

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



TÉCNICAS DE MANEJO AMBIENTAL PARA LA RESTAURACIÓN Y  
CONSERVACIÓN DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS DE ZONAS  
ÁRIDAS, EN MADERAS DEL CARMEN, COAHUILA, MÉXICO; Y EN ÁREAS  
AFECTADAS POR LA MINERÍA, EN LA UNIÓN, MURCIA, ESPAÑA.

Reporte de estancia

Que presenta KELLY AMAYRANI ESCALANTE ROBLERO

como requisito parcial para obtener el Diploma como ESPECIALISTA EN  
MANEJO SUSTENTABLE DE RECURSOS NATURALES DE ZONAS ÁRIDAS  
Y SEMIÁRIDAS

Saltillo, Coahuila

Diciembre 2023

TÉCNICAS DE MANEJO AMBIENTAL PARA LA RESTAURACIÓN Y  
CONSERVACIÓN DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS DE ZONAS  
ÁRIDAS, EN MADERAS DEL CARMEN, COAHUILA, MÉXICO; Y EN ÁREAS  
AFECTADAS POR LA MINERÍA, EN LA UNIÓN, MURCIA, ESPAÑA.

Reporte de estancia

Elaborado por KELLY AMAYRANI ESCALANTE ROBLERO  
como requisito parcial para obtener el Diploma como ESPECIALISTA EN  
MANEJO SUSTENTABLE DE RECURSOS NATURALES DE ZONAS ÁRIDAS  
Y SEMIÁRIDAS con la supervisión y aprobación del Comité de Asesoria.



Dr. Luis Samaniego Moreno

Director



Dr. Lorenzo Alejandro López Barbosa

Asesor



Dra. Rosa María Garza Quiñones

Asesor



Dra. Silvia Judith Martínez Amador

Asesor



Dr. Antonio Flores Naveda

Subdirector de Postgrado

UAAAAN

## **Agradecimientos**

A Dios por estar presente en todo momento, por darme las fuerzas necesarias para continuar en lo adverso y por permitir que este año a pesar de sus dificultades, pude vivir experiencias inolvidables, afrontar cada reto y por permitirme sonreír ante tales logros.

A mis asesores, Dr. Luis Samaniego Moreno, Dr. Lorenzo Alejandro López Barbosa, Dra. Rosa María Garza Quiñones, Dra. Silvia Judith Martínez Amador; que hicieron parte dentro de este proceso de formación, por su apoyo, disponibilidad y facilidad de medios necesarios brindado en el transcurso de la especialidad.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por permitirme tener una buena experiencia dentro de su programa de especialidad.

A la especialidad en Manejo Sustentable de Recursos Naturales en Zonas Áridas y Semiáridas. Por formarme profesionalmente dentro de lo que más me apasiona.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) por permitirme ser parte de su programa de becarios, durante este proceso de formación.

A todos los que formaron parte de esta gran etapa de formación por su apoyo brindado (familia, amigos, compañeros, maestros, doctores, sin excluir a nadie).

## ÍNDICE

Agradecimientos .....	ii
INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVOS.....	2
JUSTIFICACIÓN.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
1.    Restauración ambiental .....	4
2.    Restauración de áreas protegidas en el contexto del cambio climático. ....	5
3.    Monitoreo para la restauración ambiental.....	6
4.    Técnicas de manejo ambiental para la restauración de áreas naturales.....	7
5.    Causas de contaminación ambiental en zonas afectadas por la minería .....	8
6.    Técnicas de manejo ambiental a daños causadas por la minería .....	10
DESARROLLO DE ACTIVIDADES.....	11
RESULTADOS.....	22
CONCLUSIONES .....	23
REFERENCIAS .....	24
ANEXOS.....	25

## INTRODUCCIÓN

La gestión responsable de los recursos naturales, los ecosistemas y los servicios que proporcionan; son fundamentales para los esfuerzos de cualquier sociedad que busca ser más sostenible. Estos servicios deben ser protegidos y apoyados para que cualquier sociedad pueda prosperar a largo plazo.

En zonas propensas a tormentas, laderas inestables, actividad sísmica y explotación minera, siempre habrá un impacto hacia el medio ambiente y sus recursos. La gestión activa y sostenible de estos ecosistemas y de los recursos naturales, durante y después de estos sucesos ayuda a evitar impactos negativos siempre que sea posible. (IISD, 2020).

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) son las herramientas más efectivas para conservar los ecosistemas, permitir la adaptación de la biodiversidad y enfrentar los efectos del cambio climático. Mediante las ANP se pueden ampliar corredores naturales, que permita que las especies se adapten y ajusten sus áreas de distribución, frente a las nuevas condiciones climáticas. (CONANP, 2023).

Las áreas protegidas son una parte esencial de la respuesta al cambio climático por su papel en aumentar la resiliencia al cambio (adaptación) y en proteger y aumentar las reservas de carbono (mitigación). Paralelamente a un mayor énfasis político en la naturaleza de conservación en áreas protegidas, también se reconoce que estas suministran muchos otros bienes y servicios importantes (Dudley, 2010).

Las técnicas de manejo ambiental pueden complementar otras opciones más costosas, ayudando a reducir el riesgo de que los depósitos de residuos mineros sean una fuente de dispersión de elementos potencialmente peligrosos, al mejorar sus suelos, facilitar el crecimiento de plantas directamente sobre ellos y mejorar el ecosistema (ETSIA, 2021).

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Comprender la Importancia del manejo sustentable de los recursos naturales dentro de las zonas áridas y semiáridas en áreas naturales y en partes afectadas por la contaminación de residuos mineros.

### **Objetivos específicos**

1. Valorizar y transferir la aplicación de técnicas de manejo ambiental, que incluyen el uso de enmiendas para la restauración y conservación en zonas áridas y semiáridas.
2. Saber manejar los problemas ambientales que se presentan en campo e implementar técnicas de restauración ambiental.
3. Conocer como las zonas restauradas responden frente al cambio climático.

## **JUSTIFICACIÓN**

La estancia se llevó a cabo en Maderas del Carmen, Coahuila, México y en Cartagena, Murcia, España, en zonas áridas y semiáridas, para conocer el comportamiento de ecosistemas que enfrentan diversos retos ambientales, conocer cómo funcionan y poder ensayar posibles medidas de manejo y de restauración ambiental de manera sostenible.

Los depósitos abandonados de residuos mineros (lodos de flotación procedentes de lavaderos de minerales) suponen un problema medioambiental, debido a las concentraciones extremadamente altas de metales y metaloides que contienen. A causa de la gran cantidad de depósitos abandonados que existen, se corre un riesgo inaceptable por colapso y/o por su cercanía a poblaciones y es poco viable asumir los gastos y dificultades como su retirada y transporte a vertederos o su encapsulado.

Trabajar con técnicas de manejo ambiental para la protección de los recursos naturales en zonas áridas o semiáridas de manera sustentable es la solución más efectiva para este tipo de áreas de manera que podamos reducir riesgos de erosión, escasez y deterioro ambiental.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### 1. Restauración ambiental

Según la Sociedad Ecológica de Restauración (SER), la restauración ambiental o ecológica; consiste en la aplicación de procesos que permiten recuperar aquellos ecosistemas que hayan sido degradados, dañados y/o destruidos. Se trata de un enfoque práctico en el que se incluyen una gran variedad de técnicas y metodologías que permiten el análisis y mejora de dichos ecosistemas (Roldán, 2020).

La restauración a menudo utiliza información histórica como una guía importante para establecer metas basadas en las condiciones anteriores a la degradación, identificando el ecosistema o los ecosistemas de referencia. La medida a que la información histórica es útil para determinar metas específicas depende de muchos factores, incluyendo las limitaciones del sitio, la disponibilidad de información, el tipo de daño y las metas de la restauración. Contar con información histórica resulta cada vez más difícil debido a los cambios ambientales (clima), ecológicos (invasiones de especies) y culturales (valores cambiantes) rápidos (IUCN, 2014).

La restauración de los ecosistemas que tienen cierto grado de deterioro o degradación es una estrategia clave para apoyar la conservación de la biodiversidad y con ello el suministro de los servicios ambientales que garantizan el bienestar humano (CONABIO, 2023).

El programa de manejo de las ANP se refiere a la restauración ambiental como la parte de recuperar y restablecer las condiciones ecológicas permitiendo la continuidad de los procesos naturales en los ecosistemas del ANP. Dar protección a esas áreas para favorecer la permanencia y conservación ambiental a través del establecimiento y promoción de un conjunto de políticas y medidas para mejorar el ambiente y controlar el deterioro de los ecosistemas.

## 2. Restauración de áreas protegidas en el contexto del cambio climático

La pérdida y degradación de ecosistemas son causas importantes de las emisiones de gases de efecto invernadero que causan el cambio climático. Las áreas protegidas ayudan a asegurar el carbono almacenado en la vegetación, los suelos y los sedimentos terrestres, marinos y de agua dulce y también a proteger los ecosistemas naturales que seguirán capturando carbono (Keenleyside, 2010). El cambio climático afecta la dinámica de la tierra y crea condiciones que favorecen la ocurrencia de eventos climáticos extremos, tales como sequías, ciclones y tormentas. Estas amenazas pueden llegar a afectar en mayor o menor medida a las comunidades humanas y a los ecosistemas dependiendo de su vulnerabilidad.

Principales actividades humanas emisoras de gases de efecto invernadero:

- Generación y consumo de energía.
- Procesos industriales.
- Cambio de uso de suelo
- Agricultura y ganadería
- Perdida de cobertura vegetal y silvicultura
- Manejo y tratamiento de desechos sólidos y aguas residuales.

Efectos del cambio climático en especies y ecosistemas:

- Cambio en la distribución de especies.
- Cambios en los ciclos biológicos.
- Afectación de los servicios ambientales que presentan los ecosistemas.
- Aumento en la tasa de extinción de especies y sus posibles afectaciones en la cadena trófica.
- Aumento de riesgos de incendio.
- Mayor frecuencia de eventos climáticos extremos (sequias, huracanes, lluvias torrenciales).
- Incrementación de especies exóticas invasoras, plagas y enfermedades.

Actualmente se reconoce cada vez más el valor de los ecosistemas naturales que se encuentran bajo algún tipo de manejo, pueden ayudar a mitigar el cambio climático, así como contribuir a reducir sus impactos (CONANP, 2017).

### 3. Monitoreo para la restauración ambiental

Llevar a cabo un monitoreo es de suma importancia ya que permite tener un diagnóstico claro del área en el que se está trabajando, conocer su estado actual



y dar seguimiento de la especie con la que se está trabajando. Para que haya una completa restauración se evalúa el impacto, se debe identificar los sesgos (que el equipo o herramienta que se vaya a utilizar este bien calibrada). Se diseñan y ejecutan técnicas de monitoreo (Fig. 1), que pueden ser: sitios fotográficos, transeptos lineales, puntos aleatorios, parcelas entre otros.

Fig. 1: Planeación para monitoreo en Jaboncillos, Ocampo, Coahuila, junio, 2023.

Nivel de escala de monitoreo: corresponde a la magnitud del lugar de monitoreo ya sea, sitio del proyecto, escala del paisaje y escala global.

Características de un programa de monitoreo exitoso: contar con buena actitud, hacer prueba de equipo antes de salir a campo, reestablecer el sitio, debe haber buena calidad de colecta de datos, buen análisis de datos, que sea válido científicamente (Fig. 2).

Pasos para un monitoreo efectivo: definir metas y objetivos de monitoreo, definir escala del monitoreo, definir tiempo, espacio e impacto ecológico, tener control e importancia de línea base, observar y tomar nota, documentar (llevar registro de información) y seguir los protocolos indicados.



Fig. 2: Recolección de datos en Pilares Ocampo, Coahuila, junio, 2023.

#### 4. Técnicas de manejo ambiental para la restauración de áreas naturales

El ambiente por intervenir posee determinadas cualidades: físicas, biológicas, económicas o culturales, positivas o negativas, que conlleva poder evaluar el grado de riesgo ambiental.

Algunas de las técnicas más utilizadas y efectivas son: monitoreo de las condiciones del terreno, que permite evaluar el estado y la evolución de los recursos naturales, identificar los problemas y las oportunidades, planificar y ajustar las intervenciones de manejo.

La restauración y el manejo de la vegetación, que implica la protección, el enriquecimiento y la reforestación de los bosques, los árboles y las especies nativas, para mejorar la cobertura, la diversidad y la productividad vegetal, y para generar beneficios ecológicos y socioeconómicos.

Cosecha de agua, que consiste en captar, almacenar y distribuir el agua de lluvia, el rocío o la niebla, mediante diversas estructuras y dispositivos, para su uso doméstico, agrícola o ambiental.

Estas técnicas de manejo ambiental en zonas áridas contribuyen a mejorar la calidad de vida de las poblaciones locales, a aumentar la seguridad alimentaria, la resiliencia, a conservar y restaurar los ecosistemas y los servicios ambientales que brindan protección de zonas áridas y conocer el potencial del suelo.

Algunas técnicas de restauración también son los siguientes métodos:

Método vegetativo: hacer reforestaciones, acomodamiento de materia orgánica, sembrar pastos y arbustos.

Método mecánico: curvas a nivel perpendiculares a la pendiente, gaviones (presa filtrante de piedras acomodadas), terrazas individuales y cabecilla de cárcavas.

## 5. Causas de contaminación ambiental en zonas afectadas por la minería

Para extraer elementos que se quiere dar valor, en este caso el metal, se hace una serie de procesos. Como consecuencia de todos esos procesos, se generan muchos residuos y uno de los más problemáticos son los que se llaman lodos de flotación (mezcla de agua con sólido) son los residuos que más se generan y las estructuras son los sitios donde se almacenan (Fig. 3).



*Fig. 3: Lodos de flotación, resultado de daños ambientales causados por la minería, en la Unión, Murcia, España, octubre, 2023.*

La mayoría es agua que se va evaporando en el transcurso, quedando así el residuo sólido cargado de metales, con condiciones no favorables para el ambiente. Pueden tener pH desde muy bajos hasta muy altos, pueden tener sales, normalmente el contenido de nutrientes es muy pobre o no tienen nada. De manera que son sitios son muy hostiles para que cualquier tipo de organismo ya sea planta o fauna se desarrolle.

Una de las dificultades de restaurar estas zonas es la gran variabilidad en cuanto a las propiedades de metales, conexiones de pH, salinidad y nutrientes, que por lo general son zonas que son difíciles para que se desarrolle los organismos vivos, normalmente quedan desprovistas de vegetación dependiendo de la zona, porque hay zonas que la vegetación crece, pero va a depender mucho de las características fisiológicas del suelo.

Evidentemente lo ideal sería quitar del sitio la estructura de lodos de flotación, ya que las zonas que no tienen vegetación son muy propensas a sufrir erosión tanto por agua como por el viento. Llueve poco y cuando llueve, llueve demasiado y con ese tipo de eventos se arrastran los residuos hacia abajo y también por el viento, ya que en verano está muy seco y hay episodios de viento fuerte y por suspensión el viento arrastra mucho. Por lo que hay muchas zonas alrededor que están contaminadas o que presentan altos niveles de metales debido a esto.

Lo ideal para esa situación es llevarlo, desmantelarlo y llevar el residuo a un vertedero que pueda gestionar residuos peligrosos, pero eso es muy costoso, puesto a que el manejo de residuos peligrosos lleva requisitos que no todos los vertederos cumplen u otra opción sería cubrirlo, aislarlo del entorno. Una estructura como esos se habla de aproximadamente 100 millones de pesos, lo que es encerrarlo, cubrirlo, que es imposible de hacer.

Eso al día de hoy se está haciendo en estructuras de este tipo que suponen un peligro para la población, es decir, hay alguna estructura que está cerca de estructuras urbanas, pero hay muchas que están totalmente en medio del campo, de la montaña donde no hay núcleos de población cercana y que en principios no hay dinero para poder cubrir, entonces lo que se intenta hacer es ver que opciones hay que no sean de un costo económicos tan alto para poder reducir los impactos que pueden producir esas zonas.

## 6. Técnicas de manejo ambiental a daños causadas por la minería

Las zonas contaminadas por la minería son particularmente susceptibles a los impactos del cambio climático, como sequías más intensas y prolongadas. La restauración ambiental puede ayudar a fortalecer la resiliencia de los ecosistemas y las comunidades locales frente a estos desafíos. Para ello se implementan diversas técnicas de restauración ambiental.

Revegetación: esta técnica se refiere a la acción de cubrir con vegetación los espacios que fueron perturbados, y que hay diferentes tipos de actividades de revegetación como son la reforestación, la restauración, la recuperación y la rehabilitación vegetal, el objetivo principal es permitir que el sistema regrese por si sólo a su estado original utilizando especies nativas (SCT, 2021).

Rehabilitación: acciones orientadas al restablecimiento de la productividad y de algunas otras funciones ecológicas. Se busca la reintroducción de alguna pero no necesariamente todas las especies animales y vegetales originalmente presentes. Por razones ecológicas o económicas, el nuevo bosque puede incluir especies que no estaban originalmente presentes. A través del tiempo, la función de protección del bosque y los servicios ecológicos pueden ser restablecidos.

Saneamiento o reclamación. Su objetivo es recobrar la productividad en un sitio degradado. Para ello, se utilizan principalmente árboles de especies exóticas, frecuentemente establecidos en monocultivos. La diversidad biológica original no se recupera y la mayoría de los servicios ecológicos pueden ser restablecidos (entre ellos la de protección).

Reemplazamiento vegetal: es el proceso por el que se induce la formación de un ecosistema diferente al original, generalmente no se considera la condición natural histórica del sitio, por lo cual, en estas actividades es muy común el uso de especies exóticas (Vanegas, 2016).

## DESARROLLO DE ACTIVIDADES

La estancia se realizó en un periodo de tres meses de acuerdo a los lineamientos del programa de la especialidad; los lugares en donde se llevó a cabo la estancia fueron dos, los cuales describiré en este reporte y las actividades que se llevaron a cabo en cada uno de ellos.

La primera estancia se realizó en el Área Natural Protegida de Flora y Fauna (ANPFF) Maderas del Carmen con una duración de un mes, que comenzó el día 26 de junio al 28 de julio de 2023. En esta Institución se realizaron diversas actividades que se describen a continuación.

Taller de vigilancia y monitoreo: esta actividad se llevó a cabo en el ejido Jaboncillos, Ocampo (Fig. 4), en el cual se enseñó a utilizar herramientas de sistemas de información geográfica, además de utilizar el GPS para ubicar puntos de localización y hacer mapeos y monitoreo en líneas de seguimiento. Se dieron a conocer técnicas de manejo ambiental, estrategias de aprovechamiento de flora y fauna silvestre; monitoreo y plan de manejo.

Algunos de ellos son brigadistas de combate de incendios, que ya tienen conocimiento sobre estos temas, y el taller les sirvió para reforzar sus conocimientos.

Evaluación de cobertura de especies vegetativas: después de quemas prescritas con la brigada de combate de incendios, Se evaluaron 18 sitios en la reserva natural, en Pilares, Ocampo. Dentro de los sitios de muestreo establecidos, se realizó un censo de todas las especies arbóreas y arbustivas para evaluar el cambio de la estructura del ecosistema y diversidad de las especies arbóreas y arbustivas, después de quemas prescritas en el matorral desértico micrófilo.



Fig. 4: Taller de vigilancia y monitoreo, Jaboncillos, Ocampo, Coahuila, junio, 2023.

Se evaluó la estructura de la vegetación de matorral micrófilo para crear condiciones óptimas y mejorar el hábitat del bisonte americano (*Bison bison*), berrendo (*Antilocapra americana*), venado burá (*Odocoileus hemionus*) y borrego cimarrón (*Ovis canadensis*), en un 60 % de la superficie total mencionada.

La quema prescrita se llevó a cabo con el fin de crear condiciones adecuadas por efectos del fuego controlado en la vegetación de matorral – pastizal del paraje denominado Morteros para sostener poblaciones saludables de presas potenciales para el águila real (*Aquila chrysaetos*), halcón peregrino (*Falco peregrinus*), aguililla rastrera (*Circus cianeus*), halcón pradera (*Falco mexicanus*). Para fortalecer la experiencia de hombres y mujeres que integran las brigadas del APFF Maderas del Carmen y APFF Ocampo en la aplicación de uso del fuego mediante quema prescrita en seis unidades de quema bajo el Sistema de Comando de Incidentes.

Los sitios ya estaban marcados, con ayuda del GPS los fuimos ubicando, al llegar al sitio, se tomó un radio de 12 metros, para evaluar dentro de esa área, se contaban las especies arbóreas y las arbustivas y se sacaba la altura y cobertura (ancho y largo) de cada una y con el marco se ubicaba en cada cuadrante y se describían las especies que estaban dentro del marco y se medía altura y cobertura de cada especie dentro del marco (Fig. 5).

Durante la práctica se realizaron conteos de especies arbustivas o pastizales semiáridos que se componen principalmente de gramíneas nativas como: los pastos navajita (*Bouteloua gracilis*), banderita (*B. curtipendula*), navajita negra (*B. eriopoda*), búfalo (*B. dactyloides*) entre otras especies que destacan en matorral micrófilo.



Fig. 5: Evaluación con marco y recolección de datos en Pilares, Ocampo, junio, 2023.

También especies arbóreas, como; la gobernadora (*Larrea tridentata*), lagoncillo o Chaparro prieto (*Acacia constricta*), hojacen (*Flourensia cernua*) Costilla de Vacas (*Blechnum chilense*), entre otros.

Se realizaron los muestreos en 18 áreas determinadas, en las cuales se reportaban muestras de rastros de fauna, como: huellas, heces fecales, pelaje, señales de echamiento en los arbustos y rastros de piel (Fig. 6).

La evaluación comparativa de diversidad

mostró que a 5 meses de la realización de las quemas prescritas si hay una diferencia significativa en diversidad y riqueza, esto quiere decir que el ecosistema de matorral desértico micrófilo se puede recuperar después de la presencia de fuego superficial de intensidad baja de manera natural.

Curso restauración de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* zucc.): la candelilla es



Fig. 7: Curso de restauración, impartida por la CONANP, Julio, 2023.



Fig. 6: Muestra de heces fecales de bisonte

una de las pocas plantas en el mundo que contiene una alta cantidad de hidrocarburos, lo que facilita la extracción de la cera natural (CONAFOR, 2021).

Su uso en la industria es muy variado destacando sus características para el

uso cosmético, electrónico y lubricantes, se considera de gran

importancia para las comunidades rurales que dependen en parte del aprovechamiento de sus poblaciones naturales. El valor comercial de candelilla, contribuye en alto grado a la conservación de las poblaciones naturales, disminuyendo la presión de aprovechamiento de las mismas (INIFAP, 2022).

En este taller también se colaboró con los ejidatarios para hacer plantación de candelilla en una hectárea de terreno en campo.



Fig. 8 y 9: Proceso extracción de cera de la candelilla en el ejido Reforma, Cuatro Ciénegas, Coahuila, julio, 2023.



Fig. 10 y 11 Restauración de la candelilla en una hectárea de terreno en campo, Jaboncillos, Ocampo, Coahuila, Julio, 2023.

La segunda estancia se realizó fuera en la Universidad Politécnica de Cartagena en España (UPCT) en la Facultad de Agronomía, en el centro de investigación del Departamento de Edificación Ambiental de Suelos, Química y Tecnologías Agrícolas (ETSIA). Colaborando en el proyecto: Aplicación de Técnicas de Fitomanejado para la Restauración Ambiental de depósitos de Residuos mineros metalíferos en zonas semiáridas (FiAmbRes), en un periodo de dos meses comprendidos del 15 de septiembre al 15 de noviembre de 2023.

Las áreas de restauración son depósitos de residuos mineros que producen muchos tipos de residuos, ya que se encuentran en medio de un entorno natural. Para que esos depósitos no supongan un peligro, lo que se hizo fue cubrirlos con vegetación lo máximo posible para que las raíces de las plantas retengan las partículas. Para evitar que los eventos de lluvia o los episodios de viento puedan arrastrar sedimentos contaminados al entorno.



Fig. 12: Parcela ubicada en la superficie de un lodo de flotación donde se llevó a cabo la evaluación (figura obtenida de <https://fiambres.es/galeria/>) para conocer el estado antes de aplicar la enmienda, en la Unión, Murcia, España, septiembre, 2023.

En una pequeña parcela en la superficie de un depósito se ha hecho un manejo de restauración ambiental (Fig. 12). En esta superficie muchas veces se queda como costras que son muy duras, causante de uno de los problemas que tiene la vegetación, pues para desarrollarse, una semilla la plántula emerge, pero le cuesta mucho romper la cubierta, de manera que lo primero que se hizo fue pasar un tractor para ir abriendo surcos y romper esa superficie y se aplicó una enmienda orgánica al suelo para aportarle nutrientes.

Esa enmienda lo que se hizo fue una mezcla de compost de residuos sólidos urbanos y de biochar (residuos de carbón). El compost está elaborado a partir de residuos orgánicos de un vertedero donde se almacena la basura de la ciudad de manera de darle salida, esos residuos orgánicos se mezclan con biochar.

El compost de residuo sólido urbano nos aporta nutrientes fáciles de usar de forma inmediata, mientras que el biochar al ser un carbón orgánico difícil de usar con el paso del tiempo se va transformando. Para aportar al suelo materia orgánica y nutrientes que con el paso del tiempo va estar disponible para utilizarse.

Se aplica el compost en los surcos que se habían abierto en campo. Los surcos se hicieron con una profundidad con un espacio y anchura determinada para después poder añadir la mezcla. Posteriormente se cierra para tener unos surcos de plantación donde se pueda introducir las plantas además de los surcos es una mezcla del residuo minero de esa enmienda orgánica, para mejorar las condiciones las plantas, a modo de testigo se dejó pequeñas zonas donde no se hizo el tratamiento con la enmienda.

Se hizo la restauración con 742 ejemplares de plantas nativas; en 12 parcelas delimitadas de 3m x 10m donde se aplicó la enmienda orgánica, en todas hay fajinas (estructuras de sombra artificial) pero en seis de ellas no se aplicó la enmienda orgánica, se dejaron de testigo, para poder comprobar los resultados y luego se tienen a su vez parcelas de seguimiento tanto con enmienda como sin enmienda, para observar los surcos que tienen sombra (estructuras a base de ramas de árboles caídos de la zona) y mejoran las condiciones micro-climáticas del entorno (Fig. 13). Estas zonas de vegetación reciben radiación solar todo el día y el suelo se calienta mucho, entonces al hacer estas estructuras se genera sombra en diferentes puntos del día para que favorezca en cierta manera las condiciones micro-climáticas.



Fig. 13: Restauración de la parcela en la Unión, Murcia, España (figura obtenida de <https://fiambres.es/galeria/>) donde se observa como quedaron marcados los surcos ya con la enmienda orgánica.

Luego pueden retener sedimento cuando hay erosión hídrica o eólica, el viento arrastra partículas sólidas, choca con la barrera y las partículas sedimentan. Entonces estas retienen también sedimento.

Si una semilla cae ahí es más fácil para la planta emerger porque tiene ese sombreo, dentro están emergiendo plantas, entonces para los invertebrados del suelo es buena zona. Es zona también donde las aves entran y también las estructuras se van degradando y aportando a la vez materia orgánica.

La parcela está llena de estas estructuras de lodos flotantes y lo siguiente que se hizo fue plantar sobre esas estructuras. Hubo un marco de plantación que se estableció dependiendo de la superficie, se plantaron ejemplares que son propios de la zona es decir, se seleccionaron una serie de especies que son característicos de la zonas porque se necesitaba especies que podían resistir las condiciones del clima árido y semiárido, se trabajó con toda una serie de especies hay algunas que plantaron directamente porque compraron en vivero y otras que plantaron de semillas para poder probar diferentes estrategias una vez planta, se hace un pequeño soporte (cajete) para que cuando llueva el agua se quede y aparte lo que se hizo fue poner protectores (de material biodegradable para que con el paso del tiempo si no los quitan su puedan ir incorporando) de vegetación, para evitar que la fauna se comieran las plantas pequeñas.

Se hizo un seguimiento en las parcelas, uno con enmienda y otra sin enmienda, para tener un registro de seguimiento de todas las plantas. Se observó el crecimiento de las plantas, si estas sobreviven o no, se midió altura y cobertura para evaluar el crecimiento de las plantas sobre estos depósitos mineros, por lo general se hace la revisión de la vegetación 3 veces al año dentro de la parcela que tienen marcada (Fig. 14).



Fig. 14: Crecimiento de la vegetación en respuesta de la enmienda, en la Unión, Murcia, España, noviembre, 2023.

Aparte de la vegetación, también se observa cómo evoluciona las características del suelo durante un año. En cada estación se tomaron muestras de suelo y se hicieron mediciones de estas muestras. Además, en campo se han hecho mediciones de temperatura, si el efecto es sombreo se va notando siempre hay uno o dos grados de diferencia con respecto a la zona donde no hay ese sombreo. Se hacen seguimiento de la fauna edáfica en términos de alimentación. Se ha hecho mediciones en campo de CO<sub>2</sub> que permite evaluar el CO<sub>2</sub> del que depende el suelo, pues es una manera indirecta de medir la actividad biológica que hay en el suelo si hay actividad biológica sobretodo de organismos heterótrofos, son organismo que van a tener que respirar como nosotros (los seres humanos) captan oxígeno y expulsan CO<sub>2</sub>. Esto es una manera de saber si la actividad biológica es menor o mayor.

El experimento para evaluar las parcelas con enmienda y sin enmienda, se está haciendo en macetas, con el suelo obtenido de la parcela con la que se está trabajando, las macetas están en una de las cámaras climáticas (frigoríficos regulados) que se riegan dos veces por semana y se toman medidas de crecimiento de plantas que van emergiendo.

También se midió la eco-toxicidad, haciendo ensayos con organismos vivos, se tienen cultivos de invertebrados edáficos para ser la evaluación. La eco-toxicidad se mide con un cultivo de una especie de gusano pequeño, y una especie de artrópodo insecto; para saber cómo está de toxico el suelo que se quiere trabajar (Fig. 15 y 16).



Fig. 15 y 16: Evaluación de eco-toxicidad del suelo con invertebrados edáficos, en el laboratorio de la UPCT, España, noviembre, 2023.

Estos ensayos son especies de invertebrados edáficos del centro de Europa, con clima más templado, suelos con más materia orgánica, con más humedad por eso se debe tener cuidado con las condiciones climáticas a los que se tienen.

Estas especies están en una cámara a 20 grados de temperatura constante.

Lo ideal sería tener especies propias de la zona (árida y semiárida) pero hoy en día no hay tanta entonces hay grupos que están trabajando para identificar especies de climas diferentes con los que se pueda trabajar.

Análisis en laboratorio con el grupo de investigación de ciencia del suelo y edafólogos: El componente del suelo es la base que rige todo, en el cual se hacen análisis: físicos, químicos, biológicos, medidas de actividades enzimáticas, ensayos biológicos, mineralización de carbono y nitrógeno, entre otros.

Se tomaron diversas muestras de suelo en campo, y se analizaron bajo simulaciones en cámaras climáticas para evaluar cómo pueden responder las zonas impactadas al cambio climático (Fig. 17 y 18).

Lo que se está haciendo dentro de las cámaras climáticas son simulaciones de cambio climático, por lo cual se puede regular el nivel de temperatura, el Co<sub>2</sub>, el fotoperiodo y la humedad. Se hicieron varias recolecciones de muestra de suelo en campo y se llevaron al laboratorio para poder evaluar las muestras bajo condiciones controladas, comparando la restauración en dos tipos de pantanos mineros, en cada pantano hay dos tipos de tratamiento uno es bajo vegetación arbórea la otra es bajo vegetación arbustiva.



Fig. 17 y 18: Evaluación del suelo dentro de cámaras climáticas, en el laboratorio de la UPCT, España, noviembre, 2023.

Dentro de cada tratamiento se tienen cinco parcelas, la parcela restaurada con hoja de pino (RP), y otra sin hoja de pino (RNP), la parcela no colonizada (CNP) y la parcela colonizada (CNP) y la parcela testigo.

El suelo tiene que estar a una humedad constante en primavera se tiene al 40% de la capacidad de retención hídrica y en verano el 30% se adiciona agua en base a la diferencia de peso que ha perdido. En las cámaras se tienen los dos ambientes simulados. Evaluar como los pantanos el restaurado y el colonizado van a responder frente al cambio climático.

Primero se tamizan las muestras recolectadas se pesa un pequeño porcentaje de la muestra y se pone durante un par de días en la estufa para que se seque y se vuelve a pesar, por la diferencia de peso del agua que ha perdido obtenemos el porcentaje de humedad, la demás muestra se pone en refrigeración para que no pierda la humedad (Fig. 19). Se hicieron dos réplicas de la humedad, esto se hace porque la humedad es un poco variable, para tenerlo lo más exacto posible es por lo que se hacen las dos réplicas. Se mide pH con el electrodo ya calibrado y con un conductímetro se mide la conductividad eléctrica. Se pesa un porcentaje de cada una de las muestras que se tiene en refrigeración. Para hacer la extracción de amonio se utiliza cloruro potásico, que tiene una fuerza iónica similar a la del amonio y nitrato, en el caso para el fosfato se utiliza el bicarbonato sódico.



Fig. 19: Muestras de suelo tamizada en el laboratorio de la UPCT, España, noviembre, 2023.



Fig. 20 y 21: Extracción muestras de suelo en el laboratorio de la UPCT, España, noviembre, 2023.

Para hacer la extracción. Se pesa el suelo y se agrega una cantidad determinada de carbonato sódico (tratante) para hacer la extracción (Fig. 20 y 21).

Una vez que se tiene la extracción se filtra la muestra con una jeringa para evitar lo que está en suspensión, en este caso se pone un embudo se coloca papel de filtro que tiene el mismo poro que la jeringa, en el papel filtro se coloca carbón activo en polvo, porque el porcentaje a medir de fosfato tiene que estar lo más rebajado posible, se mide el cambio de color que se produce; el fosfato tiene un cambio de color, para que sea concreto se necesita que la muestra esté limpia, no puede tener partículas en suspensión (Fig. 22).

Lo que se hace con el carbón activo es quitar todas las partículas que hay en suspensión y deja la muestra transparente. A esa muestra se le añade un reactivo para poder medir el espectrofotómetro con longitud de onda determinada, para medir la concentración de cada una de las muestras (Fig. 23 y 24).



Fig. 22: Filtración de muestra en el laboratorio de la UPCT, España, noviembre, 2023.

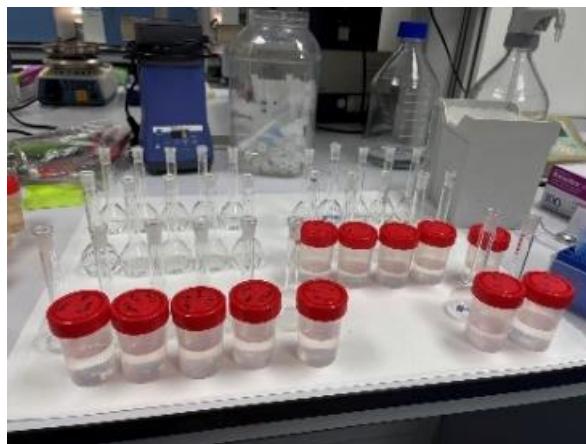


Fig. 23y 24: Muestras listas para evaluación en espectrofotómetro en el laboratorio de la UPCT, España, noviembre, 2023.

## RESULTADOS

Ambas estancias están comprometidas con el cuidado y protección de los recursos naturales. Aunque el tiempo de colaboración con estos proyectos fue corto se obtuvo una visión muy amplia de todo lo que hacen; hay actividades que son más prácticas, como las prácticas de restauración y manejo ambiental en campo, pero también hay un componente muy fuerte de análisis de laboratorio que es lo que se utiliza para ver si lo que se hace en campo funciona.

Se comprobó el efecto de la vegetación sobre la remediación de los metales, y como resultado se obtuvo que las técnicas de manejo ambiental son un medio eficaz para contrarrestar el daño hacia los recursos naturales, ya sea que se den de manera natural (por disturbios o perturbación) o de manera intencional (por prácticas causado por el ser humano).



*Fig. 24: evaluación en la parcela donde se aplicó la enmienda orgánica, en la Unión, Murcia, España, noviembre, 2023.*

## **CONCLUSIONES**

Las zonas áridas son ecosistemas frágiles y vulnerables a la degradación, la desertificación y al cambio climático. Las técnicas de manejo y restauración son vitales para enfrentar estos desafíos ambientales y socioeconómicos de las zonas áridas, ya que son adecuadas, sostenibles y vitales para la reconstrucción de la topografía, la cobertura vegetal, rehabilitación integral del paisaje afectado por la minería y la restauración de los procesos ecológicos esenciales.

La restauración con vegetación arbórea y arbustiva, juegan un papel clave en la conservación de los recursos naturales, así como en la provisión de bienes y servicios ambientales para el sustento de las comunidades locales.

La experiencia obtenida en el intercambio académico proporciona nuevos conocimientos en temas de restauración y conservación ambiental, aumentó el nivel de conciencia ante las actividades que provoca serias amenazas al medio ambiente. Nuestro mayor reto es aprender a crecer, mientras sostenemos lo que nos sostiene, a través de nuestros conocimientos y acciones hacia los recursos naturales.

## REFERENCIAS

- CONANP. (2023). Las áreas naturales protegidas, respuestas naturales frente al cambio climático.
- CONABIO. (2023). Alineaneación para la conservación y restauración de la biodiversidad de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. Sistema Nacional de Información para la Restauración Ambiental.
- CONAFOR. (2021). Candelilla, un valioso recurso natural no maderable. México
- Dudley, S. (2010). Where now for protected areas? Setting the stage for the 2014 World Parks Congress.
- ETSIA. (2021). Aplicación de técnicas de Fitomanejo para la restauración Ambiental de depósitos de Residuos mineros metalíferos en zonas semiáridas, Universidad Politecnica de Cartagena, España. Obtenido de <https://agronomos.upct.es/> <https://fiambres.es/proyecto/> <http://suelos.upct.es/es/node/227>
- IISD. (2020). Guidance for governments: environmental management and mining governance .International Institute for Sustainable Development. V2.
- INIFAP. (2022). Plantaciones forestales comerciales de candelilla. México.
- Keenleyside, K. Dudley,N. Cairns, S. Hall, C y Stolton,S. (2010). Restauración Ecológica para Áreas Protegidas.
- Roldán, F. L. (2020). Restauración ecológica: qué es, tipos y ejemplos.
- SCT. (2021). Manual de revegetación y reforestación en la infraestructura carretera. Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. México.
- UICN. (2014). Restauración Ecológica Principios: directrices y buenas prácticas.
- Vanegas, L. M. (2016). Manual de mejores prácticas de restauración de ecosistemasdegradados, utilizando para reforestación solo especies nativas en zonas prioritarias.Informe final dentro del proyecto: GEF 00089333. México.

## ANEXOS

Fotos tomadas en la estancia, durante prácticas en campo en Maderas del Carmen, Coahuila, México; y en la unión, Murcia, España.



