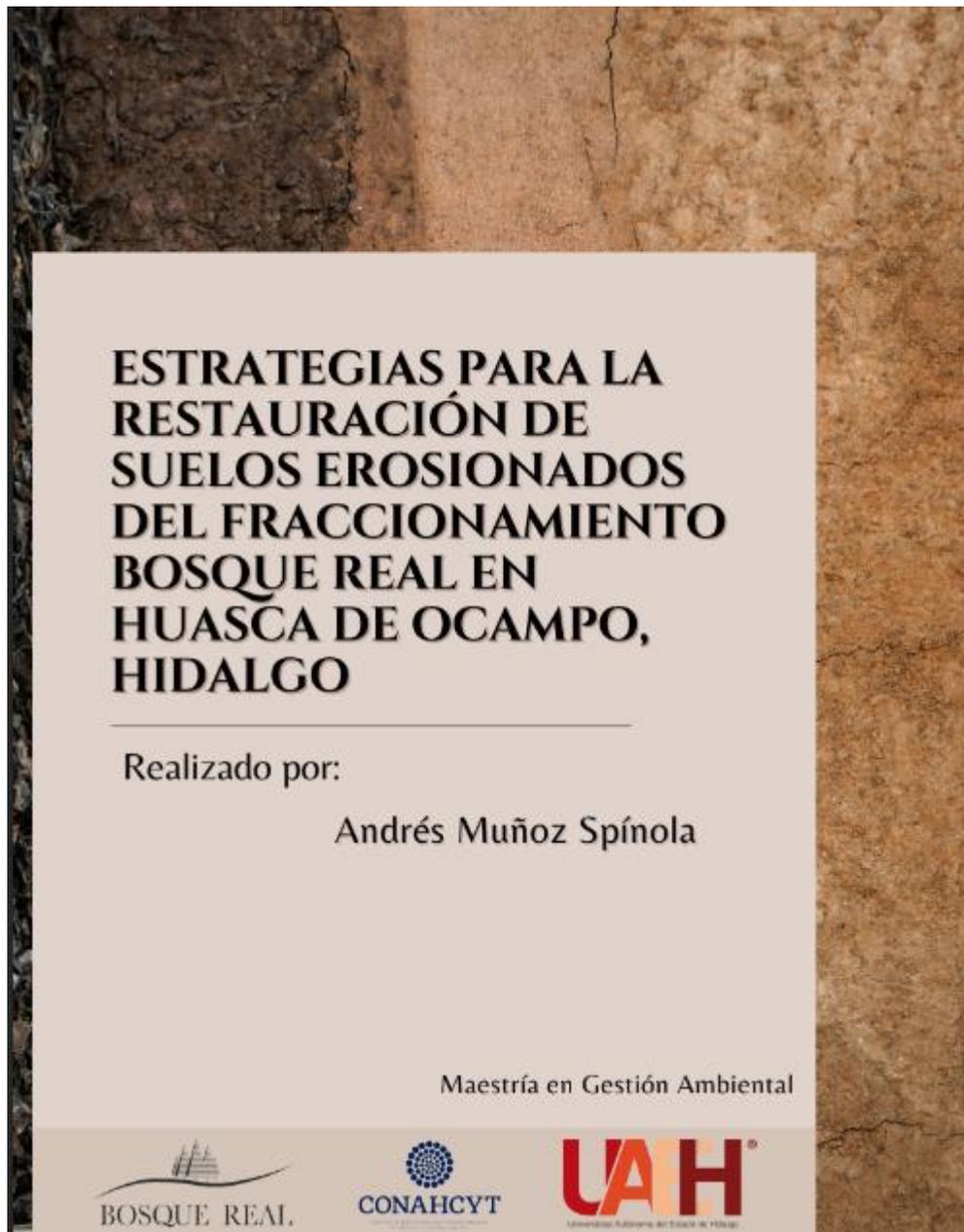
PASO 5
Cuarta y quinta capa
Agregaremos de 2 a 7cm de ceniza, junto con tierra fina.
Por ultimo debemos de regar abundantemente para ayudar a los procesos de fermentación



NOTA:
Para facilitar la entrada de aire a la composta será necesario moverla la tierra 1 vez al mes con ayuda de una pala, así mismo, es necesario mantener la composta húmeda.



ANEXO 5. Manual De Estrategias Para La Restauración De Suelos Erosionados En El Fraccionamiento Bosque Real, Huasca De Ocampo, Hidalgo



Anexo 6. Recibo del Manual.

Huasca de Ocampo a 06 de Abril del 2024.

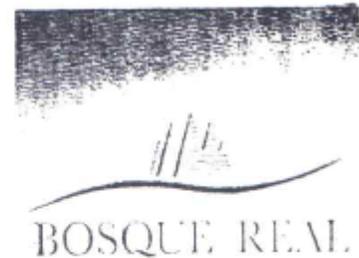
Asunto: Justificante de entrega de Manual

Maestría en Gestión Ambiental

PRESENTE

A través de la presente declaro haber recibido el día 06 de abril del 2024 el manual de restauración de suelo realizado por el Biol. Andrés Muñoz Spínola, correspondiente al convenio que realizó entre Bosque Real y la Maestría de Gestión Ambiental de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo en el mes de octubre del año 2022, mismo que se entregó de manera física y virtual, cumpliendo en tiempo y forma con las características estipuladas, quedamos satisfechos con dicho documento, y con ello, damos por concluido este producto.

Atentamente



A handwritten signature in blue ink, appearing to read "A. Rodríguez", is written over a horizontal line.

ING. ALONSO RODRÍGUEZ SÁNCHEZ

Apoderado Legal del Fraccionamiento Bosque Real de Huasca.