

GUÍA DE PRÁCTICAS DE RESTAURACIÓN PARA ECOSISTEMAS COSTEROS

^{1*}Patricia Guadarrama, ¹Daniel Arceo Carranza,
²José Ramos-Zapata, ³Cristina Garza,
¹Laura Vidal



- ¹ Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación, Sisal, Facultad de Ciencias, UNAM. Yucatán, México *pguadarrama@ciencias.unam.mx
² Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán, Yucatán, México
³ Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Hermosillo, Sonora



UMDI SISAL
Facultad de Ciencias
UNAM



Autores:

María Patricia Guadarrama Chávez

Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación, Sisal, Facultad de Ciencias, UNAM. Yucatán, México

Daniel Arceo Carranza

Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación, Sisal, Facultad de Ciencias, UNAM. Yucatán, México

José Alberto Ramos-Zapata

Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán, Yucatán, México

Cristina Garza Lagler

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Hermosillo, Son.

Laura Elena Vidal Hernández

Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación, Sisal, Facultad de Ciencias, UNAM. Yucatán, México

Diseño y edición:

Vianney López, Laboratorio Nacional de Resiliencia Costera

Karol Granados, Laboratorio Nacional de Resiliencia Costera

Imágenes:

Uriel Sokolowicz, Lesli C. Hernández Mendoza, Luz Ramírez José Ramos, Raúl Castillo, Laura Vidal, Juan Carlos Cabeza, Patricia Guadarrama

Cita:

Guadarrama P., Arceo D., Ramos-Zapata, J., Garza C., Vidal L., (2024), Guía de prácticas de restauración para ecosistemas costeros [PDF]

Licencia:

Guía de prácticas de restauración para ecosistemas costeros, Patricia Guadarrama Chávez, Daniel Arceo Carranza, José Ramos-Zapata, Cristina Garza Lagler, Laura Vidal Hernández, D.R.,©, 2024, UNAM -CC-BY-NC-SA.

Este documento se realizó con el apoyo del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) 1V3000123: Resiliencia de socioecosistemas costeros asociados al turismo ante COVID 19 y cambio climático, y al apoyo editorial del Laboratorio Nacional de Resiliencia Costera

Contraportada

Las costas constituyen lugares predilectos para el descanso y la recreación. En México, se han convertido en los principales destinos turísticos, por lo que hay una gran inversión en infraestructura hotelera que también ha promovido el crecimiento de ciudades costeras y, como consecuencia, la pérdida de cobertura vegetal y su fauna asociada, contaminación por basura, la llegada de especies invasoras y el deterioro estético de distintos ecosistemas. Esta Guía proporciona estrategias de recuperación de la vegetación a través de prácticas de restauración que pueden llevar a cabo los estudiantes, habitantes y usuarios de la zona costera, para contrarrestar el daño ambiental ocasionado.



Índice

Prólogo	6
Introducción	7
¿Por qué restaurar en la zona costera?	7
Biodiversidad	7
Servicios ecosistémicos	7
Aspectos legales	8
¿Qué implica restaurar la zona costera?	9
¿Cómo restaurar en la zona costera?	10
¿Cómo llevar a cabo la restauración?	11
1. Restauración pasiva	11
2. Restauración activa	12
¿Quién debe restaurar?	18
Ecosistemas de la zona costera del sureste de México	18
• Manglar	
• Petén	
• Vegetación de duna costera	
• Selva Baja caducifolia espinosa	
Restauración de un sistema costero	19
• Descripción del área	
• Objetivo	
• Actividades	
• Localización del área a restaurar	
• Descripción del área	
• Recomendaciones	
• Análisis geográfico	
• Análisis biótico	
• Caracterización ambiental	
• Caracterización socioeconómica	
• Materiales y equipo	
• Costo	
Evaluación del grado de alteración	22
• Objetivo	
• Actividades	
• Evaluar la factibilidad	
• Diagnóstico	
• Determinación del grado de alteración	
○ Nivel I	
○ Nivel II	
○ Nivel III	
• Toma de decisión	
• Costo	
Definición de las técnicas de restauración	24
• Objetivo	
• Actividades	
• Método de siembra directa	
• Método de transplante	
• Recomendaciones	



Establecimiento de un invernadero	26
● Objetivo ● Tipos de invernadero ○ Vivero temporal o volante ○ Vivero permanente ● Consideraciones al instalar un invernadero ● Costo	
Selección de especies y colecta	31
● Objetivo ● Actividades ● Selección de especies ● Localización de fuentes de propágulos ● Colecta de semillas y otros propágulos	
Germinación y mantenimiento de plántulas	33
● Manejo de Semillas y plántulas ● Objetivo ● Actividades ● Germinación ● Transplante de plántulas ● Mantenimiento de plántulas en invernadero ● Materiales y equipo ● Costo	
Establecimiento de parcelas de restauración	38
● Objetivo ● Actividades ● Eliminación de disturbios y factores de estrés ● Recomendaciones ● Manejo de plantas del invernadero al campo ● Distribución y densidad de plantas ● Fases de siembra ● Materiales y equipos ● Costo	
Evaluación del éxito de la restauración	42
● Objetivo ● Actividades ● Mantenimiento ● Evaluación periódica ● Monitoreo ● Indicadores de restauración ● Costo	
Pasos de restauración	45
Guía práctica de restauración para ecosistemas costeros	46
En Resumen	47
Citas Bibliográficas	47
Anexo A. Costo de la restauración	50



Prólogo

Las playas constituyen lugares favoritos para las personas, ya que evocan el descanso y la recreación. En México, desde mediados del siglo pasado, las playas están entre los destinos preferidos para el turismo y de la misma forma, en torno a éstas, se ha dado un crecimiento poblacional y en infraestructura representado no solo en viviendas, sino en hoteles y en edificaciones marítimas. Cabe señalar que el incremento poblacional en las costas también ha sido resultado del crecimiento de las actividades pesqueras, así como de la explotación petrolera de yacimientos costero-marinos. Este crecimiento tanto en población, como en construcción ha provocado como consecuencia un impacto ambiental evidente a través de la pérdida de cobertura vegetal y fauna, contaminación por basura, pero además, en el deterioro estético de algunas de las playas mexicanas.

La costa de Yucatán cuenta con 378 kilómetros de longitud en doce municipios, aunque sus asentamientos humanos se distribuyen solo en ocho de ellos, con una población de poco más de cien mil habitantes. Una de las principales características de esta zona es su variedad de comunidades vegetales como son: duna costera, matorral costero, selva baja caducifolia, manglar, peten, marisma, palmar, tasistal, selva baja inundable y vegetación que rodea a los cenotes ubicados en un sistema, que los expertos identifican como humedal, cuya principal característica es la presencia de agua dulce a lo largo del año.

Las comunidades vegetales antes mencionadas pueden presentar diferentes grados

de deterioro ocasionado por las actividades antropogénicas que no contemplan la conservación de la vegetación costera, por ejemplo: la construcción de infraestructura turística, muelles, puentes y carreteras, desarrollo urbano, producción agrícola, porcina y acuícola, así como actividades de extracción de sal. Aunado al impacto ecológico que estas intervenciones tienen sobre el ambiente en la zona costera, está la reducción de barreras naturales que permiten aminorar los impactos de diversos fenómenos hidrometeorológicos, y sus efectos, como inundaciones y erosión, así como de otros servicios ecosistémicos como la regulación del clima, la captación del agua y el secuestro de carbono. Servicios ecológicos cruciales para atenuar los efectos del cambio climático que incrementan la vulnerabilidad de los habitantes costeros.

El objetivo de este manual es proporcionar información a los estudiantes de las carreras de Ciencias Ambientales, Ecología y Manejo Costero; habitantes y usuarios de la zona costera sobre las estrategias de recuperación de la vegetación a través de prácticas de restauración, para contrarrestar el daño ocasionado por las construcciones y actividades humanas que han mermado los servicios ecosistémicos que nos protegen de las variaciones climáticas.

Introducción

¿Por qué restaurar en la zona costera?

La península de Yucatán tiene más de mil kilómetros cuadrados de costa arenosa de calizas, y en menor medida de costas rocosas, donde se establece una variedad importante de plantas. Por ejemplo, aledaño a la playa se puede observar vegetación de duna costera, incluyendo plantas herbáceas como *Salicornia bigelovii*, *Sesuvium portulacastrum* (verdo-laga de playa), *Bravaisia berlandieriana*, *Distichlis spicata*, *Batis maritima* y *Opuntia stricta* (nopal) y tierra adentro, en lo que se conoce como matorral costero, arbustos y árboles como *Caesalpinia vesicaria* y *Pithecellobium keyense* (Guadarrama et al., 2018). Bordeando los humedales costeros como ciénegas, lagunas y petenes se observan árboles de manglar, aunque es común que en el centro de muchos de los petenes se establezca vegetación de selva mediana subperennifolia como *Ficus cotinifolia*, *Manilkara zapota* (zapote) y la palma *Sabal yapa* (Chan et al., 2002; Guadarrama et al., 2018).

Biodiversidad

La vegetación está íntimamente ligada con la presencia de fauna, debido a que su conformación provee de los principales sitios de alimentación, reproducción y refugio a diversas especies de insectos, aves, anfibios, reptiles y mamíferos, al tiempo que éstos contribuyen a la reproducción y dispersión de las mismas plantas (Vester y Calmé, 2003; Huesca, 2017; Tuz, 2017). En los ecosis-

temas de la costa de Yucatán es común encontrar especies endémicas amenazadas, como la cactácea *Selenicereus dinkelaarii*, y protegidas amenazadas como las cuatro especies de mangle (*Avicenia germinans*, *Conocarpus erectus*, *Laguncularia racemosa* y *Rizophora mangle*) (Guadarrama et al., 2018). De la misma forma, se ubican ejemplos de fauna amenazada, incluyendo aves como la chara yucateca (*Cyanocorax yucatanis*), el carpintero yucateco (*Melanerpes pygmaeus*) y la matraca yucateca (*Campylorhynchus yucatanicus*) (Mackinnon 2013), peces como la sardinilla yucateca (*Fundulus persimilis*) y mamíferos como el jaguar (*Panthera onca*). Sirvan estos últimos como ejemplo de baja población ya que se estiman solo 2 000 ejemplares en toda la península, con bajas perspectivas de mantenimiento dada la destrucción de su hábitat y la cacería furtiva (Chávez y Zarza, 2009) por lo que es una de las regiones prioritarias para su conservación (AMMAC, WWF 2022).

Servicios ecosistémicos

La vegetación en la zona costera cumple, además, varias funciones importantes como la protección ante eventos naturales como los huracanes y ciclones, así como la captación de agua de lluvia y con ello, la preservación de los recursos hídricos. Las dunas, en particular, son zonas de reproducción de fauna residente como el cardenal rojo (*Cardinalis cardinales*) y endémica como el tapacamino huil (*Nyctiphrynus yucatanicus*) y el colibrí tijereta mexicano (*Doricha eliza*), así como el desove de tortugas mari-

nas (Cuevas *et al.*, 2010; Balam-Cetina *et al.*, 2011, MacKinnon 2013); los manglares son considerados sumideros de carbono, hábitat temporal o permanente de invertebrados y peces, zonas de anidación de aves acuáticas residentes y migratorias, así como vía de paso de fauna terrestre (Chávez y Zarza, 2009; Cortés-Ramírez *et al.*, 2012; May-Kú y Ardisson, 2012); las selvas bajas, tanto caducifolias como inundables capturan carbono, regulan el clima, promueven la conservación de suelo y son hábitat de flora y fauna endémica (Escobar *et al.*, 2008; Moreno-Casasola y Paradowska, 2009).

Los ecosistemas costeros, a nivel socioeconómico, son una fuente constante de productos alimenticios, medicinales, ornamentales y de combustible (leña). En los manglares se desarrollan especies de importancia pesquera comercial y de subsistencia, como el camarón (*Farfantepenaeus* sp), el caracol chivita (*Melongena corona bispinosa*) y peces como el sábalo (*Megalops*) y robalo (*Centropomus*); también son fuente de atracción turística relacionadas, principalmente, con el avistamiento de aves como el flamenco rosado (*Phoenicopterus ruber*) y diferentes especies de garzas como la rojiza (*Egretta rufescens*) y la espátula rosada (*Platalea ajaja*) (Rodríguez-Zúñiga *et al.*, 2013).

Culturalmente en la región ha habido un aprovechamiento de los recursos marítimos desde antes de la colonia, conocimiento que ha sido rescatado a partir de evidencias arqueológicas que indican que los mayas asentados en la zona costera dejaron de lado la agricultura, la caza y la recolección y se dedicaron a la pesca y el comercio. Su visión sobre la continuidad, reversibilidad e interconexiones con el universo implicaba el uso racional de los recursos, asimismo su patrón de asentamiento en la costa a través de pequeñas poblaciones permitió una explo-

tación moderada de los recursos naturales, a diferencia de lo que ocurre en la actualidad (Vargas-Pacheco, 1993).

Aspectos legales

En términos legales, la zona costera en México aún constituye materia de un rompecabezas de leyes y reglamentos que administran sus recursos naturales de forma fragmentada. Existen 14 leyes y siete regulaciones que tienen influencia en el manejo de tales recursos (Nava *et al.*, 2017), entre los que destacan la Constitución de los Estados Unidos Mexicanos, misma que define la propiedad nacional del territorio, tanto terrestre como marino, y establece su soberanía y jurisdicción; la Ley General de Bienes Nacionales junto con el Reglamento para el Uso y Aprovechamiento del Mar Territorial, Vías Navegables, Playas, Zona Federal Marítimo Terrestre definen tales zonas y sus usos; la Ley Federal del Mar determina varias zonas marítimas que forman parte del territorio nacional y donde la misma ejerce derechos de soberanía; mientras la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables administra el aprovechamiento de los recursos pesqueros y acuícolas; la Ley General de Vida Silvestre dispone sobre la conservación y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre y su hábitat y la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al ambiente determina sobre la preservación y restauración del equilibrio ecológico en cualquier ambiente del territorio nacional.

Simultáneamente en la península de Yucatán, los Programas estatales de ordenamiento territorial (PEOT) determinan la situación de los recursos básicos (agua, suelo y vegetación) y el Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio Costero del Estado

de Yucatán (POETCY) son las más importantes estrategias de planeación y gestión del territorio donde se ubican los ecosistemas costeros.

La conservación de las zonas costeras debe considerarse prioritaria, debido a que en la zona costera se encuentran ecosistemas con alta biodiversidad, prestan servicios ambientales, pueden servir de sitios turísticos si se manejan adecuadamente, además de proporcionar sustento a las familias que se encuentran en la zona.

¿Qué implica restaurar la zona costera?

La restauración ecológica es una intervención de los grupos humanos sobre los ecosistemas que han sido degradados, dañados, transformados o destruidos, para facilitar su recuperación (SER, 2002). Tiene por objetivo restablecer las características estructurales, fisonómicas y edáficas que presentaba la comunidad antes de dicho evento, o en caso de que no sea posible, llevarla a un estado saludable y vigoroso a través de la intervención humana (Bradshaw, 1997; van Andel y Grootjans, 2008). De esta

forma, se identifican y eliminan los factores adversos y se llevan a cabo las acciones necesarias que favorezcan la recuperación de la comunidad (Sánchez, 2005).

La restauración ecológica pretende alcanzar el estado de máxima madurez del ecosistema y que éste retorne a un estado previo al daño sufrido; sin embargo, no siempre puede lograrse, ya que existen limitaciones que pueden ser difíciles de soslayar. Esto ha llevado a diferentes autores a plantear que la definición arriba señalada es la restauración *strictu sensu*, y cuando se enfoca a detener la degradación y llevar al ecosistema hacia su sustentabilidad a largo plazo es restauración *latu sensu*. Igualmente, se han incluido los conceptos de recuperación y rehabilitación como el término que mejor explica las acciones encaminadas a lograr la recuperación total o parcial de ecosistemas que fueron degradados o destruidos en su totalidad por eventos antropogénicos o naturales, donde es importante considerar un aumento en la productividad con beneficios a los pobladores. Para los objetivos del presente documento emplearemos el término restauración.



¿Cómo restaurar en la zona costera?

El programa de restauración deberá ser definido de acuerdo con el daño que presente el área afectada en el contexto del paisaje, los recursos económicos y humanos con que se cuente y los requerimientos de las poblaciones aledañas, es decir, hay que tener pláticas con los pobladores para conocer sus expectativas e involucrarlos en las tareas que se llevarán a cabo. Así mismo, es necesario considerar tanto a las instituciones como a las autoridades locales.

Antes de comenzar un programa de restauración, es necesario tomar en cuenta lo siguiente:

- 1) Identificar y reconocer el sitio con daño ambiental aparente. Es altamente recomendable llevar a cabo la verificación en campo, marcar las áreas de interés y conocer sus dimensiones, así como evaluar variables biológicas, sociales y físicas (Tabla 1). De igual manera, se puede apoyar esta actividad mediante el uso de imágenes satelitales (Google Earth disponibles en internet <https://www.google.com/intl/es-419/earth/>)
- 2) Llevar a cabo visitas al/los poblados aledaños. Entrevistar a pobladores o usuarios para conocer las condiciones y características que presentaba el área anterior al daño, las causas del disturbio, las problemáticas sociales asociadas a tal daño, así como la percepción de la población y los beneficios posibles que la población local puede tener.
- 3) Identificar un ecosistema de referencia o área “tipo” que puede ser un ecosistema

similar menos alterado, en donde puedan identificarse los rasgos funcionales y estructurales que se reconstruirán. Es decir: ¿hay manchones con vegetación nativa? ¿hay sustrato o sobresale la roca madre?, en zonas costeras ¿hay dunas de arena?, en áreas de manglar ¿hay flujos de agua?

- 4) Estimar el tiempo que llevará el proceso de restauración. Considerar si es necesario realizar acciones previas como la rehabilitación de canales en humedales, o un proceso de remediación si hubiera contaminación, por ejemplo, por hidrocarburos. Evaluar el tiempo de crecimiento de las especies vegetales de interés, su época de fructificación, tiempos de germinación, etc.
- 5) Considerar los recursos económicos y humanos necesarios para concluir con éxito el programa de restauración.
- 6) Calendarizar las actividades.



Tabla 1. Evaluación cualitativa biológica, ambiental y social del área de la restauración.

		Zona alterada				Zona sin alteración			
		No presenta	Si presenta	Tipo	Número	No presenta	Si presenta	Tipo	Número
Análisis biótico	Nidos de aves								
	Aves								
	Madrigueras								
	Reptiles								
	Mamíferos								
	Vegetación nativa								
	Malezas invasoras								
Caracterización socio-económica	Sistemas de producción								
	Desagües								
	Desarrollo industrial/ urbano								
	Modificación de afluentes								
	Contaminación								
Factores climáticos	Huracanes								
	Terremotos								
	Inundaciones								
	Deslizamientos								
Tipo de suelo	Suelo rocoso								
	Suelo arenoso								
	Montes o pendientes								
	Otros								

¿Cómo llevar a cabo la restauración?

Hay dos formas de llevar a cabo las prácticas de restauración, de forma pasiva o de forma activa:

1) Restauración pasiva. Esta práctica de restauración tiene por objetivo permitir que ocurran los procesos de sucesión y colonización de las plantas de forma natural, para ello es necesario:

a) Identificar los principales factores de estrés o alteración: por ejemplo pastoreo por ganado, compactación por vehículos o personas que transitan de forma constante por un área y han eliminado completamente la vegetación, construcción de carreteras ó contaminación de un área que es usada como tiradero clandestino de basura.

- b) Eliminar el(los) factor(es) de estrés o alteración: puede ser con la colocación de una cerca que evite la entrada de ganado, ó la limpieza de un basurero y su bardeo. En los manglares y en las dunas pueden ser factibles la construcción de pasarelas o puentes, de esa forma se evita la actividad dañina y se permite que la colonización y el proceso sucesional natural recuperen la biodiversidad y estructura del ecosistema.
- c) Distinguir los factores que actúan como barreras naturales para que se lleve a cabo el proceso de regeneración, p.ej. la ausencia de fuentes de semillas, de dispersores, de árboles o arbustos importantes en el ecosistema. Lo cual puede revertirse con la colocación de perchas artificiales, de cercas vivas, o de trampas de semillas que actúan como facilitadores de la regeneración, refugios artificiales, reintroducción de ciertas especies clave , entre otras.

Ventajas:

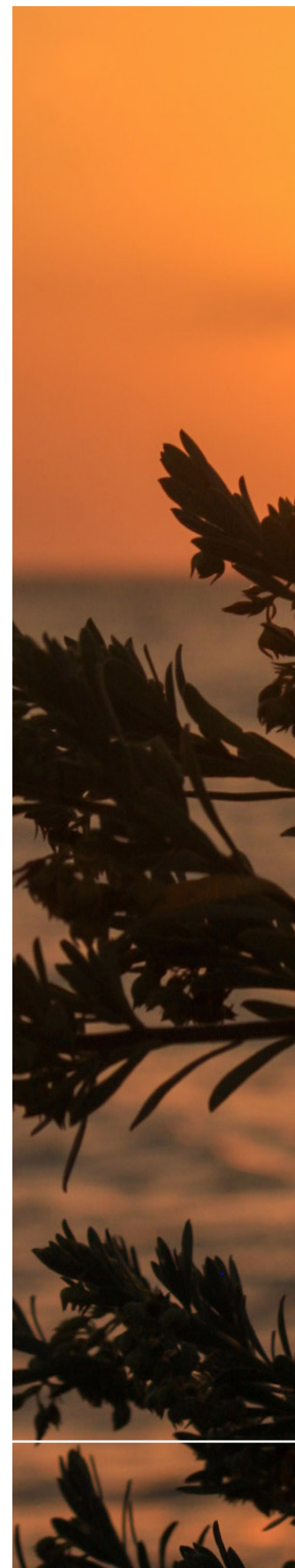
- Los recursos humanos y económicos que se requieren son bajos y las acciones a realizar pocas y puntuales (por ejemplo, sólo la construcción de una cerca, la limpieza y eliminación de la basura, la construcción de pasarelas).
- Es una práctica exitosa si se lleva a cabo en áreas poco accesibles.

Desventajas:

- El área puede ser susceptible a la invasión de especies exóticas o malezas que interfieran con el proceso sucesional, por lo que es necesario un monitoreo y acciones preventivas y correctivas.
- Es necesario llevar a cabo acciones de mantenimiento de las estructuras instaladas, ya sea cercas, pasarelas, puentes, etc.
- La compactación de suelo puede afectar el establecimiento exitoso de especies.
- La regeneración natural puede requerir mucho tiempo, la ruta que tome la regeneración puede ser incierta y los disturbios posteriores que no se controlen pueden afectarla.

2) Restauración activa. Se conoce también como regeneración natural asistida, ello implica llevar a cabo acciones que permitan acelerar el recubrimiento del área con especies nativas, así como redireccionar la sucesión ecológica, permitiendo así el establecimiento de la vegetación del ecosistema que nos interesa en el menor tiempo posible. Para ello es necesario:

- a) Identificar los principales factores de estrés o alteración que inhiben la regeneración. Por ejemplo, quemadas constantes en selvas bajas,





bloqueo del flujo hídrico en manglares, aislamiento de un ecosistema perturbado que no permite la llegada de semillas de ecosistemas naturales similares, etc.

b) Llevar a cabo acciones que permitan eliminar, en la medida de lo posible, los factores que causan el estrés:

i) Erradicar especies invasoras que compiten con las especies nativas y actúan como barreras bióticas. Antes de ello, se deben ubicar plántulas que formen parte del ecosistema en proceso de regeneración, así como tocones que puedan rebrotar.

ii) Introducir especies clave, ejemplo de ello son *Ipomoea pes-caprae* y *Canavalia rosea* formadoras de dunas costeras en Yucatán, *Batis maritima* y *Fimbristylis spadicea* formadoras de suelo en los humedales costeros.

iii) Eliminar competencia. En selvas y petenes puede observarse un bajo número de plántulas del estrato arbóreo, por lo que es necesaria la apertura de dosel que permita la entrada de luz para la germinación de semillas y el crecimiento de plántulas. En el caso del estrato herbáceo y/o arbustivo, es necesario diferenciar especies típicas de la comunidad natural y las malezas, estas últimas, como los pastos o helechos en colonias monoespecíficas deben ser eliminados. Asimismo, es necesario identificar si hay especies tan abundantes o dominantes que no permiten el establecimiento o crecimiento de otras especies, como ocurre con algunos pastos, enredaderas y arbustos, y de ser así, extraerlas de tal manera que sea posible la llegada de individuos de diferentes especies.

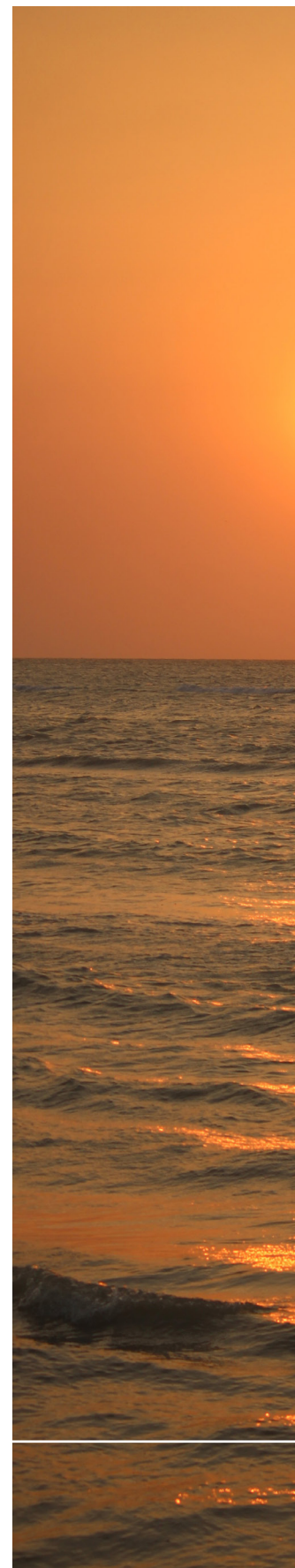
c) Aplicar técnicas que permitan la reintegración del ecosistema:

i) **Métodos que aceleran el proceso sucesional.** Técnicas de enriquecimiento de especies en áreas con bajos niveles de degradación:

- Colecta de plántulas en ecosistemas conservados cercanos y trasplante al sitio perturbado.
- Siembra directa de semillas, que puede ser exitosa si se le añade alguna protección física como la peletización.
- Instalación de perchas artificiales que permitan la llegada de dispersores de semillas.
- Formación de núcleos de diversidad por técnicas de nucleación como la formación de refugios artificiales para fauna.

ii) **Métodos de implantación.** Reintroducción de especies en áreas fuertemente degradadas, para lo cual se requiere contar con un invernadero para la germinación y crecimiento de plántulas previo a la introducción a campo, dichas especies deben ser nativas de la región:

- **Enfoque ecológico.** El diseño de implantación o reforestación se basa en la dinámica sucesional de ecosistemas similares, es decir el proceso que comienza con el crecimiento de especies pioneras que modifican las condiciones del suelo, dan sombra y ayudan a la formación de materia orgánica y deposición de nutrientes, continúa con el establecimiento de especies tardías, es decir arbustos y árboles nativos. Para ello se introducen primero especies pioneras de rápido crecimiento como plantas rastreras, por ejemplo: *Cakile edentula*, *Canavalia rosea* y *Sesuvium portulacastrum* en áreas de dunas, y *Batis maritima* en cuerpos de agua salobre, como los manglares. Hay que resaltar que estas especies modifican el ambiente dando sombra, manteniendo la humedad, la temperatura y acumulando sustrato lo que permite la llegada de especies de los siguientes estadios sucesionales, esto impide el desarrollo de pastos, helechos y malezas, disminuyendo el riesgo de incendios.
- **Enfoque fitogeográfico-fitosociológico.** El diseño de la reforestación requiere de identificar los tipos de vegetación de la localidad, así como su riqueza, valor de importancia, composición y distribución. Con estos datos se procede a obtener las semillas, germinarlas e implantar las diferentes especies según la distribución natural que presentan. Por ejemplo, en las dunas costeras hay una zonación muy marcada entre la zona cercana a la playa donde las especies son rastreras y herbáceas principalmente y la zona de matorral que está más alejada de la playa y está dominada por especies arbustivas y arbóreas. Mientras que en el caso de zonas de manglar es común encontrar mangle rojo (*Rhizophora mangle*) en zonas muy salinas y con pocos nutrientes y las especies de mangle negro (*Avicennia germinans*) y blanco (*Laguncularia racemosa*) conforme la salinidad disminuye.
- **Enfoque funcional.** Se requiere conocer los atributos funcionales de las especies del ecosistema sin perturbar, como la producción y calidad de la hojarasca y las asociaciones de las plantas con microorganismos, como las que se dan entre las raíces de las





especies de la Familia Fabacea conocidas como leguminosas y las bacterias fijadoras del nitrógeno atmosférico lo que enriquece el suelo y contribuye a la salud de las plantas. Dentro de las especies de leguminosas que podemos considerar en la reforestación está *Canavalia rosea* en dunas costeras, *Piscidia piscipula* en selvas bajas espinosa e inundable o *Haematoxylum campechianum* que además de estar en las selvas se puede encontrar en petenes.

- **Enfoque utilitario.** La implantación se realiza incluyendo especies que posean un valor no solo funcional, sino también productivo, comercial y socio-cultural. Para ello es necesario realizar talleres con los pobladores y así conocer sus intereses e inquietudes, así como las aptitudes del sitio.

Ventajas:

- Es una práctica exitosa si se lleva a cabo una buena planeación.
- Presenta buenos resultados si hubo un buen manejo a nivel invernadero.

Desventajas:

- Los recursos humanos y económicos que se requieren son altos.
- Es necesario conocer las funciones ecológicas de las especies que serán plantadas.
- Los resultados pueden ser perceptibles después de varios años si son comunidades arbóreas como las selvas o los manglares, o de alrededor de un año para las dunas costeras.
- Es necesario realizar actividades de extracción de malezas de forma periódica como el muul o zacatillo (*Cenchrus echinatus*), así como de especies invasoras como la *Casuarina* o los cocoteros.
- La resiembra es necesaria por lo que el invernadero deberá estar activo en las diferentes fases de la restauración.

La Tabla 2 resume lo anteriormente mencionado.

Tabla 2. Pasos por seguir en las prácticas de restauración ecológica, costos anuales (precios de 2021).

<i>Pasos por seguir</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Actividades</i>	<i>Costo</i>
Descripción	Identificar y describir el sitio con daño ambiental aparente	a) Localización del área b) Descripción de la zona c) Análisis a través de imágenes de satélite d) Verificación en campo e) Caracterización socioeconómica de comunidades humanas asociadas a el deterioro del sitio	-Insumos (libreta, grabadora, GPS, mapas) DESDE: \$35,000 MN -Pago de guías \$300 MN día/persona TOTAL DESDE: \$36,500 MN
Grado de alteración	Evaluar el medio ambiente de la zona a restaurar para conocer el grado de daño aparente	a) Diagnóstico b) Factibilidad de actividades de restauración c) Determinación del grado de alteración	-Asesoría de expertos y análisis de información DESDE: \$10,000 MN mes/persona TOTAL DESDE: \$120,000 año/persona
Toma de decisión	Tomar la decisión sobre realizar las prácticas de restauración	☒ SI Realizar la restauración ☐ NO Es necesario restaurar	Sin costo
Definición de las técnicas de restauración	Identificar el tipo de restauración y las técnicas a emplear	a) Restauración pasiva o activa b) Método de siembra directa c) Método de trasplante	Sin costo
Establecimiento de un invernadero	Conocer los tipos de viveros e invernaderos	a) Vivero temporal o volante b) Invernadero permanente	-Invernadero de \$6,041 a \$89,700 MN -Insumos: macetas, mangueras, sustratos, etc. TOTAL DESDE: \$133,416 MN
Actividades en campo			
Selección de especies y colecta de semillas	Identificar las especies más adecuadas para llevar a cabo la restauración y los sitios de colecta de semillas y de otros propágulos	c) Selección de especies d) Localización de fuentes de propágulos e) Colecta de semillas y otros propágulos	-Insumos: bolsas, tijeras de podar, etiquetas, etc. DESDE: \$50,000 MN -Pago a colectores para la colecta de semillas Pago día/colector desde \$200 MN TOTAL DESDE \$56,000 MN

Continuación Tabla 2

<i>Pasos por seguir</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Actividades</i>	<i>Costo</i>
Actividades en invernadero			
Germinación y mantenimiento de plántulas	Identificar las técnicas de germinación y mantenimiento de plántulas	a) Germinación b) Trasplante de plántulas c) Mantenimiento de plántulas	-Pago a personal encargado del cuidado de semillas y plántulas y mantenimiento DESDE: \$200 día/persona -Cultivo durante dos ciclos al año en un invernadero de 210m ²) DESDE: \$3,200 mensuales/persona TOTAL \$38.400 MN (anual)
Actividades en el sitio a restaurar			
Establecimiento de parcelas de restauración	Diseñar un plan de siembra de plantas en el sitio a restaurar, considerando las características del área, presencia de especies invasoras, la estructura y composición del área que sirve como base a la restauración y evaluar el proceso de transporte y trasplante de plantas	a) Eliminación de disturbios y factores de estrés b) Manejo de plantas d) Distribución y densidad de plantas e) Siembra	-Insumos: palas, mangueras, sustratos, etc. DESDE: \$80,000 -Costos de la preparación del terreno DESDE: \$200 MN día/persona -Pago a personal para la siembra y el cuidado de plántulas DESDE: \$200 MN día/persona TOTAL DESDE: \$91,100 MN
Seguimiento de la restauración	Diseñar una estrategia de seguimiento y mantenimiento del área a restaurar	a) Mantenimiento b) Evaluación periódica c) Monitoreo	-Insumos: cinta, vernier, etc. DESDE: \$10,000 -Pago a personal encargado del cuidado y monitoreo de plántulas. DESDE: \$200 MN día/persona -Mantenimiento por 2 años DESDE: \$28,800 MN año/persona TOTAL DESDE: \$39,000 MN
Total aproximado			\$514,416 MN

¿Quién debe restaurar?

Este manual está dirigido a la sociedad civil que habita en las zonas costeras del sureste y que ha observado deterioro ambiental por actividades naturales y humanas, así como a profesores y estudiantes interesados en conocer el proceso de restauración ecológica.

Es importante puntualizar que las prácticas de restauración deben ser realizadas por diferentes miembros de la sociedad, considerando sus intereses e involucrando a las autoridades locales y estatales, sin olvidar la orientación que los científicos puedan dar sobre el estatus del ecosistema, su diversidad, sus procesos sucesionales y los factores ambientales que conforman el ecosistema y que es necesario conocer para lograr unas prácticas de restauración exitosas.

Ecosistemas de la zona costera del sureste de México

La zona costera se define como el área de confluencia entre el océano y el continente, en ella se encuentran una gran diversidad de ecosistemas dentro de los que se pueden enumerar los humedales costeros que incluyen a los arrecifes de coral, pastos marinos, manglares y petenes, y a los ecosistemas costeros terrestres donde se encuentran la vegetación de duna costera, selva baja inundable y selva baja caducifolia y espinosa, entre los más conspicuos. A continuación, se describen algunos de ellos:

Manglar. Este tipo de vegetación se extiende a lo largo del litoral yucateco en los bordes de las lagunas costeras y ciénegas, el suelo en el que se localiza pasa la mayor parte del año inundado, en condiciones variables

de salinidad, lo cual se relaciona con la temporada climática. La estructura (forma) de los manglares varía a lo largo de la costa, presentándose de forma achaparrada o en árboles con mayor altura, estos se conocen como manglar de franja. Se pueden encontrar las cuatro especies de mangle en la costa yucateca: *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Avicennia germinans* (mangle negro), *Laguncularia racemosa* (mangle blanco) y *Conocarpus erectus* (botoncillo).

La forma de las raíces de *Rhizophora mangle* le permite subsistir en condiciones de inundación y también asirse de una manera eficiente al substrato, lo que le proporciona estabilidad y resistencia contra los vientos fuertes que se presentan en época de nortes y huracanes, siendo esta comunidad vegetal una barrera natural protectora contra los mismos (Flores *et al.*, 2010; Zaldivar *et al.*, 2010).

Peten. Es una asociación vegetal que se encuentra inmersa en los humedales de la costa yucateca, se caracteriza por poseer elementos vegetales tanto del manglar como de la selva, algunas herbáceas y palmeras. Esta asociación es típica de la península de Yucatán, se distribuye a lo largo de los manglares del litoral y la presencia de elementos de selva se debe a que se encuentran surgimientos de agua dulce en estas zonas, la cual puede o no ser superficial (laguna o cenote), lo que crea un ambiente diferente en medio de las ciénegas, por lo que se puede observar como “islas de vegetación” en medio de zonas con vegetación baja y resistente a condiciones de salinidad elevada (Flores *et al.*, 2010; Tun Dzul *et al.*, 2010).

Vegetación de duna costera. Se encuentra en la mayor parte del litoral yucateco, está

conformado por especies vegetales que pueden soportar ambientes estresantes, por lo general se distribuye en una delgada franja de no más de 300 metros de ancho, se encuentra acotada por un lado por el mar y por el otro por lagunas costeras o ciénegas. El substrato sobre el que se desarrollan está formado por restos molidos por la acción de la marea y el viento de conchas de moluscos y la principal materia orgánica proviene de lo que arrastra la marea o bien de la hojarasca de las plantas previamente establecidas. Se pueden identificar dos zonas principales en este tipo de vegetación: 1) La zona de pioneras, es la zona más cercana al mar y la mayoría de las plantas presentan un crecimiento rastrero (decumbente), resisten la aspersión salina y el enterramiento constante. 2) La zona de matorral que se encuentra más alejada del mar, en ella dominan especies de arbustos y pequeños árboles cuya altura máxima puede llegar a los 6 m, ya que alcanzan su mayor desarrollo pues no se encuentran en las condiciones presentes en la zona de pioneras, el suelo en esta zona posee mayor materia orgánica (Durán *et al.*, 2010; Flores *et al.*, 2010).

Selva baja caducifolia espinosa. Se distribuye de manera paralela a la costa, en particular en la parte norte del litoral yucateco. El suelo en este tipo de vegetación suele ser escaso, se encuentra una gran cantidad de afloramiento rocoso, lo que limita el desarrollo de las plantas, la altura promedio de las plantas es de 6 m, la mayoría de las cuales pierden sus hojas en la época seca. Las especies vegetales dominantes en este tipo de vegetación pertenecen a las familias Fabaceae (leguminosas) y Cactaceae (cactus), tanto en el estrato arbóreo como en el herbáceo, entre las que se encuentran muchas endémicas (Flores *et al.*, 2010).

Restauración de un sistema costero

Pasos por seguir (Tabla 2):

I. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA

Es importante conocer y caracterizar la o las zonas a restaurar; esto implica conocer ¿qué hay?, ¿donde está? y ¿en qué abundancia está? La zona costera yucateca cuenta con alrededor de 200 especies vegetales (Guadarrama *et al.*, 2018) y su supervivencia está relacionada con el ecosistema al que pertenecen. Es decir, las dunas, que continúan después de la playa, cuentan con arbustos bajos y aislados como *Suriana marítima* y *Tournefortia gnaphalodes*; pero la selva baja inundable se caracteriza por sus cactáceas, agaváceas, leguminosas y palmas espinosas. También se puede observar el manglar constituido por especies arbóreas principalmente. El mangle rojo (*Rhizophora mangle*) que crece en los bordes del manglar, seguida del mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y en las planicies lodosas inundables el mangle negro (*Avicennia germinans*) (Chan *et al.*, 2002). Y en las inmediaciones de cuerpos de agua dulce los petenes que pueden estar constituidos de especies de manglar o incluir especies de selva mediana como la palma *Sabal yapa* y el zapote *Manilkara zapota*.

De lo anterior resalta la importancia de la observación y descripción y posterior análisis dependerá el éxito de la estrategia de restauración. Es decir, delimitar el área en que se desarrollarán estas prácticas e identificar el tipo de vegetación, fauna y elementos ambientales que la revisten, así como el o los usos que los humanos llevan a cabo en el lugar o con sus elementos como la extracción de maderas u otras actividades económicas (agricultura, ganadería o turismo). La delimitación del sitio debe realizarse

incluyendo aquellos límites donde existen procesos de intercambio (de materia, energía o actividades humanas) relacionados con la presencia y subsistencia del área que queremos preservar. Es decir, de donde llega el agua, los nutrientes, las semillas, los contaminantes, las fuentes de impacto, etc. que hacen posible el mantenimiento del área de interés. Así en algunos casos, la delimitación podrá incluir un cordón de dunas con su zona sumergida somera que alimenta de sedimento y la zona aledaña de matorral costero, mientras en otros casos incluirá la zona de mangle con sus manantiales o descargas de agua dulce y entradas de agua salada, etc. De esta forma, se tendrá noción del esfuerzo y horas de trabajo, materiales y recursos económicos requeridos. Esto permite determinar la problemática ambiental y social que acontece y, en la medida de su precisión, diseñar una estrategia específica para atacarla.

Objetivo

Identificar y describir el sitio con daño ambiental aparente.

Actividades

LOCALIZACIÓN DEL ÁREA A RESTAURAR: es necesario ubicar el área y sus límites para generar una descripción del sitio de manera detallada, tomando en cuenta las formas de las pendientes, flujos de agua, entradas de caminos, carreteras, etc. Se recomienda la búsqueda de información en instituciones como la SEMARNAT en su área de ZOFEMAT o las delegaciones municipales o estatales en donde se ubica la zona a restaurar.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA: para identificar el área que se trabajará, es necesario recorrer la zona de interés y describir sus características biológicas y antrópicas (tipo de vege-

tación, casas, edificios, carreteras, palapas, nidos o cualquier otro indicio de hábitat, etc.). De igual forma se pueden realizar entrevistas con los habitantes o usuarios más antiguos o con un mayor apego a la zona a restaurar.

RECOMENDACIONES:

- 1) Realizar recorridos que abarquen toda el área de estudio e identificar su grado de conservación y las fuentes de impacto. Es necesario reconocer los ecosistemas presentes y el tipo o tipos de variedades vegetales, así como cuantificar la fauna silvestre.
- 2) Tomar nota de los elementos propios del medio ambiente: temporadas de temperaturas altas y bajas, de lluvias y días secos; características del suelo, su elevación (desnivel), etc. De esto dependerá el éxito de la estrategia a emplear para la restauración.
- 3) Realizar un listado de todas aquellas actividades que se llevan a cabo directa o indirectamente en la zona a restaurar. Estas pueden agruparse por tipo (económicas, recreativas, culturales, etc.) e identificar cuales inciden directa o indirectamente sobre el ecosistema. Por ejemplo, la presencia de una colonia de pescadores que coloca sus embarcaciones sobre la playa representa una afectación directa a la zona de plantas pioneras rastreras de la duna costera, mientras que el arribo de basura desde el mar puede considerarse una causa indirecta que afectaría la germinación y la sobrevivencia de especies.
- 4) Definir la extensión que abarcarán las prácticas de restauración. Los criterios para decidir la extensión serán determinados con base al paisaje, es decir, el ecosistema de manglar, la isla de barrera y duna costera aledaña, un peten, etc., así

mismo debe considerarse la distancia al poblado y las vías de acceso. Asimismo, la delimitación también estará en función de cuántas personas participarán y de los recursos con los que cuenten.

Si bien, la identificación del área parece ser una labor de reconocimiento laborioso y complicado de registrar, se recomienda abordarlo paulatinamente, siguiendo los pasos que se describen a continuación. Una forma de trabajar más eficientemente es destinando un grupo de personas con dos a cinco integrantes, para abordar cada una de las labores, destinando para ello, un responsable por equipo cuya labor de dirección sea coordinada con el del resto de los responsables para poder conjuntar la información recabada en un solo documento o archivo en donde se incluyan además de anotaciones, diseños, mapas e imágenes (fotografías).

En algunos casos, el INEGI cuenta con mapas que pueden ofrecer información demográfica de interés, por ejemplo, en el caso de estar interesados en conocer el cambio de uso de suelo se puede ingresar a la liga de INEGI.

ANÁLISIS GEOGRÁFICO: la zonificación del área a restaurar, es una técnica fundamental que se efectúa previo a la caracterización del área afectada y debe realizarse cuando ésta presenta dimensiones mayores a una hectárea. Es decir, dividir el área geográfica en sectores heterogéneos según determinados criterios como pueden ser la vegetación, los cuerpos de agua, etc. (por ejemplo: pastizales, zona arbolada, laguna). En caso de áreas de dimensiones menores, no es necesario zonificar.

ANÁLISIS BIÓTICO: es importante determinar y cuantificar los organismos acuáticos y terrestres, vegetales y animales presentes en el área a restaurar y en sitios aledaños, mismos que serán considerados como referencia o control, es decir, servirán para comparar y verificar la efectividad de las estrategias empleadas en el proceso de restauración. Para ello entonces, es importante llevar una relación mediante observaciones y pláticas con los habitantes y/o usuarios, hasta conformar un listado de fauna y vegetación presentes y ausentes en la zona a restaurar.

CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL: una caracterización permite identificar elementos en la zona como el clima y sus ciclos, la precipitación, el tipo de vegetación, especies de fauna, las corrientes de viento y agua, el relieve y tipo de suelo. De esta caracterización depende el éxito de la restauración ya que, por ejemplo, si se identifica un sitio cuya humedad es mínima, se estará trabajando en un área frágil con un deterioro más rápido, que podría dificultar la restauración debido a que la falta de agua (déficit hídrico) hará más lenta la regeneración.

Cabe señalar que es importante reconocer el tipo de suelo, ya que está compuesto de materiales minerales y orgánicos y cuenta con fluctuaciones espaciales, microorganismos y plantas con las que tiene una relación muy estrecha a través de sus raíces. Su manejo adecuado conlleva el aumento de la productividad vegetal, la conservación de la biodiversidad y de cuerpos de agua, la estabilidad del clima, y con ello la disminución de la contaminación.

CARACTERIZACIÓN SOCIOECONÓMICA: una vez delimitada la zona e identificadas sus características ambientales, es importante señalar la interacción que guarda con las personas. Estas pueden ser habitantes o

visitantes y desempeñan actividades culturales, religiosas, económicas y/o recreativas directa o indirectamente en el área. De esta forma, en el proceso de restauración debe de considerarse realizar un análisis sobre los servicios ecosistémicos que determinado ecosistema brinda (p. ej. Manglar, duna costera, selva baja), considerando dichas actividades a fin de que se tomen decisiones respecto a cómo llevar a cabo la restauración en armonía con la convivencia con las personas que interactúan en la zona de interés.

Materiales y equipos

Libreta para tomar notas, trazar esquemas, mapas y/o diseños, describir el sitio, marcarlo y un GPS (sistema de posicionamiento global) importante en la ubicación geográfica. Cámara fotográfica, útil para documentar visualmente las actividades. Realizar reuniones y pláticas con los pobladores de forma formal e informal, ya que el conocimiento tradicional de los habitantes o usuarios de la zona a restaurar es fundamental. Así como también es importante el presentarse con las autoridades del sitio, ya que ellos pueden ser aliados en el cuidado de las parcelas a restaurar. Es importante contar de antemano con mapas de la zona, contruidos a partir de capas de información, uso de suelo, vegetación, etc.

Costo

Esta fase implica un costo bajo. Basta con recuperar la experiencia o saberes ancestrales y para ello, el equipamiento es básico: cuaderno de notas, bolígrafo y si se considera necesario, una grabadora de audio. Sin embargo, se recomienda el uso de mapas, mismas que pueden obtenerse a partir de acceso gratuito.

II. EVALUACIÓN DEL GRADO DE ALTERACIÓN

En esta etapa, se procederá a evaluar el grado de afectación en el que se encuentra la zona a restaurar y para ello, es importante considerar el tamaño del área, la disponibilidad de información histórica, la experiencia técnica de los ejecutores, así como el conocimiento de las comunidades humanas aledañas al área a intervenir. El objetivo es analizar la información recuperada desde la primera etapa del proceso de restauración para tener una pauta sobre los costos y el tiempo en el que se van a presentar los primeros resultados.

Objetivo

Evaluar el ambiente de la zona a restaurar para conocer el grado de daño aparente.

Actividades

EVALUAR LA FACTIBILIDAD. Un estudio preliminar de diagnóstico es necesario para evaluar la factibilidad y los costos de la restauración.

DIAGNÓSTICO. Para llevar a cabo dicha evaluación, será necesario verter los datos obtenidos durante la Fase I a una matriz con las características que se describen en la Tabla 1.

Es importante incluir en este recuento tanto el área alterada, como un área aledaña en buenas condiciones (no alterada) que sirva como referencia hacia dónde se pretende avanzar con la restauración. Cabe destacar que se pueden agregar tantos elementos a considerar como sea necesario. Con base en la información obtenida se decidirá si el sitio deberá ser restaurado y, en su caso, las especies vegetales que se van a utilizar para ello. Se deberá considerar la posibilidad de que

el sitio pueda recuperarse por sí mismo (regeneración natural), en cuyo caso se llevarán a cabo prácticas de restauración pasiva. Mientras que si los daños a este sitio hubiesen sido mayores, por ejemplo, que el evento de disturbio (e.i. incendio) haya eliminado la mayor cantidad de plantas será necesario “ayudar” a que se recupere por medio de prácticas de restauración activa. Para ello es importante determinar si el sitio en cuestión está muy alterado, moderadamente alterado o no.

DETERMINACIÓN DEL GRADO DE ALTERACIÓN. Existen diversos criterios para determinar el grado de alteración de un ambiente. Dicha alteración se puede clasificar en tres niveles (Ponce-Vélez *et al.*, 2011; Douterlungne y Ferguson, 2012, , Ceccon, 2013):

Nivel I: llamada también fase incipiente donde el estado de alteración se encuentra en sus primeras fases. La presión sobre los recursos del ecosistema es de baja magnitud, existe una estructura bien definida (que dependiendo del tipo de comunidad puede ser arbórea, arbustiva o herbácea) y en los alrededores existen áreas bien conservadas; por tanto, el ecosistema puede regenerarse de forma natural.

Nivel II: en este estado hay un desequilibrio importante, pero aún existen elementos del ecosistema inicial que se pueden tomar de referencia para intuir cuáles eran los componentes iniciales del sistema. En este caso es necesaria la intervención humana para que el ecosistema recobre su estabilidad.

Nivel III: es un estado muy afectado donde se han perdido sus elementos y su estabilidad. Cuando se manifiesta este nivel de alteración, se considera muy crítico porque el ecosistema difícilmente

recuperará las condiciones propias del lugar, por lo que con la restauración ecológica difícilmente restablecerá por completo el equilibrio entre sus componentes y es necesario considerar una rehabilitación, la remediación o la reclamación.

TOMA DE DECISIÓN: con base en la información recabada y los criterios definidos anteriormente, se deberá tomar la decisión acerca de si es posible y/o necesario realizar la restauración, considerando:

X **NO** Es necesario restaurar:

1. El área es poco accesible
2. Los disturbios son poco recurrentes
3. El evento de disturbio fue antropogénico, pero hay indicios de que no ocurrirá nuevamente
4. La vegetación no se eliminó completamente, hay vegetación natural adyacente
5. Se observa fauna dispersora de frutos y semillas, como murciélagos y aves
6. Es factible proteger el sitio de factores de estrés, por ejemplo con una cerca
7. Los recursos económicos son limitados
8. Los recursos humanos son escasos

√ **SI** Realizar la restauración:

1. El sitio presenta algunas especies nativas
2. Es posible observar algunas especies animales nativas
3. El sitio fue utilizado y degradado, pero hay indicios de que no volverá a alterarse
4. Existen recursos económicos
5. Existen áreas para habilitar como invernaderos

6. Existen el interés de la población por restaurar
7. Existen recursos humanos

Costo

Para esta fase, el costo debe incluir el análisis de la información obtenida a través de mapas, los costos involucrados en la salida a campo (transportación, gasolina, viáticos y hospedaje), el pago a encuestadores y pago de jornales. Es importante haber adquirido buena información en la primera etapa y capturarla completamente para la toma de decisiones.

III. DEFINICIÓN DE LAS TÉCNICAS DE RESTAURACIÓN

Hay numerosas técnicas de restauración y generalmente son elegidas dependiendo de los requerimientos del sitio a restaurar. Las técnicas no son excluyentes entre sí y se pueden aplicar en un mismo proyecto e incluso algunas de ellas son similares en sus objetivos.

Una vez que se decide restaurar, es importante considerar:

- 1) Que puede ser necesario crear un hábitat, por ejemplo, cuando el sitio fue usado en actividades mineras es necesario adicionar suelo. Dicho sustrato deberá comprarse con un costo de alrededor de \$200 MN el costal de 20k.
- 2) En humedales es común el cierre de afluentes de agua, por lo que la apertura de canales a partir de rehabilitación hidrológica, puede ser la acción necesaria para el arribo de plántulas. Para estas actividades es necesario contratar personas y considerar el costo a pagar por metro de canal rehabilitado.

- 3) No siempre es posible restablecer la diversidad vegetal original, por lo que la restauración puede solo mejorar las condiciones del sitio.

- 4) Si existen malezas y/o especies exóticas, será necesario eliminarlas. Para esta actividad es necesario contratar personas y darles capacitación sobre la identificación de plantas y la forma de eliminarlas. Es necesario considerar los costos tanto del personal capacitador como de los jornales por la extracción de las malezas y/o plantas exóticas.

- 5) Es necesario conocer la ruta sucesional, es decir, después de que se elimina la vegetación, qué especies son las primeras en colonizar, cuánto tiempo permanecen y qué especies las reemplazan. Ya que al usar dichas especies se estimula la regeneración.

- 6) Se requiere elegir especies capaces de soportar las condiciones ambientales iniciales, para propiciar así, que la cobertura vegetal se expanda, y con ello, mejoren las condiciones microambientales, y puedan establecerse especies que arriben por dispersión y, que eventualmente, animales que ocasionalmente transitan por el área puedan establecerse permanentemente.

Objetivo

Identificar las técnicas de restauración apropiadas.

Actividades

Es importante considerar si la restauración que se va a realizar será de forma pasiva o activa, lo que dependerá de la lejanía y aislamiento del área a restaurar, los recursos económicos y humanos con que se cuente, la factibilidad de contar con un invernadero y las condiciones particulares del sitio, grado

de deterioro, presencia de malezas, intensidad y frecuencia de perturbaciones.

MÉTODO DE SIEMBRA DIRECTA

La siembra consiste en la colocación de semillas directamente en el terreno a repoblar. Este método es barato, ya que se evitan los gastos de infraestructura y mano de obra calificada que requiere el mantenimiento de un invernadero. Generalmente los individuos que germinaron en campo tienen un mejor desarrollo de sus raíces, ya que las plántulas crecidas en bolsas o macetas pueden presentar enrollamientos o bien, al salir del envase pueden romperse, lo que afectan su supervivencia. Con la germinación de plántulas en el sitio, se logra tener individuos acoplados al sitio debido a que se establecieron en los ambientes más adecuados, sin importar el tipo de suelo.

Una de las desventajas de la siembra directa radica en el riesgo de que se presente baja supervivencia, por lo que es necesario preparar el terreno para conseguir un buen contacto entre suelo y semilla, intentando obtener un tamaño de grumo similar al tamaño de la semilla. Los suelos deben ser permeables y poco pedregosos para permitir el desarrollo de las raíces. Otra desventaja es que las semillas pueden ser fácilmente removidas ya que son una fuente alimenticia para insectos y aves principalmente, así como por factores ambientales como viento y lluvia. Las plántulas recién germinadas pueden ser más susceptibles a ser dañadas por animales, debido a ello, requieren cuidados que pueden ser más intensos que los requeridos en una plantación, incrementando los costos.

Este método se recomienda para repoblaciones en las que se empleen especies que requieren sol, tienen crecimiento inicial rápi-

do, las semillas son de tamaño más o menos grande, tienen baja cantidad de agua y son de fácil recolecta. Aunado a ello, la colocación de perchas artificiales y naturales para aves; esto es, maderos o tubos que tengan una función similar a los troncos de árboles que permiten la llegada y descanso de aves, puede funcionar como un promotor del arribo de semillas, y con ello favorecer la repoblación mediante la dispersión. Se han obtenido mejores resultados con la implantación de troncos secos frente a perchas artificiales.

MÉTODO DE TRASPLANTE

El tamaño o edad ideal de las plantas para ser trasplantadas dependerá de la especie empleada. Se recomienda que hayan aparecido al menos las primeras hojas y considerar que mientras más tiempo se encuentren en condiciones de invernadero su probabilidad de establecimiento exitoso es mayor. Una vez que se obtienen las plántulas, es necesario contar con un diseño de distribución y arreglo en campo, y dependiendo de los objetivos, se puede contar con áreas definidas o parcelas con tratamientos diferentes.

Las plántulas obtenidas deben ser trasplantadas evitando que la raíz esté en contacto con el aire. Es preferible separarla con el bloque de sustrato que la rodea para evitar daños a su raíz. Para ello, es necesario hacer un hoyo de al menos 20 cm de profundidad, que puede ser hecho con pala y colocar la planta. Posteriormente, se tapa el hueco y se aplanan un poco el suelo para darle firmeza a la plántula.

Este método tiene la ventaja de que la probabilidad de éxito es mayor que la siembra directa, aún y bajo condiciones climáticas difíciles, ya que las plántulas provenientes de vivero son más resistentes que las plántulas recién germinadas. La preparación del terre-

no no tiene que ser tan cuidadosa como en la siembra directa, los cuidados de las plántulas son menores, su susceptibilidad al ataque de patógenos es menor, lo que disminuye costos del trasplante, aunque el crecimiento previo en invernadero es muy alto. Este método se recomienda en terrenos pedregosos, suelos compactados y con climas extremos.

Cualquiera que sea el método elegido, es importante el seguimiento de la parcela durante los primeros días, para estimar si será necesaria una resiembra, y en que cantidad por especie. Es decir, durante la primera semana se identifican y controlan los factores ambientales que inciden en el proceso de adaptación de las plantas, tales como lluvias, vientos, temperatura, etc. Así mismo es importante cuantificar la sobrevivencia (número de plántulas vivas con relación a las muertas) y entonces, se determinan las necesidades de resiembra. Esto con la finalidad de reponer los individuos que por diversos factores no lograron sobrevivir a las primeras semanas y completar el número de plantas establecidas en el diseño de cada parcela.

RECOMENDACIONES:

- Las dos técnicas de restauración señaladas pueden llevarse a cabo de forma simultánea.
- Sea cual sea la técnica de restauración que vaya a llevarse a cabo, es importante la incorporación de fauna que favorezca la dispersión de semillas (zoocoria) de muchas especies vegetales. Para ello se recomienda:
 - 1) Incluir perchas donde las aves puedan descansar
 - 2) Construir refugios temporales que mejoren las condiciones abióticas para el desplazamiento de las especies de fauna.

- 3) Sembrar especies arbustivas y herbáceas nativas atrayentes de animales dispersores y polinizadores, por ofrecer recompensas como néctar para polinizadores o frutos con altos contenidos de azúcares para los dispersores.
- 4) Sembrar especies “nodriza”, que son plantas de crecimiento rápido, que forman dosel en poco tiempo y mejoran las condiciones del suelo al asociarse con bacterias que pueden fijar nitrógeno o con hongos benéficos del suelo. Por lo que las semillas tienen mayor posibilidad de germinar y establecerse exitosamente.

IV. ESTABLECIMIENTO DE UN INVERNADERO

Un proceso fundamental durante la restauración es la reproducción y propagación de las especies. Se requiere un espacio aislado, invernadero o vivero y cuidados durante un tiempo considerable. Es importante entonces, identificar aquellas especies con requerimientos germinativos muy particulares o tasa de crecimiento lenta o cuyos requerimientos de agroquímicos y fertilizantes deben ser cuidadosamente seleccionados y, por tanto, que impliquen costos importantes. Para ello, es importante retomar la información de las fases anteriores en donde ya se diagnosticó y evaluó la zona a restaurar, su problemática y sus necesidades.

Objetivo

Determinar el establecimiento de un vivero o invernadero.

TIPOS DE INVERNADEROS. Una vez que se tiene ese diseño o plan de parcelas a restaurar, se procede a obtener ejemplares de todas aquellas especies seleccionadas. Si bien, algunas de ellas pueden obtenerse en

establecimientos comerciales, éstos suelen ser una minoría. Es por ello que se recomienda contar con un invernadero para poder germinar y mantener las plántulas en buenas condiciones hasta su trasplante a campo. Éste debe instalarse, de preferencia en un área cercana al sitio donde se realizarán las prácticas de restauración, o si se tiene acceso fácil al sitio, podría instalarse dentro de la localidad con el compromiso del personal involucrado de mantenerlo seguro. Los invernaderos son espacios aislados que pueden simular las características ambientales de un sitio en particular y si su objetivo es sólo excluir organismos dañinos, se les llama viveros. En ambos casos, el objetivo principal es evitar el daño a material biológico y lograr la germinación, mantenimiento y crecimiento de especies vegetales por un periodo de tiempo limitado.

Estas estructuras pueden ser temporales o permanentes:

- **Vivero temporal o volante.** Se establece en áreas de difícil acceso, pero cercanos a las zonas donde se realizará la siembra. Tienen una vida útil de 2 a 4 años. Es necesario considerar la orientación, ya que, dependiendo de las especies que se van a sembrar, los requerimientos de incidencia solar serán diferentes, un exceso puede deshidratar a algunas especies mientras que sombra por un largo periodo podría ser negativo para otras. También es muy importante considerar la topografía del sitio, ya que una pendiente prolongada podría evitar la llegada de agua, o en caso de una fuerte tormenta, eliminar a las plantas sembradas en las zonas más bajas. Para su instalación se requieren pocos materiales, generalmente una estructura rígida (plástica, de madera o aluminio) que es forrada con alguna malla de tela, plástico o asbesto. Su desventaja radica

en que al situarse en áreas solitarias y de difícil acceso, quedan expuestas a daños y saqueos por animales o personas.

- **Invernadero permanente.** Se establece en un área determinada y requiere una inversión mayor en materiales, generalmente no perecederos, equipos automatizados de control de humedad y temperatura, instalaciones de luz y agua, entre otras. La desventaja más importante está en el traslado de las plantas hacia los sitios de siembra, ya que ello puede incrementar la mortalidad de las plantas y requerir mayor mano de obra.

Consideraciones al instalar un invernadero:

- **Infraestructura:** es necesario tener en cuenta los efectos climatológicos como nortes, ciclones o huracanes que pueden afectar la estructura si el invernadero es colocado cerca del mar, además de los daños por corrosión, por lo que será necesario consultar con expertos sobre los materiales y orientación del mismo.
- Independientemente de la estructura que se utilice, es importante considerar que el área que abarque el vivero o invernadero, determinará la cantidad de plantas y el tiempo que pueden permanecer en dichas instalaciones.
- Es indispensable tener conocimientos previos sobre las características de las semillas, la tasa de crecimiento de las especies y sus requerimientos particulares de luz, humedad y riego, así como la necesidad de trasplantar de un contenedor a otro, si presentan un sistema radical extenso o un rápido crecimiento de la parte aérea; lo cual en su conjunto nos indicará el tiempo máximo que una planta puede estar en estas condiciones y el espacio que necesita para crecer adecuadamente (Durán *et al.*, 2000; Durán *et al.*, 2007).

- Se recomienda contar con afluentes de agua dulce cercanos para el riego, ya que los viveros necesitan un suministro de agua abundante y constante, ya que las plantas que se producen se encuentran en pleno desarrollo y un inadecuado abastecimiento podría provocar incluso la muerte por marchitamiento.

Macetas:

- Se recomienda contar con charolas de germinación, semilleros, macetas y/o bolsas para plantas. Los materiales con los que son elaborados estos recipientes representan diferentes costos. Sin embargo, los más costosos son elaborados con materiales reciclados y pueden ser biodegradables.
- Es necesario considerar también las alturas máximas de las especies que estamos utilizando y características particulares como cobertura de follaje y tipo de raíz.
- Se recomienda evitar el cambio de macetas, ya que la raíz expuesta al aire suele morir.

Sustratos:

- El sustrato es el medio donde germinará y se desarrollará la plántula. Es necesario determinar el volumen requerido de éste según los requerimientos del proyecto y las especies a utilizar.
- Se recomienda realizar una mezcla de suelo del sitio aledaño al área a restaurar para asegurar las características químicas y biológicas más similares al sitio blanco de la restauración. En caso de que ello no sea posible, se recomienda utilizar un sustrato inerte como agrolita o vermiculita, mismas que pueden obtenerse en viveros comerciales o en tiendas departamentales.

El presupuesto estimado para el establecimiento de un vivero o invernadero de 3X15m se describe en las Tablas 2, 3, 4 y 5.



Tabla 3. Materiales requeridos para la construcción de un invernadero (Precios de 2021).

Concepto	Vivero temporal		Invernadero permanente
Materiales	Túnel	De madera	Metálico
	Varillas de acero de 3/8 pulgadas	Polines 10x10x300cm	Tubo PTR galvanizado cal. 14, 1 ^{1/2} "x1 ^{1/2} "
	Plástico verde 90% luz 8.2 ancho cal.720	Duelas 11x3x300cm	Tubo PTR galvanizado cal. 14, 1 ^{1/4} "x1 ^{1/4} "
	Malla antiáfido 3m ancho	Perfil sujetador	Polietileno Cal. 720, 8.2 ancho
	Alambre galvanizado	Plástico verde 90% luz 8.2 ancho cal.720	Malla antiáfido 25x40 mesh, 1.80 ancho
	Cemento	Malla antiáfido 3m ancho	Poligraf
	Arena	Clavos 2.5"	Resorte poligraf
	Rafia tomatera	Aceite requemado	Pijas punta de broca
		Tubo cortinero	Electrodo
		Alambre zigzag	Cemento
		Poleas de nilamid	Alambre galvanizado
		Malacate 600 libras	Bisagra de acero
		Cable de acero galvanizado 150 m	
		Rafia tomatera	
		Broca para perforar perfil sujetador	
Riego		Manguera 2"	Tinaco 1100litros
		Mangueras cinta	Tuberías y conexiones
		Tinaco 1100 lt	
		Abrazaderas	

Fuente: adaptado de PESA-México, 2007.



Tabla 4. Materiales requeridos para la construcción de un vivero temporal tipo túnel de 3 x15 m (Precios de 2021)

<i>Concepto</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>	<i>Precio unitario (MXN)</i>	<i>Costo (MXN)</i>
Materiales				
Varillas de acero de 3/8 pulgadas ^a	4	piezas	\$205.00	\$820.00
Plástico verde 90% luz 8.2 ancho cal. 720	15	metros	\$244.00	\$3,665.00
Malla antiáfido 3m ancho	6	metros	\$158.00	\$950.00
Alambre galvanizado	2	kg	\$74.00	\$147.00
Cemento	1	bultos	\$227.00	\$227.00
Arena	4	botes	\$18.00	\$74.00
Rafia tomatera	1	rollo	\$134.00	\$134.00
Mano de obra				
Construcción	6	jornales	\$184.00	\$1,105.00
Costo total				\$7,123.00

Fuente: elaboración propia en base a PESA-México, 2007 y <https://www.banxico.org.mx/tipcamb/main.do?page=inf&idioma=sp>

^a Se sugiere la opción más resistente y eventualmente, la más costosa. Sin embargo, una alternativa a este material puede ser el uso de polines de madera de 3/4" por la mitad del precio de la varilla.

Tabla 5. Materiales requeridos para la construcción de un vivero temporal de madera 14.3 X 7m

<i>Concepto</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>	<i>Precio unitario (MXN)</i>	<i>Costo (MXN)</i>
Materiales				
Polines 10x10x300cm	53	piezas	\$84.00	\$4,425.00
Duelas 11x3x300cm	57	piezas	\$61.00	\$3,499.00
Perfil sujetador	18	piezas	\$61.00	\$1,105.00
Plástico verde 90% luz 8.2 ancho cal. 720	45	metros	\$244.00	\$10,995.00
Malla antiáfido 3m ancho	30	metros	\$158.00	\$4,752.00
Clavos 2.5"	6	piezas	\$31.00	\$184.00
Aceite requemado	4	litro	\$2.50	\$10.00
Tubo cortinero	5	piezas	\$135.00	\$675.00
Alambre zigzag	4	kg	\$88.00	\$354.00
Poleas de nilamid	2	piezas	\$169.00	\$338.00
Malacate 600 libras	2	piezas	\$573.00	\$1,147.00
Alambre galvanizado	2	kg	\$74.00	\$147.00
Rafia tomatera	2	rollo	\$134.00	\$268.00

Continuación Tabla 5

<i>Concepto</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>	<i>Precio unitario (MXN)</i>	<i>Costo (MXN)</i>
Broca para perforar perfil sujetador	2	piezas	\$37.00	\$74.00
Tinaco 1100 litros	1	piezas	\$2,456.00	\$2,456.00
Manguera 2"	12	metros	\$34.00	\$413.00
Mangueras cinta	1	rollo	\$344.00	\$344.00
Abrazaderas	2	piezas	\$33.00	\$66.00
Mano de obra				
Construcción de invernadero	16	jornales	\$184.00	\$2947.00
Instalación del sistema de riego	2	jornales	\$184.00	\$368.00
Costo total				\$34,566.00

Fuente: elaboración propia en base a PESA-México, 2007.

V. SELECCIÓN DE ESPECIES Y COLECTA

Si bien, este es un manual de restauración y, como tal, muestra las técnicas para restaurar ecosistemas costeros como playa (duna), manglar o selva baja caducifolia, las especificaciones técnicas de la vasta vegetación de estos ecosistemas está ampliamente documentada y es accesible de forma gratuita ya sea en documentos elaborados por las universidades y centros de investigación o en páginas disponibles en internet como: <https://www.gob.mx/conanp/es/articulos/restauracion-de-manglares-una-medi-da-de-adaptacion-al-cambio-climatico?idiom=es>, <https://www.unesco.org/es/mab/mangres>, <https://www.gob.mx/conanp/articulos/restauracion-de-corales-y-dunas-costeras-en-el-complejo-isla-mujeres-puerto-morelos?state=published>.

Algo que es fundamental del proceso, es ponderar la restauración de la variedad de germoplasma, o, especie más amenazada, frente a aquella que pudiera generar una restauración vegetativa más rápida o a un menor costo. Para ello, es aconsejable realizar un diseño de parcelas. Es decir, un inventario

de aquellas especies que son deseables de recuperar y diseñar el espacio en el cual se propaguen. Para ello, se parte de la información obtenida en la Tabla 1, de los conocimientos ancestrales registrados, de la constitución del área sin alteración que servirá de control y del material fotográfico y espacial existente.

Objetivo

Identificar las especies más adecuadas para llevar a cabo la restauración y los sitios de colecta de semillas y de otros propágulos.

Actividades

SELECCIÓN DE ESPECIES. Es importante seleccionar especies que tengan valor ecológico y social (Tabla 6), como:

- Resistencia a condiciones limitantes (insolación, baja fertilidad, inundación, salinidad, etc.)
- Crecimiento rápido
- Capacidad de rebrote
- Fijación de nitrógeno
- Frutos carnosos
- Valor social (e.g. medicinal, religioso)
- Valor económico

Tabla 6. Materiales requeridos para la construcción de un invernadero permanente metálico de 30 x 7 m

Concepto	Cantidad	Unidad	Precio unitario (MXN)	Costo (MXN)
Materiales				
Tubo PTR galvanizado cal. 14, 1 ^{1/2} "x1 ^{1/2} "	63	piezas	\$464.00	\$29,250.00
Tubo PTR galvanizado cal. 14, 1 ^{1/4} "x1 ^{1/4} "	57	piezas	\$395.00	\$22,535.00
Polietileno Cal. 720, 8.2 ancho	6	rollo	\$1,325.00	\$7,949.00
Malla antiáfido 25x40 mesh, 1.80 ancho	1	rollo	\$10,191.00	\$10,191.00
Polifraf	45	piezas	\$86.00	\$3,868.00
Resorte poligraf	20	kg	\$43.00	\$859.00
Pijas punta de broca	20	piezas	\$61.00	\$1,228.00
Electrodo	20	piezas	\$66.00	\$1,326.00
Cemento	10	bultos	\$227.00	\$2,271.00
Alambre galvanizado	50	kg	\$74.00	\$3,683.00
Bisagra de acero	3	piezas	\$80.00	\$239.00
Sistema de riego				
Tinaco 1100 litros	2	piezas	\$2,456.00	\$4,911.00
Tuberías y conexiones	1	lote	\$6,793.00	\$6,793.00
Mano de obra				
Construcción	87	jornales	\$184.00	\$16,023.00
Costo total				\$111,128.00

Fuente: elaboración propia en base a PESA-México, 2007.

LOCALIZACIÓN DE FUENTES DE PRO-PÁGULOS: es necesario identificar áreas vegetales adyacentes similares al área que pretendemos restaurar para establecer el tipo de vegetación dominante, su cobertura y distribución, así como las posibles fuentes de producción de semillas. Asimismo, se requiere conocer el tipo de semilla que se pretende utilizar con el objeto de determinar si serán colectados e inmediatamente sembrados como ocurre con las semillas recalcitrantes (por ejemplo, las semillas con alto contenido de humedad) o si pueden mantenerse por algunos días o meses en almacenamiento sin perder su capacidad germinativa (como ocurre con las ortodoxas que son semillas que no tienen agua o en mínima cantidad).

COLECTA DE SEMILLAS Y OTROS PROPÁGULOS: es necesario considerar las características de cada especie para su manejo adecuado y almacenamiento, ello a través de información bibliográfica; así como incluir los datos de localización de los sitios de colecta del material. Con ello, se espera resguardar el germoplasma de la zona. El germoplasma es la información genética que poseen las especies vegetales. Este se encuentra expresado en el conjunto de propágulos, que incluye a las semillas, tubérculos (raíces) y esquejes (fragmentos del tallo).

Es importante contar con una alta variabilidad genética de los propágulos (semillas,

tubérculos y esquejes), para lo cual se recomienda:

- Colectar material de diferentes plantas, al menos de diez individuos.
- Duplicar el número de semillas colectadas, ya que hay especies susceptibles a parásitos y enfermedades, propensas a la deshidratación o descomposición, así como a la pérdida de viabilidad.
- Abarcar un área muy grande, para contar con diversidad genética de la especie.
- Evitar colectar material parasitado o con algún tipo de daño aparente, y desechar a las plantas que estén enfermas.

VI. GERMINACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PLÁNTULAS

La germinación es el proceso de crecimiento que ocurre en las plantas después de un periodo de latencia. En condiciones naturales, ocurre cuando hay agua disponible, temperatura y luz propicias para el desarrollo de la plántula al inicio del periodo húmedo y cálido; de esta manera, la plántula recién emergida, dependiendo de sus características de historia de vida, cuenta con un periodo largo (años o decenas de años) para establecerse, crecer, reproducirse y morir como ocurre en las plantas perennes, o un periodo corto (uno o dos años) para completar su ciclo de vida como ocurre con las plantas anuales.

MANEJO DE SEMILLAS Y PLÁNTULAS

Objetivo

Describir las técnicas de germinación y mantenimiento de plántulas.

Actividades

GERMINACIÓN: Se recomienda contabilizar el número de semillas colocadas en cada recipiente (en cada espacio de las menciona-

das charolas de germinación) y cuantificar su germinación (Tabla 7).

TRANSPLANTE DE PLÁNTULAS. Una vez que germinaron las semillas, se recomienda retirar las plántulas de los semilleros y trasplantarlas a macetas, bolsas o en su sitio de siembra final, si es posible, con suelo de sitios conservados, aledaños al sitio a restaurar, para contar con los microorganismos benéficos del suelo (hongos, bacterias, etc.). Si son plantas anuales, evitar mantenerlas en el invernadero, lo cual implica llevarlas lo antes posible a campo; en el caso de las plantas perennes puede ser conveniente esperar más de seis meses para su trasplante final debido a que su tasa de crecimiento será más lenta que en las anuales. Se recomienda realizar el trasplante cercano a la época de las primeras lluvias, evitando las largas épocas de estiaje que matarían a las plántulas por deshidratación.

Durante la siembra y el trasplante se presenta un periodo crítico, tanto en el invernadero como en el sitio de siembra final, por lo que se debe extremar los cuidados; por ejemplo evitar la presencia de arvenses (“malas hierbas”) puede afectar el ritmo de crecimiento, y hasta provocar la muerte de las plantas de interés, al competir con ellas por agua, luz y nutrientes. Para disminuir los riesgos en la producción se debe cuidar el riego, el deshierbe, la aparición de plagas y de enfermedades.



Tabla 7. Listado de especies presentes en algunos ecosistemas costeros y sus características relacionadas con la planeación de la restauración

<i>Tipo de especie</i>	<i>Duna</i>	<i>Manglar</i>	<i>Peten</i>	<i>Selva baja inundable</i>
Se establecen en suelo desnudo y/o en ambientes estresantes	Ambrosia hispida, Tournefortia gnaphalodes, Bidens pilosa, Hymenocallis americana	Rhizophora mangle (mangle rojo) tolerante a inundaciones prolongadas Avicennia germinans (mangle negro) alta resistencia a la salinidad	Avicennia germinans, Laguncularia racemosa, Rhizophora mangle	Ruellia nudiflora, Opuntia stricta, Bravaisia berlandieriana
Se establecen en suelo bien formados, en ambientes NO estresantes	Pithecellobium keyense, Caesalpinia vesicaria, Scaevola plumierii	Laguncularia rasemosa (mangle blanco) tiene baja resistencia a la sal	Ficus cotinifolia, Metopium brownei, Manilkara sapota, Sabal yapa	Haematoxylon campechianum, Metopium brownei, Vitex gaumeri
Son refugio, protección o aporte de alimento para la fauna	Opuntia stricta, Suriana maritima, Cakile edentula	Rhizophora mangle Laguncularia rasemosa Avicennia germinans	Annona glaba, Manilkara sapota	Selenicereus donkelaarii, Leucaena leucocephala, Lysiloma latisiliquum
Forman y recuperan suelo	Alternanthera flavescens, Agave angustifolia	Batis maritima, Fimbristylis spadiacea	Leucaena leucocephala	Bursera simaruba, Agave vivipara Leucaena leucocephala, Lysiloma latisiliquum
Tienen usos para las comunidades rurales aledañas como maderables, frutales, medicinales, cerco vivo u otro	Alimenticia: Salicornia bigelovii, Coccoloba uvifera Medicinal: Batis maritima	Construcción, leña, ornamental: Rhizophora mangle Alimenticia: Salicornia bigelovii	Construcción: Acoelorrhaphe wrightii Medicinal: Heliotropium angiospermum	Ornamental: Plumeria obtusa Utensilio: Crescentia cujete Leña: Vitex gaumeri
Son endémicas, en peligro de extinción ó amenazadas	Thrinax radiata	Avicennia germinans Laguncularia racemosa Rhizophora mangle Conocarpus erectus	Avicennia germinans, Laguncularia racemosa, Rhizophora mangle	

MANTENIMIENTO DE PLÁNTULAS EN INVERNADERO:

- 1) Monitoreo: las semillas y plántulas deben ser monitoreadas constantemente, ya que si algún parásito o enfermedad las afecta, es necesario removerlos utilizando algún agroquímico. Se recomienda observar, cuantificar y tomar nota de la supervivencia y si es posible del crecimiento en altura y del diámetro del tallo. Observaciones más detalladas pueden incluir la demografía foliar, la colecta de un número de individuos y obtención del peso seco de tallo, raíz y hojas, con el objeto de llevar un registro de la actividad foliar y la ganancia en talla que tiene la especie en condiciones controladas.
- 2) Riego: el riego es muy importante debido a que la pérdida excesiva de humedad del suelo ocasiona que las plantas se sequen; sin embargo, hay que cuidar la presión del agua, pues si es mucha o cae directamente sobre las semillas puede ocasionar que se desentierren y queden expuestas, lo que provocaría su desecación. Por otra parte, el exceso de humedad promueve el decaimiento de la germinación por la incidencia de hongos y bacterias. Es importante recalcar que los riegos no deben aplicarse en las horas de mayor incidencia de calor, porque esto aumenta considerablemente la evapotranspiración y provoca lesiones en las plántulas e incluso su muerte.
- 3) Deshierbe: el deshierbe manual o mecánico evita problemas de competencia por luz, agua y nutrientes, así como la presencia de insectos y gusanos los cuales se convierten en hospederos de estos lugares. Se deben eliminar las arvenses y controlar el número de plántulas que emergen de las bolsas en las que se sembraron dos o tres semillas, en cuyo caso se sugiere que solamente se mantenga la planta más vigorosa y se eliminen las restantes.

El deshierbe con herbicidas trae consigo riesgos tanto para el cultivo como para el ambiente, por lo que no se recomienda su uso.

Una de las enfermedades más importante de controlar es el “mal del semillero” y el método que más se utiliza para eliminar el hongo que lo produce es la fumigación. Una opción para evitar el uso de fungicidas es cubrir las semillas con una capa de arena de 5 cm de espesor, que favorece la reducción de la humedad alrededor de la semilla e incrementa la temperatura en la superficie del suelo.

Materiales y equipos

En esta fase, los materiales y equipos dependerán en mucho de la decisión que se tome en cuanto al tipo de invernadero. En las Tablas 2, 3, 4 y 5 se presenta un listado del equipo que se requiere para instalar un vivero temporal o un invernadero permanente.

Como parte de los materiales de esta fase, es importante destacar el uso de bolsas forestales (para plantas), sustrato, composta, macetas y/o charolas germinadoras o semilleros. De estas últimas existen diversas presentaciones, tamaños y materiales, pero se recomienda el uso de aquellas con materiales biodegradables, ya que en el caso de las raíces de manglar, por ejemplo, es muy importante el manejo de la raíz y por tanto, al germinar sus semillas en contenedores biodegradables, se facilita su trasplante. Evidentemente, la limitante en este caso, es el elevado costo de estos materiales. Finalmente, como parte del equipamiento, se hará más necesaria la mano de obra que cualquier tipo de máquina. En tal caso, es necesario contar con herramientas como palas, picos, desarmador, taladro, serrucho, carretilla, cubetas, etc.

Costo

A diferencia de las anteriores, esta fase conlleva un costo considerable tanto por los materiales requeridos, como por el pago de la mano de obra o jornales. Siendo la restauración una actividad que las comunidades humanas cercanas pueden llevar a cabo, este último podría amortiguarse. Sin embargo, para fines explicativos, se presentarán tres presupuestos para dos tipos distintos de reproducción de plántulas en los que se incluye el costo de los jornales requeridos para su puesta en marcha (Tabla 8 y 9, costos de 2021).

Como puede observarse, los elementos más costosos en las operaciones de la restauración son aquellos vinculados con la mano de obra. Sin embargo, si esta propuesta se llevará a cabo por parte de una comunidad organizada, el monto por jornales tanto para la construcción de los invernaderos o vive-ros, como para el manejo, podría reducirse a través del trabajo voluntario, logrando así, una disminución considerable del costo total de la estrategia de restauración. En Yucatán se han utilizado programas gubernamentales para cubrir el pago de jornales, en trabajos de restauración de manglares a través del PET (Programa de empleo temporal) (<https://www.gob.mx/conanp/acciones-y-programas/programa-de-empleo-temporal-pet>).



Tabla 8. Cuantificación del proceso de germinación

<i>Especie</i>	<i>Día 1</i>							<i>Día N</i>
No. Semillas TOTALES		:						
No. semillas germinadas		:						
% germinación								
No. plántulas VIVAS								
No. plántulas MUERTAS								
% supervivencia								
% parásitos o enfermedades								
OBSERVACIONES								

Tabla 9. Costo de insumos para la producción de plántulas en invernadero/vivero. Cultivo durante dos ciclos al año en un invernadero de 210m²

<i>Insumos^a</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>	<i>Precio unitario (MXN)</i>	<i>Costo (MXN)</i>
Abono de composta	2000	kg	\$ 12.00	\$ 24,556.00
Semillas		semilla		\$ -
Sustrato	3000	kg	\$ 6.00	\$18,417.00
Semilleros	20	piezas	\$ 37.00	\$ 737.00
Bolsas negras	100	caja	\$ 22.00	\$ 2,179.00
Manejo de cultivo	24	jornales	\$ 4,604.00	\$ 110,502.00
Costo total				\$ 156,392.00

Fuente: elaboración propia en base a PESA-México, 2007.

^a Los insumos fueron cotizados en tiendas especializadas para la venta de productos de invernadero. Sin embargo, muchos de ellos pueden generarse de manera casera como por ejemplo, la composta, la tierra preparada (sustrato) e inclusive, los semilleros que pueden sustituirse por pequeños envases desechables.

VII. ESTABLECIMIENTO DE PARCELAS DE RESTAURACIÓN

Al plantear un proyecto de restauración en sistemas terrestres costeros, se requiere iniciar con el restablecimiento de la cubierta vegetal. En este sentido, se seleccionan algunas especies que dadas sus características, pueden devolverle al sitio dañado algunas de sus propiedades. Para ello es indispensable la fase de caracterización y diagnóstico (sección I).

Aunque el objetivo de las prácticas de restauración es revertir la degradación del ecosistema y “llevarlo” a un estado de “no deterioro” anterior, es imposible utilizar todas las especies que conforman dicho ecosistema, por cuestiones técnicas y monetarias; ello pone de relieve la importancia de conocer qué especies son consideradas clave, es decir, especies dominantes o especies que dan ventajas en la conformación del ecosistema. En el caso de las dunas, las leguminosas se consideran especies clave, ya que se asocian a la presencia de bacterias capaces de tomar el nitrógeno atmosférico y fijarlo en el suelo, lo que aporta nutrientes básicos para otras plantas. Se sugiere por tanto, incluirlas en el proyecto de restauración y para ello, se implementa una técnica denominada parcela de restauración.

El establecimiento de las parcelas debe considerar tres aspectos:

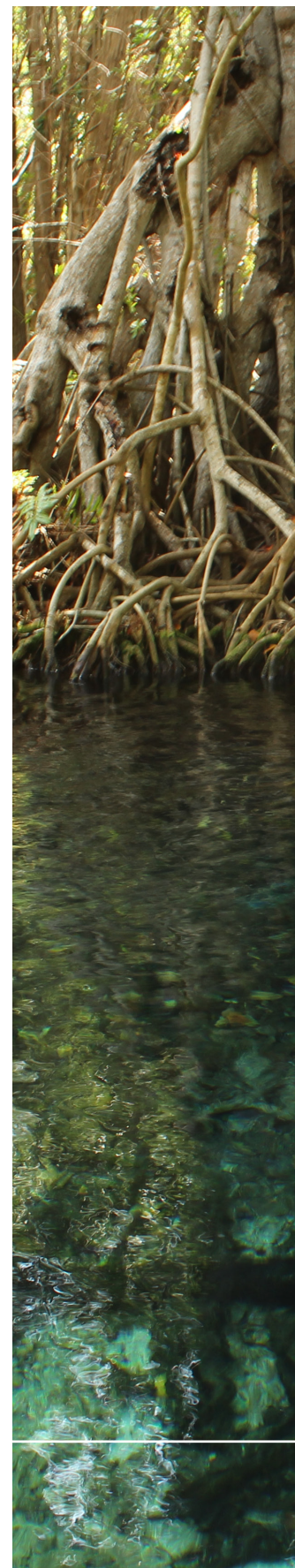
Ecológico: el sitio a restaurar debe contar con las condiciones ambientales mínimas necesarias para permitir la sobrevivencia de las plántulas y su crecimiento en condiciones “saludables”. Es necesario considerar que no siempre se cuenta con dichas condiciones de manera natural, si fuera necesario, ésta debe inducirse y prevalecer durante el tiempo que duren las prácticas de restauración.

Técnico: implica el previo conocimiento de los diseños de siembra establecidos, de las densidades de siembra, de las prácticas de preparación de sitio (deshierbe para reducir la competencia con arvenses, cercado para reducir el daño por animales, determinar la calidad del material a utilizar, entre otros).

Social: todo programa de restauración debe contar con un alto grado de inclusión y participación de la población local y de las instancias (gubernamentales, OSC's, empresas privadas, entre otros) que están comprometidas en la administración y uso del recurso.

Objetivo

Diseñar un plan de siembra de plantas en el sitio a restaurar, considerando las características del área, la presencia de especies invasoras, la estructura y composición del área que sirve como base a la restauración y evaluar el proceso de transporte y trasplante de plantas.





Actividades

ELIMINACIÓN DE DISTURBIOS Y FACTORES DE ESTRÉS. Es indispensable suspender las perturbaciones que alteran el sitio que se restaurará, estas incluyen: las actividades de pastoreo, la tala selectiva, cercas, vallas, eliminar los pastos que han colonizado estas áreas por causa del pastoreo, con ello se facilitará la recolonización por parte de las especies nativas.

RECOMENDACIONES:

- El suelo podría estar compactado debido al pisoteo, paso de ganado o paso de vehículos, para descompactarlo se recomienda el uso de herramientas de labranza, el uso de maquinaria pesada no se recomienda en absoluto ya que generaría una alteración más grave a la existente.
- En sitios altamente deteriorados se requiere el enriquecimiento de nutrientes en el suelo, mediante el uso de enmiendas orgánicas y/o químicas que mejorar sus características físicas, aportando materia orgánica y disminuyen la compactación. Para disminuir costos y no alterar de forma importante el suelo, se recomienda el uso de estiércol animal, residuos de cultivos, hojas, pastos o composta.
- La remoción de vegetación invasora (pastos y helechos) debe ser cuidadosa, ya que estas especies se reproducen de forma sexual y clonal; por tanto, se requiere remover las partes aéreas y el sistema radicular de las mismas hasta donde sea posible. Suele ser más efectiva la erradicación manual que el uso de maquinaria, sustancias químicas y quemas controladas.
- Es importante no remover o alterar mucho el suelo.
- La zona debe vigilarse constantemente de la invasión de especies.

MANEJO DE PLANTAS DEL INVERNADERO AL CAMPO. El buen manejo de las plantas durante su transportación desde el vivero hasta las parcelas de restauración o su almacenamiento es fundamental para su posterior adaptación ya que, las plantas pueden sufrir un estrés severo que les provoque la marchitez permanente.

Es necesario, que los involucrados estén bien informados sobre la forma en que se trasladan las plantas, los cuidados y la estrategia a seguir, la cual incluye:

- Su transportación hasta el área a restaurar debe planearse desde su acomodo en un vehículo adecuado. (cubierto para evitar que el aire quiebre las plántulas o promueva la pérdida de humedad).
- Temporada del año en que se realizará la siembra y la hora del día para su traslado. Se recomienda que sea en época de lluvias, al amanecer y de

ser necesario contar con un recipiente con agua para la hidratación del sustrato previo al trasplante.

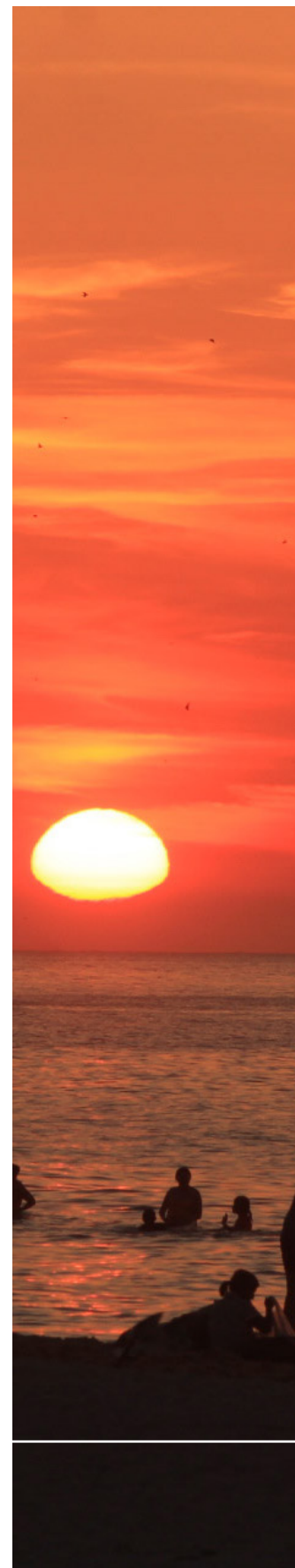
- Realizar un chapeo inicial, eliminando hierbas y pastos para evitar la competencia entre hierbas y las semillas o plántulas que serán trasplantadas.
- Los sitios deben marcarse y, si es necesario, cercarse para evitar la entrada de personas o ganado.
- Incluir anuncios alusivos que informen a las personas en tránsito por la zona sobre las actividades que se llevan a cabo y señalen la importancia de no acceder.
- Es importante informar a la población a través de talleres o pláticas y entregar volantes donde se informe sobre dichas actividades y su importancia para la comunidad.

DISTRIBUCIÓN Y DENSIDAD DE PLANTAS. La distribución y densidad a las que se establecerán las especies en el área a restaurar dependerá tanto de las necesidades de espacio de las especies a trasplantar, así como de la densidad y distribución natural de las mismas como se observa en las comunidades vegetales aledañas sin alteración.

FASES DE SIEMBRA. Las primeras especies llevadas a campo deberán ser tolerantes a las condiciones presentes en el suelo desnudo: alta insolación, baja humedad relativa, baja disponibilidad de recursos. Posteriormente se pueden incluir otras menos tolerantes a ambientes extremos, lo cual se logra cuando las primeras se han establecido y comienzan a modificar el microambiente de su alrededor. Para seleccionar a las especies adecuadas para cada fase de siembra es necesario conocer el proceso sucesional que se lleva a cabo en la comunidad vegetal que se deseamos restaurar.

Materiales y equipos

En esta fase serán requeridas herramientas diversas para establecer las parcelas, ya sea mediante siembra o plantación. Sin embargo, el material estará en función de la elección del método a emplear. En el primer método, es necesario limpiar y cercar el área, así como nivelar el suelo, entre otras. En el segundo método, será necesario contar con un mecanismo de transportación que permita el éxito en la plantación. Es decir, si el invernadero/vivero no se encuentra cerca del área a restaurar, las plántulas deberán trasladarse en un vehículo acondicionado que las proteja de la luz, el viento y otros elementos estresores. Es importante destacar que en cualquiera de las opciones, delimitar el área es recomendable, y para ello, podría requerir rollos de alambre, postes de madera, mismos que pueden ser reemplazados por material reciclado para darle rigidez al alambrado, o árboles que funcionan como cercas vivas como el género *Bursera*. En algunas ocasiones,





las compañías que utilizan postes para su infraestructura o en los ranchos, hacen donaciones de los mismos a petición.

Costo

En esta fase, nuevamente el costo principal radica en la mano de obra, calculada en jornales en pesos mexicanos. El desglose se puede observar en la Tabla 10. Cabe destacar que éste pudiera minimizarse mediante el trabajo voluntario.

Tabla 10. Costo total estimado para el manejo de un invernadero de 210m² durante dos ciclos.

<i>Concepto</i>	<i>Vivero temporal</i>		<i>Invernadero permanente</i>
	<i>Túnel (MXN)</i>	<i>De madera (MXN)</i>	<i>Metálico (MXN)</i>
Materiales de construcción	\$ 6,312.00	\$31,251.00	\$ 94,112.00
Jornales de construcción	\$ 1,105.00	\$3,315.00	\$ 16,023.00
Total construcción	\$ 7,417.00	\$34,567.00	\$ 110,134.00
Insumos*	\$ 45,889.00	\$45,889.00	\$ 45,889.00
Jornales*	\$ 110,503.00	\$110,503.00	\$ 110,503.00
Total manejo*	\$ 156,392.00	\$156,392.00	\$ 156,392.00
Costo total	\$ 163,809.00	\$ 190,959.00	\$ 266,527.00

Fuente: elaboración propia.

Tabla 11. Costos de la preparación del terreno para parcela de restauración

<i>Actividad/insumo</i>		<i>Jornales-cantidad/ha</i>	<i>Costo/ha (MXN)</i>	<i>Costo total (MXN)</i>
Postes	Cortar	32	\$ 184.00	\$ 5,893.00
	Acarrear	4	\$ 184.00	\$ 737.00
	Sembrar	8	\$ 184.00	\$ 1,473.00
Alambre	Rollo de alambre	5 rollos	\$ 859.00	\$ 4,297.00
	Grapas	2 Kg	\$ 21.00	\$ 43.00
	Jalar alambre	4	\$ 184.00	\$ 737.00
Costo total de preparación del terreno				\$ 131,181.00

Fuente: adaptado de Douterlungne y Ferguson, 2012.

VIII. EVALUACIÓN DEL ÉXITO DE LA RESTAURACIÓN

El éxito de la restauración se mide en función del grado del establecimiento de las plantas y de la recuperación de sus funciones ecológicas en el sitio. También incluye evaluar la llegada de animales asociados a esa vegetación (aquellos que la utilizan como zona de alimentación, resguardo o reproducción). Esta información nos permitirá estimar su recuperación y mantenimiento a largo plazo antes del disturbio.

Objetivo

Diseñar una estrategia de seguimiento y mantenimiento del área a restaurar.

Actividades

MANTENIMIENTO: El mantenimiento de las parcelas es indispensable y debe calendarizarse dependiendo de las condiciones de cada sitio, con el fin de propiciar un medio adecuado y el desarrollo óptimo de las plantas.

Entre las labores que deben realizarse están las siguientes:

1. Limpieza periódica, al menos cada mes, dependiendo del crecimiento del estrato herbáceo y arbustivo, para evitar el deterioro y competencia de las plantas que se han establecido.
2. Monitoreo sanitario y observación directa de plagas y/o aparición de enfermedades, para poder bloquear brotes de las mismas o en su caso la expansión a toda la parcela.
3. Chequeo periódico y mantenimiento de las cercas.

EVALUACIÓN PERIÓDICA. La evaluación de la supervivencia, crecimiento y/o desarrollo de las plantas debe realizarse a través de mediciones y muestreos que incluyan los siguientes parámetros: crecimiento en longitud (altura desde su base), diámetro basal y aparición de hojas. Estos elementos son indicadores del estado adaptativo de las plantas y sirven para dar continuidad al empleo de especies en diferentes sitios, previa observación de las características ecológicas donde éstas se encuentran, o en su caso, modificar los esquemas y empleo de plantas supliéndolas por otras cuyas características observadas sean las apropiadas.

El tiempo requerido para llevar a cabo esta evaluación está en función del personal disponible, los materiales, el transporte, la superficie a restaurar y finalmente del presupuesto; sin embargo, un tiempo mínimo para captar las diferencias en crecimiento y adaptación puede ser de un mes para cada periodo de evaluación. La utilidad de este tipo de monitoreo permite al responsable de un programa de restauración, plantear un programa de resiembra.

MONITOREO. En éste, se estudian los cambios en variables como el tamaño de la población, el crecimiento de los individuos, su estado reproductivo y su comportamiento a través del tiempo. A partir de la información obtenida se pueden describir y eventualmente, predecir las tendencias generales en el cambio. Incluye también la sistematización y comunicación de la información sobre las transformaciones en el área de influencia del proyecto, indistintamente de si estas transformaciones provienen del mismo proyecto, o lo están afectando.

El monitoreo en proyectos de restauración debe cumplir los siguientes requisitos:

1. Incorporar una valoración a través de datos obtenidos de un ecosistema natural similar que sea nuestro sitio de referencia, así como del área de restauración. Puede incluir las variables: riqueza de especies, cobertura, índices de diversidad, índices de dominancia.
2. Contribuir a la toma de decisiones en cuanto a la continuidad del proyecto y modificaciones técnicas.

El monitoreo para proyectos de restauración, aporta una visión objetiva y realista del destino final de las inversiones financieras de los planes y programas de restauración, superando así el limitado alcance de indicadores que revisan solamente lo que se hizo durante el proyecto (indicadores de proceso), más que los indicadores de resultado (e.g. área recuperada a largo plazo) .

INDICADORES DE RESTAURACIÓN. La información que se genere durante el proceso de restauración es valiosa para validar o replantear el modelo, por lo que es recomendable que se cuente con una base de datos de cada una de las fases del proyecto. Para asegurar el éxito del proyecto de restauración ecológica se debe involucrar a la comunidad en todo el proceso. Es decir, desde el diagnóstico hasta la fase de seguimiento y evaluación, concluyendo con el monitoreo. Para ello, se puede partir de la Tabla 10 y añadir una columna en la que se vaya anotando la evolución de cada uno de los componentes, así como observaciones. Cabe destacar que si no se da la apropiación por parte de la comunidad se habrán desperdiciado todos los recursos y perdido los propósitos de la restauración.

Costo

Tanto la evaluación como el monitoreo son actividades que pueden llevarse a cabo al

tiempo que se implementa el mantenimiento. Es por ello que se contabiliza para esta fase como costo total, aquel en el que se incurre durante las acciones de deshierbe o eliminación de plantas invasoras. Para dicho cálculo, se tomaron en consideración dos escenarios acorde a los métodos descritos, uno en el que la reproducción de la plántula se presenta en un ambiente controlado (vivero o invernadero) y otro en donde la semilla se aplica directamente al suelo. Cada uno de ellos considerando la etapa más importante de los proyectos, que son los dos primeros años, los montos se describen en la Tabla 11.



Tabla 12. Costos de mantenimiento

Actividad	Plantación		Semilla	
	Jornales (MXN)	Frecuencia	Jornales (MXN)	Frecuencia
Año 0				
Deshierbe	28	3	28	3
Eliminar plantas invasoras	0	0	0	0
Costo/Ha		\$ 184.00	\$ 184.00	
Subtotal (año 0)		\$ 15,470.00		\$ 15,470.00
Año 1				
Deshierbe	25	2	25	2
Eliminar plantas invasoras	4	4	4	4
Costo/Ha		\$ 184.00	\$ 184.00	
Subtotal (año 1) (MXN)		\$8,104.00		\$ 8,104.00
Año 2				
Deshierbe	10	2	10	2
Eliminar plantas invasoras	4	4	4	4
Costo/Ha		\$ 184.00	\$ 184.00	
Subtotal (año 2)		\$3,683.00		\$ 3683.00
Costo total mantenimiento (MXN)		\$ 27,257.00		\$ 27,257.00

Fuente: adaptado de Douterlungne y Ferguson, 2012.

Pasos de restauración

<i>Caracterización</i>	1. Describir el área	Delimitar el área Describir sus características Análisis geográfico y biótico (si es pertinente, zonificar) Caracterización ambiental Caracterización socioeconómica de usuarios
<i>Diagnóstico</i>	2. Evaluar el grado de alteración	Diagnóstico (comparación entre área alterada y área no alterada) Determinar grado de alteración Decidir la pertinencia de restaurar
<i>Propuesta</i>	3. Definir técnicas de restauración	Elegir entre el método de siembra directa o el método de trasplante
	4. Establecer un invernadero	Elegir entre un vivero temporal o un invernadero pertinente
	5. Seleccionar especies y colecta de semillas	Localizar fuentes de propágulos Colectar semillas y otros propágulos
<i>Operación</i>	6. Germinar y mantener las plántulas	Germinar las semillas Trasplante de plántulas Mantenimiento de las plántulas en invernadero
	7. Establecer las parcelas de restauración	Eliminar disturbios y factores de estrés Traslado de plantas al campo Siembra (definición de distribución y densidad)
<i>Seguimiento</i>	8. Mantenimiento y monitoreo	Mantenimiento de parcelas Monitoreo del crecimiento de plantas y de la condición de la parcelas
<i>Evaluación</i>	9. Evaluar éxito de restauración	Medir indicadores de éxito

Guía Práctica de de restauración para ecosistemas costeros

<i>Antes de restaurar</i>	Identificar el sitio dañado, su grado de daño y reconocer las posibles causas de su degradación (caracterización).
	Validar con los pobladores y usuarios del sitio la información sobre el estado original del mismo, las causas de su degradación, y conocer su interés en su recuperación (caracterización).
	Identificar un ecosistema o área “tipo” que sirva de referencia para definir los rangos estructurales y funcionales a recuperar (diagnóstico).
	Estimar el tiempo requerido para la restauración, los recursos económicos y humanos necesarios y, calendarizar el proceso de acción.
<i>Determinar la estrategia de restauración (propuesta)</i>	Elegir el tipo de práctica de restauración: pasiva o activa
	Si la práctica de restauración será activa, seleccionar el método de reintegración del ecosistema: proceso sucesional acelerado o implantación.
	Si el método de reintegración elegido es de implantación, seleccionar el enfoque (ecológico, fitogeográfico-fitisociológico, funcional, utilitario).
	Seleccionar el mecanismo de participación social que involucrará a pobladores y usuarios de la costa en el restauración.
<i>Implementar la estrategia de restauración</i>	Establecer un invernadero
	Seleccionar las especies a utilizar en la siembra o trasplante y ubicar las fuentes de propágulos y semillas
	Germinar y mantener las plántulas a trasplantar
	Establecer las parcelas de restauración
	Eliminar los factores de estrés y disturbio en las parcelas seleccionadas
	Diseñar el plan de siembra con base en el área tipo de referencia
<i>Evaluación de la estrategia de restauración</i>	Llevar a cabo la siembra
	Monitorear la evolución del proceso de recuperación a partir de indicadores
	Verificar si las especies empleadas, las parcelas seleccionadas, el diseño del
	Plan de siembra y la eliminación de los factores de disturbio fueron adecuados.
	Evaluar si el tiempo requerido para la restauración, los recursos económicos y humanos empleados y el calendario de acciones fueron adecuados.
	Estimar el porcentaje de recuperación logrado.

EN RESUMEN

Las acciones de restauración ecológica incluyen una serie de pasos que van desde la descripción o diagnóstico del lugar, hasta el monitoreo y evaluación de la práctica. En la Tabla 2 se resumen cada uno de estos componentes, así como el objetivo que buscan, sus actividades y una aproximación financiera.

Citas bibliográficas

- AMMAC, WWF. 2022. Diagnóstico del tráfico ilegal del jaguar en la Península de Yucatán. Resumen Ejecutivo. Informe Técnico Integrado Final del Proyecto “Diagnóstico del tráfico ilegal del jaguar y capacidades institucionales para la aplicación de la ley en el corredor selva maya” (Sosa-Escalante J.E., MasésGarcía C. A., Aguilar-Cordero W., Cruces-Casellas A., González-Bernal A., González-Saucedo Z., Martínez-Meyer E., Pech-Canché J.M. y Bautista-González J.E.). Asociación Mexicana de Mastozoología A.C., Word Wildlife Fund. Ciudad de México, México. 101 páginas + Inf. Sup
- Balam-Cetina, S., Chi-Uc, L. y Gómez-Ramírez, D., 2011. Servicios ambientales en las zonas costeras. *Jaina* 22:41–54.
- Ceccon, E., 2013. *Restauración en bosques tropicales: fundamentos ecológicos, prácticos y sociales*. UNAM, México D.F.
- Chan, C., V. Rico-Gray y Flores S., 2002. Guía ilustrada de la flora costera representativa de la Península de Yucatán. *Etnoflora Yucatanense*, Ed. Especial Fascículo. No. 19.
- Chávez, C. y Zarza, H., 2009. Distribución potencial del hábitat del jaguar y áreas de conflicto humano-jaguar en la península de Yucatán. *Revista Mexicana de Mastozoología* 13:46–62.
- Cortés-Ramírez, G., Gordillo-Martínez, A. y Navarro-Sigüenza, G., 2012. Patrones biogeográficos de las aves de la península de Yucatán. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83:530–542.
- Cuevas, F. E, González, G. B. I., Segovia, C. A. y Sosa, E. J., 2010. Tortugas marinas: poblaciones y hábitats críticos. En R. Durán y M. Méndez (Eds.), *Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán* Mérida: Centro de Investigación Científica de Yucatán/ PPD-FMAM/ Conabio/ SEDUMA. 262–263.
- Douterlungne, D. y Ferguson B., 2012. *Manual de restauración ecológica campesina para la Selva Lacandona*. Ecosur, Fondo CONACYT-CONAFOR.
- Escobar, E., Maass, M., Alcocer-Durand, J., Azpra-Romero, E., Falcón-Álvarez, L. y Gallegos-García, A., 2008. Diversidad de procesos funcionales en los ecosistemas. En: *Capital natural de México*, Vol. I. Conocimiento actual de la biodiversidad. México D.F. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 161–189.

- Flores, J. S., Duran R., Ortiz J. J., 2010. Comunidades vegetales terrestres. En: Duran R, Méndez M. (eds). *Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán*. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA. 125-139.
- Durán, R., Torres-Avilés W., Espejel-Carbajal I., 2010. Vegetación de duna costera. En: Duran R, Méndez M. (eds). *Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán*. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA. 136-137.
- Guadarrama, P., L. Salinas-Peba, X. Chiappa-Carrara y Ramos-Zapata J. A., 2018. Florística, composición y estructura de las comunidades vegetales de la porción occidental de la Reserva Estatal Ciénegas y Manglares de la costa norte de Yucatán. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 89:784-805.
- Guadarrama P., Salinas-Peba L., J. Ramos-Zapata, S. Castillo, L. Bonilla, X. Chiappa. 2016. Métodos de estudio en comunidades vegetales costeras de Yucatán y guía de campo. Secretaría de Investigación, Innovación y Educación Superior, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Huesca, M.A.K., 2017. Bases de ecología reproductora para la conservación de una colonia mixta de aves acuáticas en la reserva Estatal "Ciénegas y manglares de la Costa Norte de Yucatán. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias UNAM.
- May-Kú, M. A. y Ardisson, P. L., 2012. Distribución espacial de camarones peneidos en la laguna de Yalahau, Quintana Roo. En A. J. Sánchez, X. Chiappa-Carrara y R. Brito- Pérez (Eds.), *Recursos Acuáticos Costeros del Sureste*, Vol. I. Mérida: CONCIYTEY, UNAM. 160–174.
- Moreno-Casasola, P. y Paradowska, K., 2009. Especies útiles de la selva baja caducifolia en las dunas costeras del centro de Veracruz. *Madera y Bosques* 15:21–44.
- PESA-MÉXICO (Programa Especial para la Seguridad Alimentaria), 2007. Proyecto tipo. Producción de hortalizas a cielo abierto y bajo condiciones protegidas. FAO-SAGARPA.
- Ponce-Vélez, G., S Villanueva-Fagoso y García-Ruelas C., 2011. Vulnerabilidad de la zona costera. Ecosistemas costeros del Golfo y Caribe Mexicanos. En: A.V. Botello, S. Villanueva-Fragoso, J. Gutiérrez y J.L. Rojas Galaviz (eds). *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático*. Segunda Edición. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, UNAM-ICMYL, Universidad Autónoma de Campeche. 37-72.
- Rodríguez-Zúñiga, M.T., Troche-Souza C., Vázquez-Lule, A. D., Márquez-Mendoza, J. D., Vázquez- Balderas, B., Valderrama-Landeros, L., Velázquez-Salazar, S., Cruz-López, M. I., Ressler, R., Uribe-Martínez, A., Cerdeira-Estrada, S., Acosta-Velázquez, J., Díaz-Gallegos, J., Jiménez-Rosenberg, R., FueyoMac Donald, L. y Galindo-Leal, C. 2013. Manglares de México/ Extensión, distribución y monitoreo. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D.F. 128 pp.
- Sánchez, O., E. Peters, R. Márquez-Huitzil, E. Vega, G. Portales, M. Valdez y D. Azuara (Editores) 2005. *Temas sobre restauración ecológica. Diplomado en restauración ecológica*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Instituto Nacional de Ecología, U.S. Fish & Wildlife Service Unidos para la Conservación, A.C. México D.F.
- SER (Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group).

2002. The SER Primer on Ecological Restoration. (www.ser.org)
- Tun-Dzul F, Trejo-Torres J, Duran R. 2010. Pedenes. En: Duran R, Méndez M. (eds). *Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán*. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA.
- Tuz O.M.A. 2017. Los visitantes florales de las dunas costeras de la Reserva de Río Lagartos, Yucatán. Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Tizimín, Yucatán.
- Vargas-Pacheco, E., 1993. Una aproximación al mundo maya a través de la arqueología lingüística y fuentes históricas. En: Iglesias M., J. Ponce de León y F. Ligorred Perramon (coords.). *Perspectivas antropológicas en el mundo maya*. Editores Sociedad Española de Estudios Mayas, España. 363-372.
- van Andel, J., y J. Aronson (Eds.), 2006. *Restoration Ecology: The New Frontier*. Oxford Blackwell.
- Vester, H. F. M. y Calmé, S., 2003. Los ecosistemas terrestres de la Península de Yucatán: estado actual de los paisajes, vegetación, flora y fauna. En P. Colunga-GarcíaMarín y A. Larqué-Saavedra. (Eds.). *Naturaleza y sociedad en el área maya: pasado, presente y futuro*. México: Academia Mexicana de Ciencias y Centro de Investigación Científica de Yucatán. 159-173.
- Zaldivar-Jimenez, A., Herrera-Silveira J., Teutli-Hernández C., Hernández-Saavedra R. y Caamal-Sosa J., 2010. Manglares. En: Duran R, Méndez M. (eds). *Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán*. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA. 138-139 pp.
- Bibliografía complementaria**
- Durán, G. R., M. Méndez González y Orellana Lanza R., 2007. *Manual de propagación de plantas nativas de la península de Yucatán*. Vol. I. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de Yucatán, Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. Mérida, Yuc.
- Durán, G. R. y Dorantes Euán A., 2000. *Manual de propagación de plantas nativas de la península de Yucatán*. Vol. II. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.–Fondo del Medio Ambiente Mundial (FMAM)-Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Mérida, Yuc.
- Flores, S. y Espejel I., 1994. Tipos de vegetación de la Península de Yucatán. Etnoflora Yucatanense. Fascículo 3. Universidad Autónoma de Yucatán. México.
- López-Barrera, F., C. Martínez-Garza, y Ceccon E., 2017. Ecología de la restauración en México: estado actual y perspectivas. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 88:97-112.
- Martínez, M. L., 2009. *Las playas y las dunas costeras: un hogar en movimiento*. Fondo de Cultura Económica, México D.F. ,
- Rebollar Domínguez, S., Santos, S. V., y Sánchez A. R. L. 2012. Estrategias de recuperación de selvas en dos ejidos de Quintana Roo, México. *Madera y Bosque* (8):19-38.
- SEMARNAT, 2013. Manejo de ecosistemas de dunas costeras, criterios ecológicos y estrategias. México, D. F. 98.
- Urbanska, K.M., N.R. Webb y Edwards P.J. (eds), 2000. *Restoration Ecology and Sustainable Development*. Cambridge, University Press.

ANEXO A.

COSTO DE RESTAURACIÓN

A lo largo de cada una de las fases del proceso de restauración ecológica se fueron mostrando los costos en los que se incurre. El ejercicio que se presenta aquí es más bien una integración de dichos montos a fin de mostrar el costo total de implementar un proyecto de esta índole. Sin embargo, es importante enfatizar algunos aspectos:

La restauración en general, es una actividad que requiere una considerable inversión laboral y económica (Douterlungne y Ferguson, 2012), por lo que al llevarla a cabo en la zona costera, deben tenerse claros los motivos de su realización, no solo a nivel individual, sino a nivel grupal o comunitario. Estos van desde la protección al medio ambiente, el amortiguamiento de las contingencias ambientales, aprovisionamiento de insumos, hasta la conservación del paisaje con fines ecoturísticos.

Este manual presentó dos métodos de siembra y trasplante distintos con ventajas y desventajas cada uno y para ambos, se presentaron estructuras de costos. Si bien el presupuesto es un determinante para el diseño estratégico del proyecto, no es el único criterio que se debe considerar. La información que aquí se presenta debe ser entendida desde el contexto del área a restaurar, ya que es solo una aproximación; es decir, el costo de restaurar un área de aproximadamente una hectárea en la zona costera, puede ser considerablemente menor a lo que a continuación se expresa y eso debido a lo siguiente:

- Se consideró que todos los jornales requeridos eran contratados cuando muchas veces el trabajo se lleva a cabo por parte de los mismos involucrados (familiares u otros miembros de la comunidad).
- Para fines de simplificar o hacer generalidades, no se tomó en consideración que una determinada cantidad de territorio en las zonas costeras queda dentro de un tipo de Área Natural Protegida. En tal caso, existen subsidios que permiten minimizar los costos calculados.
- Los precios se tomaron a partir de la oferta y demanda de la zona centro del país y en casos ambiguos, se consideró la opción más costosa.

Si bien el método por semilla es el menos costoso, representa aquel con mayor incertidumbre ya que, por el contrario, aquellas opciones de plantación en ambientes controlados, garantiza un alto porcentaje de sobrevivencia de las plántulas.

Anexo A. Costos totales de restauración ecológica

Concepto	Método de siembra y trasplante				
	Plantación				Semilla (MXN)
	Túnel (MXN)	Madera (MXN)	Metálico (MXN)		
Preparación	Con cerca	\$ 19,516.00	\$ 19,516.00	\$ 19,516.00	\$ 19,516.00
	Sin cerca	\$ 6,446.00	\$ 6,446.00	\$ 6,446.00	\$ 6,446.00
Establecimiento		\$163,809.00	\$190,959.00	\$266,527.00	\$ 4,604.00
Mantenimiento 0		\$ 15,470.00	\$ 15,470.00	\$ 15,470.00	\$ 15,470.00
Mantenimiento 1		\$ 9,209.00	\$ 9,209.00	\$ 9,209.00	\$ 9,209.00
Mantenimiento 2		\$ 3,683.00	\$ 3,683.00	\$ 3,683.00	\$ 3,683.00
Total con cerca		\$ 211,687.00	\$ 238,837.00	\$ 314,405.00	\$ 52,482.00
Total sin cerca		\$ 198,617.00	\$ 225,767.00	\$ 301,335.00	\$ 39,412.00

