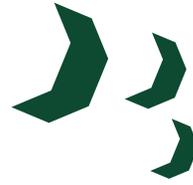




CONABIO



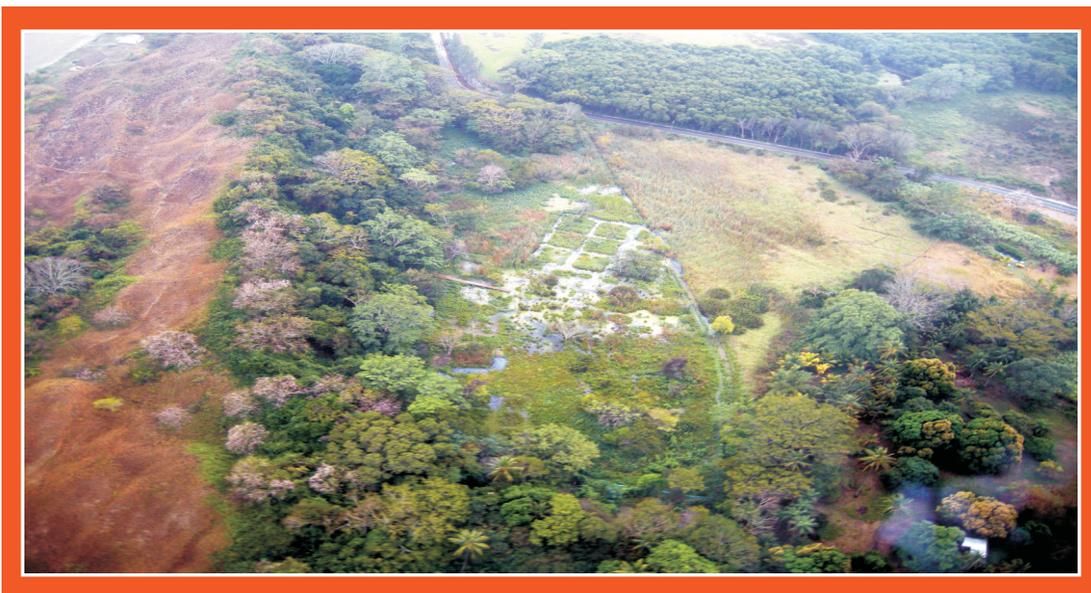
INSTITUTO DE ECOLOGÍA, A.C.

INECOL

# Propuesta de extrapolación de una experiencia de restauración de humedales

PROYECTO FH001

Restauración experimental de un popal  
invadido por el zacate alemán  
(*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE)  
en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano





# Propuesta de extrapolación de una experiencia de restauración de humedales

**PROYECTO FH001** Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán  
(*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano



# Propuesta de extrapolación de una experiencia de restauración de humedales

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán  
(*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

## Responsable del proyecto:

Dra. Patricia Moreno-Casasola Barceló

## Grupos de trabajo:

Dra. Fabiola López Barrera. Restauración

M. en C. Gustavo Aguirre León. Herpetofauna

Dr. Octavio Rojas Soto. Avifauna

Dr. Luis Alberto Peralta Peláez. Entomofauna

Dra. Ana Laura Lara Domínguez. Ictiofauna

Dra. Ma. Elizabeth Hernández Alarcón. Biogeoquímica

Dr. Hugo López Rosas. Restauración

I.A. Lorena Elisa Sánchez Higuero. Técnico

**Noviembre de 2009**



# Propuesta de extrapolación de una experiencia de restauración de humedales

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán  
(*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

## Contenido

<b>Generalidades</b> .....	1
1. ¿Qué es la restauración y la rehabilitación ecológica? .....	1
2. ¿Cómo decidir que es necesario un proyecto de restauración?.....	3
3. ¿Cómo se elabora una propuesta de restauración o rehabilitación?.....	5
4. El éxito de las actividades de restauración a corto y largo plazo: el manejo adaptativo .	10
<b>Particularidades</b> .....	14
5. Particularidades de la restauración de humedales: el manejo de la hidrología y la topografía .....	14
6. Lecciones aprendidas de la restauración de un popal en el sitio Ramsar La Mancha-El Llano. ....	23
7. Costos de restauración.....	45
8. Consideraciones finales.....	46



# Propuesta de extrapolación de una experiencia de restauración de humedales

---

**PROYECTO FH001** Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán  
(*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

## Generalidades

### 1. ¿Qué es la restauración y la rehabilitación ecológica?

La restauración ecológica como concepto integrador surge en los años ochenta. Sin embargo, como antecedente tiene el desarrollo de diversas áreas como la aplicación de técnicas de reforestación, recuperación de minas abandonadas, tratamientos de limpieza de aguas contaminadas, remediación de suelos contaminados, control de la erosión, ingeniería ambiental, jardinería y arquitectura del paisaje, silvicultura y prácticas agronómicas, etc.

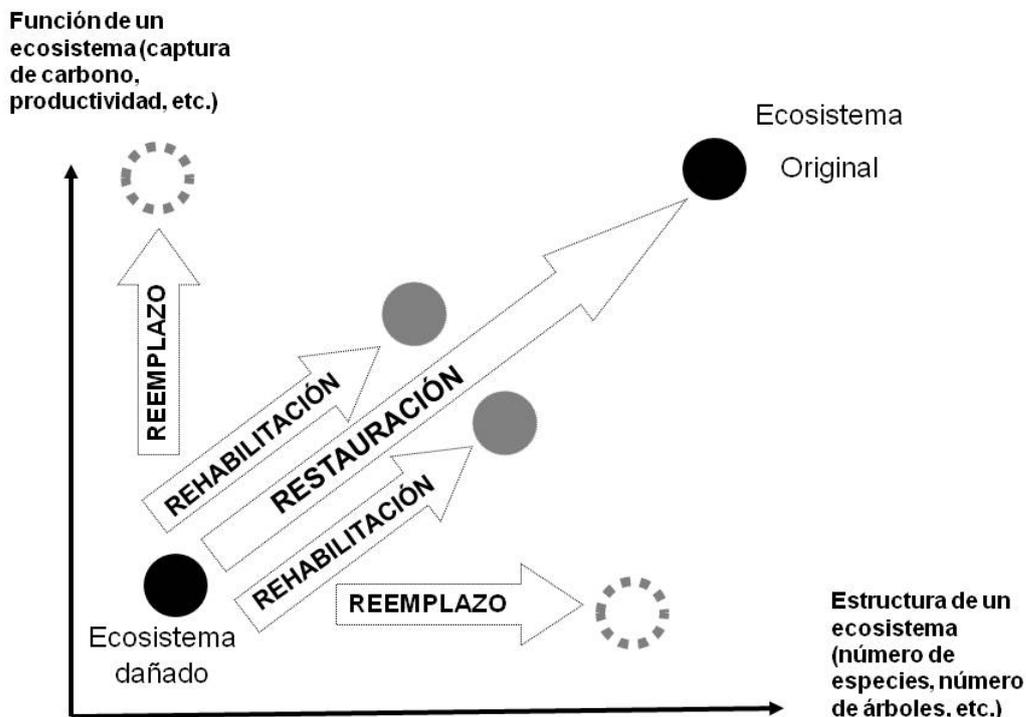
El concepto de restauración ha tenido una evolución en el tiempo, siendo ahora un concepto que se enfoca más en el proceso que en la meta. El último y más simple concepto manejado en la actualidad es el de la Sociedad para la Restauración Ecológica en el 2004 (SER, Society for Ecological Restoration):

*El proceso de asistir la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido.*

La restauración se define como una actividad intencional que incentiva o acelera la recuperación de un ecosistema con respecto a su salud, integridad y sustentabilidad. La intención es regresar un ecosistema a su trayectoria histórica (pero probablemente no a su estado inicial), basándose en información histórica, de sitios de referencia, ecosistemas comparables y otras fuentes de información. Para entender más claramente el concepto de la restauración, Bradshaw (1987), estableció un esquema (Fig. 1), que ejemplifica como la restauración ecológica se logra cuando un ecosistema dañado se lleva a su estado original, definido por cierto tipo de estructura (número de especies, número de estratos de un bosque, etc.), y por las funciones del ecosistema (productividad, captura de carbono, captación de

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

agua, etc.). Según Bradshaw (1987) cuando un ecosistema no llega a recuperar su estado original pero recupera parte de su estructura y función, se dice que el ecosistema se ha rehabilitado. La rehabilitación y la restauración difieren en sus metas y estrategias. La rehabilitación (Fig. 1) enfatiza la reparación de los procesos, la productividad y los servicios de un ecosistema, mientras que las metas de la restauración también incluyen el restablecimiento de la integridad biótica preexistente en términos de composición de especies y estructura de la comunidad. No obstante, la restauración, en el aspecto amplio que aquí se concibe, probablemente abarca una gran parte del trabajo de proyectos que se han identificado previamente como rehabilitaciones (SER 2004).

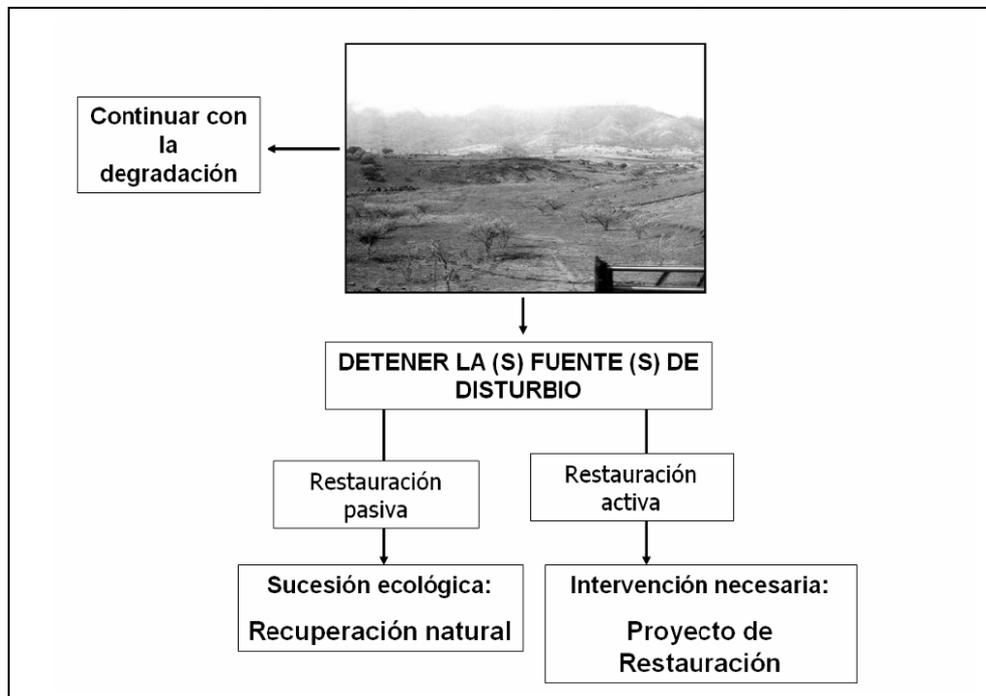


**Figura 1.** Figura que muestra esquemáticamente el concepto de restauración modificada de la versión original de Bradshaw (1987).

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

## 2. ¿Cómo decidir que es necesario un proyecto de restauración?

La decisión de restaurar un sitio puede estar determinada por diversos factores y algunas veces no está en nosotros la decisión de donde restaurar. Pero todo proyecto de restauración necesita una justificación de por qué la intervención es necesaria para recuperar ciertas funciones o estructuras y, de por qué creemos que la regeneración natural no tendrá un mejor resultado que nuestra intervención. La decisión no es trivial ya que los cambios que se induzcan deben ser sostenibles a largo plazo y sus resultados no han de ser sólo temporales. Un factor obvio pero muchas veces pasado por alto, es que para que un sitio sea restaurado, **debe detenerse la fuente de disturbio** que lo llevó a tal estado de degradación. Si esto no sucede o no tenemos control sobre la frecuencia e intensidad del factor de disturbio, la restauración será poco o nada exitosa (Fig. 2).



**Figura 2.** Se muestra la diferencia entre la restauración pasiva y la restauración activa.

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán  
(*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

La base primordial de la necesidad de la restauración tiene algunos de los siguientes supuestos:

- La degradación del sitio es tan alta que la regeneración o recuperación natural no ocurrirá o será muy lenta, ya que se perdieron componentes esenciales del ecosistema (como el suelo), o el factor de disturbio es persistente (por ejemplo, cuerpos de agua contaminados con metales).
- Aún cuando el sitio no está tan degradado, la matriz del paisaje si lo está, por lo que las fuentes de flora y fauna para la colonización del sitio no existen, lo que retardará la recuperación natural.

La restauración ecológica es costosa, por lo que debe considerarse el costo-beneficio en términos de las ventajas o desventajas que traerá consigo la zona restaurada para la población local, la región y la biodiversidad a nivel paisaje y hacer las estimaciones a diferentes escalas temporales. Un humedal restaurado logra mejorar las condiciones sanitarias, el suministro y calidad de agua, los recursos alimentarios e hídricos esenciales, generar actividades recreativas y de ecoturismo, el mejoramiento de los valores paisajísticos, las posibilidades educativas, la conservación del patrimonio cultural (sitios de interés histórico o religioso), entre algunos ejemplos.

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

### 3. ¿Cómo se elabora una propuesta de restauración o rehabilitación?

Los proyectos de restauración o rehabilitación son muy diferentes, pero los planes en general incluyen como mínimo, los puntos que se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Descripción general de un proyecto de restauración

SECCIONES	DESCRIPCION	EJEMPLO
Título	Debe indicar claramente el tipo de proyecto, si es de restauración, rehabilitación, reforestación, recuperación, etc. Debe ser breve pero informativo.	Restauración de un humedal que ha sido invadido por una gramínea africana ( <i>Echinochloa pyramidalis</i> ) en el sitio Ramsar La Mancha-El Llano, Veracruz.
Justificación de por qué se necesita la restauración activa o pasiva	Plantear la necesidad de rehabilitar/restaurar las funciones del ecosistema en cuestión. Señalar qué funciones se espera restaurar/rehabilitar y su valor dentro del ecosistema y para las comunidades locales, indicando claramente por qué la rehabilitación/restauración es la única opción y qué factores están impidiendo que este proceso se lleve a cabo de manera natural. Es fundamental que la fuente de disturbio o daño se haya detenido.	<i>Echinochloa pyramidalis</i> ha sido introducida en las zonas inundables que naturalmente tienen popales y en menor grado tulares para transformarlas en potreros. Su introducción frecuentemente va acompañada de obras de canalización para el drenaje de terrenos. Es una especie altamente productiva que invade rápidamente, acumulando biomasa seca y de esa manera va elevando el terreno y formando suelo. Estas características permiten que aunque el potrero haya sido abandonado, el terreno no pueda recuperar de forma natural las condiciones originales de topografía e hidropereodo necesarias para recuperar el humedal. Dada esta condición, la intervención con la restauración activa se vuelve una actividad prioritaria.
Una descripción ecológica del sitio	Descripción física y biológica del sitio a rehabilitar/restaurar, documentada mediante cartografía, en la que se incluya la localización	El sitio propuesto para la restauración es un popal de aproximadamente 2.6 ha perteneciente al Centro de Investigaciones Costeras La Mancha (CICOLMA). La vegetación del sitio fue descrita



# Propuesta de extrapolación de una experiencia de restauración de humedales

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

designado para la restauración	precisa de los sitios donde se llevarán a cabo las acciones, y el estado de degradación de los diferentes hábitats presentes.	por Novelo (1978). Poco después de esta descripción se comenzaron a realizar actividades que cambiaron la topografía y afectaron el hidropereodo del humedal. Entre 1978 y 1988 hubo un proyecto de granjas experimentales integradas en el que se construyeron chinampas, estanques de acuicultura y canales. En ese mismo periodo se introdujeron gramíneas africanas resistentes a la inundación en la zona como resultado de un proyecto para realizar ganadería en zonas inundables. En un potrero inundable contiguo al popal se introdujo el zacate alemán ( <i>Echinochloa pyramidalis</i> ). Esta especie entró al popal desplazando a las especies nativas y convirtiéndose en el elemento dominante de la comunidad. Actualmente la fisonomía del humedal invadido es la de un pastizal inundable con pequeños parches de vegetación nativa (tulares de <i>Typha domingensis</i> o popales dominados por <i>Sagittaria lancifolia</i> ).
Una explicación de cómo la restauración propuesta se integrará con el paisaje y sus flujos de organismos	La planeación de la restauración en un sitio debe ser congruente y compatible con los ecosistemas adyacentes o el tipo de uso de suelo de la matriz que lo rodea. El no integrar el sitio restaurado en el paisaje puede determinar que el proyecto no sea sustentable a largo plazo. Por ejemplo, si el sitio a restaurar está rodeado de sitios que tienen especies invasoras, es altamente probable que el sitio restaurado sea invadido por estas especies si no se realizan acciones para evitarlo.	El popal que se pretende restaurar se ubica entre una laguneta de agua dulce bordeada de vegetación arbórea (selva baja inundable), un sistema de dunas costeras, y una laguna salobre bordeada por manglar. Esta situación hace que el popal normalmente funcione como espacio de tránsito, anidación y refugio de fauna acuática (aves, reptiles, anfibios, peces, insectos y crustáceos) y, por lo tanto, de conservación de la biodiversidad. Los cambios en el ecosistema natural generados por la invasión del zacate alemán han disminuido la disponibilidad de este sitio como hábitat para mucha fauna silvestre debido a que disminuyó la variedad y calidad de alimento, se perdió la conectividad suelo-agua-aire por el exceso de materia orgánica acumulada sobre el suelo, la construcción de refugios subterráneos se dificulta por la compactación del suelo, y lo cerrado de la vegetación dificulta el tránsito de especies pequeñas como tortugas y aves vadeadoras. Por otro lado, la geomorfología del popal indica que éste funciona como un espacio de captación y



# Propuesta de extrapolación de una experiencia de restauración de humedales

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán  
(*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

		<p>retención del agua superficial y subterránea, de sedimentos, residuos agroquímicos y nutrientes provenientes de las áreas de cultivo cercanas e incluso de cuenca arriba. La re-introducción de la vegetación nativa y la re-nivelación de la topografía del suelo propuestas en este proyecto, permitirán que el humedal recupere la función de conservación de la biodiversidad y de retención del agua. Esta recuperación será sólo en aproximadamente 70% del total requerido, porque el humedal a restaurar colinda con un área inundable de propiedad particular a la que no se tiene acceso y cuyo uso es de potrero.</p>
<p>Establecimiento de las metas</p>	<p>Definir claramente las características y funciones del ecosistema que se pretende rehabilitar o restaurar. Las metas no se modifican una vez iniciado el proyecto.</p>	<p>Recuperar el régimen hidrológico, la composición de especies, la estructura y la función ecológica de humedal que ha sido invadido por una gramínea introducida de origen africano.</p>
<p>Establecimiento de los objetivos</p>	<p>Los objetivos deben ser muy específicos y vinculados a los indicadores de éxito de la restauración. Deben estar acotados en términos espaciales y temporales. Por ejemplo: Incrementar en un 20% la regeneración de 3 especies de árboles en 3 años. Pueden modificarse si se justifica según la trayectoria del ecosistema restaurado.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Recuperar el régimen hidrológico modificando el nivel topográfico de de la zona invadida hasta lograr un suelo saturado en época de secas y una inundación promedio de 30 cm en época de lluvias.</li> <li>2. Disminuir la cobertura de la especie invasora mediante el corte manual (chapeo, desbroce), en toda el área y sombreado temporal en los bordes del sitio a restaurar que están colindantes con terrenos con actividades agropecuarias.</li> <li>3. Permitir el establecimiento de las principales especies nativas sembrando semillas y plántulas</li> <li>4. Controlar el hidroperiodo del humedal construyendo una compuerta en la salida principal del agua del humedal hacia la laguna.</li> </ol>
<p>Una designación y descripción del ecosistema o sitio de</p>	<p>Describir sitios de referencia que representan un reflejo del pasado o de un ecosistema similar conservado. Ayudan a establecer indicadores</p>	<p>Los popales son humedales de agua dulce donde dominan plantas herbáceas emergentes de hojas anchas. Este tipo de vegetación se distribuye principalmente en Veracruz, Tabasco, Chiapas y</p>

# Propuesta de extrapolación de una experiencia de restauración de humedales

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán  
(*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

<p>referencia</p>	<p>para el monitoreo del éxito de la restauración</p>	<p>Campeche. Corresponde a un clima caluroso húmedo, con temperaturas medias anuales superiores a 25° C, ausencia de heladas y precipitación media anual superior a los 1,500 mm. Su fisonomía es de una comunidad densa de plantas herbáceas de 1 a 3 m de alto que forman un tapiz homogéneo.</p> <p>La vegetación acuática y subacuática no cubre grandes extensiones; sin embargo, es un grupo de gran importancia, tanto florística -debido a que se reconocen 747 especies de plantas acuáticas que en su mayoría no están restringidas en su distribución geográfica y alrededor de mil especies de fanerógamas, de las que el 15% son endémicas al país-, como de fauna, debido a que funciona como hábitat invernal para muchas especies de aves migratorias.</p> <p>La vegetación original del humedal a restaurar era la de un popal dominado por <i>Sagittaria lancifolia</i> y con presencia importante de <i>Typha domingensis</i>, <i>Pontederia sagittata</i> y algunas ciperáceas, entre otras (Travieso-Bello <i>et al.</i> 2005).</p>
<p>Métodos de la restauración incluyendo una estrategia para hacer correcciones rápidas a mitad de camino (manejo adaptativo)</p>	<p>Técnicas y métodos detallados que se emplearán para el desarrollo del proyecto, los cuales deben garantizar el logro de los objetivos propuestos. La programación de las actividades y obtención de resultados deben ser precisas y coincidentes con los objetivos y métodos del proyecto.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Definición de áreas de control</li> <li>-Caracterización del estado inicial</li> <li>-Rescate de individuos de especies nativas</li> <li>-Construcción de compuerta</li> <li>-Erradicación de pasto por chapeo y remoción del suelo</li> <li>-Rescate del banco de semillas y tubérculos</li> <li>-Nivelación de suelo para recuperar el hidroperíodo</li> <li>-Construcción de pasarelas</li> <li>-Reintroducción de especies nativas</li> <li>-Monitoreo del hidroperíodo y de otros indicadores fisicoquímicos y biológicos. El monitoreo constante es la clave para determinar si el proyecto está siguiendo el rumbo propuesto o si es necesario dejar de hacer algún tipo de manejo o aplicar nuevas acciones para</li> </ul>

# Propuesta de extrapolación de una experiencia de restauración de humedales

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán  
(*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

<p>Estándares de desempeño bien desarrollados y explícitos, con indicadores de progreso o éxito mediante los cuales se puede evaluar el proyecto;</p>	<p>Indicadores cuantificables que permitan revisar si el avance de la restauración corresponde a lo previsto y programado. Los indicadores deben coincidir con los objetivos.</p>	<p>permitir el cumplimiento de los objetivos. Indicador de la erradicación de la especie exótica: porcentaje de cobertura del pasto (dominancia). Indicador de la recuperación del hidroperíodo: tiempo, profundidad y frecuencia de inundación. Indicadores de la recuperación de la estructura florística del ecosistema original: porcentaje de supervivencia de plantas introducidas, regeneración natural de especies nativas (densidad de plántulas), porcentaje de cobertura por especies nativas seleccionadas (dominancia, estructura de la comunidad). Indicadores de la recuperación de la función ecológica del ecosistema: abundancia de ciertos órdenes de insectos como: Díptera, Coleóptera, Hemíptera y Odonata; abundancia y riqueza de grupos de anfibios y reptiles; indicadores fisicoquímicos de la calidad de agua y suelo: pH, conductividad, oxígeno disuelto, DBO, potencial redox, densidad aparente, porcentaje de materia orgánica, concentraciones de amonio, nitratos y fosfatos.</p>
<p>Estrategias para una protección y mantenimiento a largo plazo del ecosistema restaurado.</p>	<p>Explicar cómo se pretende asegurar que los cambios que se propone realizar en el sistema serán sostenibles a largo plazo y, cómo sus resultados no han de ser sólo temporales en el corto plazo.</p>	<p>En el extremo oeste del terreno de restauración que colinda con un potrero, se construirá un canal de un metro de profundidad y un metro de ancho y se sembrarán individuos de <i>Typha domingensis</i> en alta densidad. Esta profundidad impide el establecimiento del pasto alemán y la barrera de <i>Typha</i> impide el paso de individuos de pasto. Otro aspecto que debe ser considerado para asegurar la eficacia del proyecto es el manejo adaptativo. No tenemos antecedentes de experiencias de restauración de popales a partir de pastizales dominados por un pasto exótico. Tenemos que reconocer que debe haber hipótesis de trabajo u objetivos, que a partir del monitoreo periódico, serán probados y replanteados, así como técnicas y manejo que se adaptarán a las respuestas del ecosistema, impredecibles por ahora, durante el proyecto. El éxito del manejo adaptativo depende de un buen monitoreo (el cual lo está contemplando), y una buena capacidad de reacción.</p>

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

## 4. El éxito de las actividades de restauración a corto y largo plazo: el manejo adaptativo

El éxito de las actividades de restauración depende de que se establezca un **monitoreo adecuado** y con una buena selección de indicadores o atributos del ecosistema, que al irse midiendo en el tiempo, nos permitan evaluar si nos estamos acercando a la meta planeada del proyecto en particular. Esto se ejemplifica en la Fig. 3. El ecosistema se presenta con un círculo sombreado. Establecemos un **intervalo** de valores deseado con base en nuestro sitio o sitios de referencia del estado deseado. Monitoreamos en el tiempo la trayectoria de nuestro indicador. Es posible que el indicador no varíe a lo largo de todas las actividades de restauración, lo cual podría considerarse un fracaso de la restauración. Podemos también detectar una trayectoria deseada hacia la meta pero en el siguiente monitoreo se puede detectar un descenso no planeado (Fig. 3). Por ejemplo, el sistema puede sufrir la entrada y expansión en superficie ocupada de especies invasoras o el surgimiento de plagas e infecciones en plantas (síntomas de condiciones estresantes). Si nuestro monitoreo detecta estos cambios a tiempo podemos establecer **un esquema de manejo adaptativo** para regresar al ecosistema a la trayectoria deseada. Por el contrario, no monitorear nuestro indicador en la escala de tiempo adecuada, puede generar que no detectemos estos cambios y no tengamos capacidad de reaccionar, lo cual llevará a la restauración al fracaso.

El manejo adaptativo incorpora investigación en las acciones de restauración. De manera específica es la integración de diseño, manejo y monitoreo, para probar sistemáticamente la trayectoria de la restauración, a fin de poderse adaptar, reaccionar y aprender del proceso. No se trata, sin embargo, de un manejo al azar de ensayo y error. Por el contrario, involucra primero pensar sobre la situación del proyecto, desarrollar una serie de supuestos sobre lo que está ocurriendo y cuáles acciones se pueden utilizar para recuperar la trayectoria

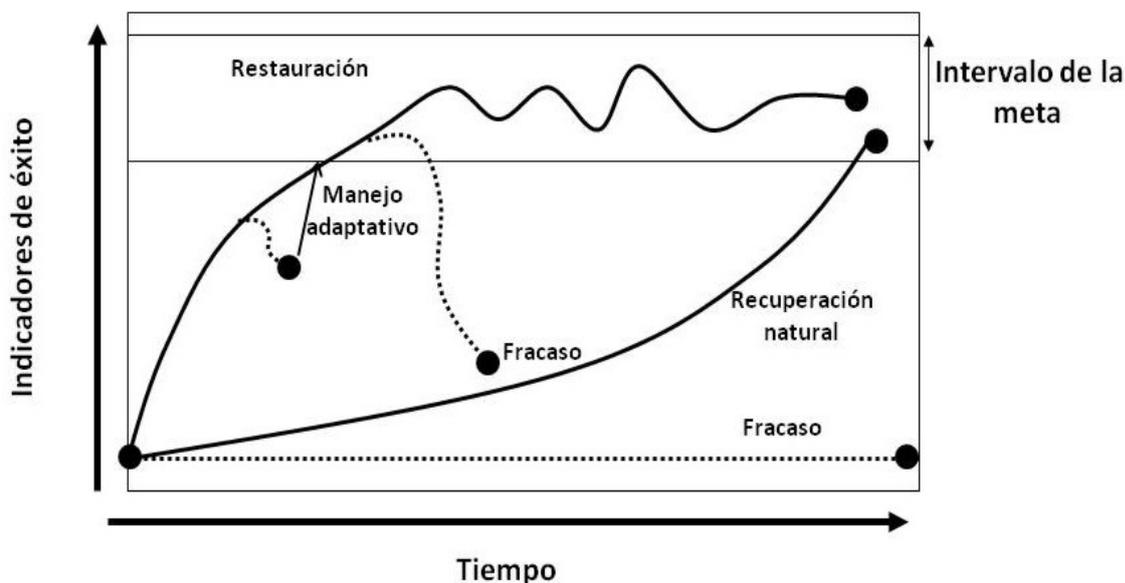
PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán  
(*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

deseada. Posteriormente, deben implementarse acciones y monitorear los resultados reales, para ver cómo se compara con lo que se predijo. La clave es desarrollar un entendimiento no sólo de cuáles acciones funcionan y cuáles no, sino también el por qué.

La adaptación se trata de actuar a tiempo para mejorar el proyecto de restauración con base en los resultados del monitoreo. Si las acciones planeadas no logran los resultados esperados, puede ser porque los objetivos estaban errados, las acciones mal ejecutadas, las condiciones en el sitio del proyecto cambiaron, los indicadores de éxito no eran los correctos o el monitoreo tenía algunas fallas – o una combinación de estos problemas. La adaptación involucra cambiar los objetivos sin cambiar la meta, para poder modificar las intervenciones. Aprender se trata de documentar sistemáticamente el proceso y los resultados logrados. Esta documentación ayudará al equipo a no repetir los mismos errores en el futuro. Más aún, ayudará a otras personas en el resto de la comunidad de la conservación a beneficiarse de sus experiencias. Otros profesionales están ávidos de aprender de los éxitos y sus fallas, de manera que puedan diseñar y manejar mejores proyectos y evitar algunos de los peligros y obstáculos que previamente se han encontrado. Al compartir la información de lo que se ha aprendido con un proyecto se ayudará a los esfuerzos de conservación alrededor del mundo. Detalles del manejo adaptativo se pueden encontrar en:

[http://sanctuaries.noaa.gov/management/pdfs/Day6\\_H10\\_AdaptMgmt\\_esp.pdf](http://sanctuaries.noaa.gov/management/pdfs/Day6_H10_AdaptMgmt_esp.pdf)

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano



**Figura 3.** Posibles trayectorias de algún atributo variable o indicador del ecosistema en restauración que esté siendo utilizado para determinar el éxito o el cumplimiento de una meta determinada con la restauración. Más detalles en el texto.

La restauración debe tener como meta general crear un sistema que requiera un mínimo de mantenimiento. Por ejemplo, el sistema de plantas, animales, microbios, sustrato y flujo de agua debe desarrollarse buscando que se automantenga y autodiseñe, que utilice las energías naturales tales como la energía potencial de un arroyo o los subsidios naturales al sistema y, debe integrarse al paisaje hidrológico y ecológico ya que cuando los ecosistemas están adaptados a esas condiciones su recuperación es más rápida.

La escala de tiempo es muy importante, a todos nos gusta ver resultados en el corto tiempo sin embargo el funcionamiento tarda en recuperarse, más aún cuando la degradación fue intensa y ocurrió por periodos de tiempo prolongados. Se pueden necesitar varios años antes de que las plantas se establezcan y exista

---

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán  
(*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

retención de nutrientes y fauna, la maduración de suelos puede llevar décadas, así como la recuperación de funciones ecosistémicas. Después de la intervención, hay que dejar que la sucesión juegue su papel.

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

## Particularidades

### 5. Particularidades de la restauración de humedales: el manejo de la hidrología y la topografía

#### *La función del exceso del agua en la vegetación de humedales*

El exceso de agua que genera la saturación o inundación del suelo es la principal característica que determinará la presencia de humedales en un terreno específico. Cuando el suelo se satura o inunda, la primera consecuencia es que la cantidad de oxígeno disponible en el suelo para el metabolismo de las raíces de las plantas y de los microorganismos del suelo, disminuye unas 10,000 veces en comparación con el suelo seco. Como consecuencia de la inundación, muchas plantas mueren al no disponer de oxígeno suficiente para realizar actividades metabólicas como la respiración. En estas condiciones, son pocas las plantas que pueden tolerar o evitar las consecuencias de la inundación.

14

Las plantas de los humedales presentan adaptaciones morfológicas y fisiológicas que les permiten sobrevivir con exceso de agua y por tanto escasez de oxígeno. Entre las características más frecuentes está la presencia del aerénquima en raíces, tallo y hojas. El aerénquima es un tejido caracterizado por una gran cantidad de canales de aire. La función del mismo en las plantas es doble: en primer lugar permite el flujo de oxígeno de las estructuras aéreas de las plantas (hojas y tallo) hacia las estructuras subterráneas (raíces, rizomas), y en segundo lugar, permite la dilución y liberación a la atmósfera de los gases tóxicos para las plantas que se forman en los suelos inundados (p. ej. sulfuro, metano). Además del aerénquima, las plantas de los humedales pueden presentar otros mecanismos que les permiten sobrevivir en condiciones de inundación como son el desarrollo de raíces adventicias, contrafuertes en árboles, alargamiento de

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

tallos en plantas enraizadas con hojas flotantes y lenticelas, además de adaptaciones fisiológicas. Cuando la inundación es con aguas salobres o saladas se añade un estrés más producido por la sal. El contacto de las células de la raíz de la planta con condiciones de salinidad produce una sequía fisiológica que hace que fluya agua del medio más concentrado al menos concentrado, sacando el agua de las raíces. Además la sal es un ión tóxico que afecta la fisiología celular. Las plantas tolerantes a la salinidad tienen adaptaciones como turgencia, glándulas excretoras de sal, vacuolas contenedoras de sal, entre otras.

Dado este panorama, queda claro que la inundación y el exceso de sal son condiciones estresantes para las plantas, por lo que no es esperable que cualquier planta pueda crecer en los humedales. El número de plantas de humedales, o hidrófitas de zonas tropicales, es reducido en comparación con el número de plantas terrestres. A excepción de las hidrófitas estrictas, muchas plantas de humedales que logran evadir las condiciones estresantes provocadas por la inundación y/o salinidad (p. ej. plantas en macetas, viveros o en cultivos con control de malezas), pueden sobrevivir y completar su ciclo de vida. Sin embargo, en la naturaleza no ocurre la presencia de hidrófitas en tierra firme. Muchos autores han explicado esta situación debido a que las hidrófitas forzosamente requieren del exceso de agua para poder completar sus ciclos de vida, pero cada vez hay más datos, sobretodo de origen experimental, que refuerzan la hipótesis de que la ausencia de hidrófitas en tierra firme es más debida a su baja competitividad con las plantas terrestres. Mientras que, en el otro lado de la moneda, las plantas terrestres no logran entrar y desplazar a las hidrófitas en terrenos de humedales porque las condiciones de inundación se los impiden.

Si se tiene siempre presente la información expresada en los párrafos anteriores, es fácil entender por qué los terrenos de humedales que son secados de forma natural (sequía extrema, azolve histórico), por acción antropogénica directa

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

(relleno, drenado, construcción de diques o cualquier modificación de la topografía), o indirecta (introducción de especies altamente productivas y con altos requerimientos de agua), en la mayoría de los casos, son ocupados por plantas terrestres de características pioneras, que posteriormente, en el proceso de sucesión, pueden dar lugar al establecimiento de pastizales, matorrales o bosques terrestres. Un ejemplo muy claro de esto es la creación de potreros a partir de humedales, ya que al drenarlos se favorece la presencia de otras especies, y si se introduce de manera directa un pasto forrajero, este terreno se convierte en un potrero. Esto ocurre porque al cambiar la hidrología de un terreno inundable a la de un terreno seco o por lo menos más seco, desaparecen las condiciones estresantes que impedían la colonización y establecimiento de plantas terrestres.

La hidrología del humedal define el tipo de humedal que se establece, ya que el hidroperiodo, es decir la frecuencia, la temporalidad y la profundidad o nivel de inundación, determinan las especies que forman cada humedal. Las condiciones impuestas por el hidroperiodo son muy importantes para el mantenimiento de la estructura y funcionamiento de estos ecosistemas, debido a que crean condiciones físicas y química únicas que afectan varios factores como la anaerobiosis del suelo, la acumulación de materia orgánica, la disponibilidad de nutrientes, la riqueza y composición de especies y la productividad primaria. Todos estos procesos tienen rangos que constituyen la ecología de un tipo humedal y lo caracterizan. Por tanto, en un proceso de restauración uno de los aspectos fundamentales es recuperar el hidroperiodo y mantenerlo a través del tiempo. Ello implica recuperar y mantener la frecuencia y periodicidad de las inundaciones a través del año, es decir qué tantas veces al año se seca o se inunda y durante qué periodo de tiempo, en qué parte del año con respecto a la fenología y fisiología de las especies y finalmente el nivel de inundación, ya que los árboles pueden tolerar niveles más altos que algunas herbáceas.

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

La topografía está estrechamente ligada con el nivel de inundación. Unos cuantos centímetros pueden cambiar el tiempo de permanencia de la inundación sobre el nivel del suelo y en la zona de raíces de las plantas. Pueden modificar el tiempo que dura la escasez de oxígeno y por tanto seleccionar plantas con mayor o menor tolerancia. Ello va a tener repercusiones en la estructura y composición de la comunidad vegetal. También va a afectar los hábitats de especies acuáticas y afectará las posibilidades de reproducción de las especies, las cadenas tróficas, entre otros. En el caso de las distintas especies de mangles que hay en México, el éxito de restauración está asociado de manera importante con la topografía existente y la selección de especies para cada zona topográfica.

Cuando se identifica que la causa de degradación de un humedal fue por cambios en la hidrología y/o topografía (ambos factores estrechamente relacionados), que provocaron la desaparición de especies nativas y un cambio completo en la fisonomía de la vegetación, la estrategia más adecuada para recuperar la vegetación original del humedal es por medio de la recuperación las condiciones hidrológicas y topográficas originales, antes que por medio del trasplante de especies nativas.

La recuperación de los niveles topográficos y la hidrología naturales de un humedal, es una actividad prioritaria en la restauración de estos ecosistemas. Una vez recuperadas estas condiciones, la vegetación de hidrófitas se establecerá rápidamente a menos que existan otros factores como la contaminación del suelo, cambios en la estructura y permeabilidad del suelo, o presencia de especies invasoras que impidan el establecimiento de la vegetación natural.

*Otros aspectos a tener en cuenta para la restauración de humedales*

La necesidad de hacer retroceder la degradación de los humedales ha dado lugar a la puesta en marcha de numerosos proyectos de restauración en todo el

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

mundo. Cada proyecto de restauración es único y si bien estos principios y orientaciones se han concebido para que sean útiles en muchas situaciones, no son universalmente aplicables ni definitivos, sin embargo, en todos los casos una planificación detenida reducirá las posibilidades de que sobrevengam efectos secundarios indeseados. Para facilitar la planificación deben evaluarse las características del sitio objeto de examen y los factores que pudieran afectar a su viabilidad y eficacia.

Los procesos naturales deben examinarse durante la selección, preparación y elaboración del proyecto. En la medida de lo posible, se deben aplicar principios de ingeniería ecológica, más que métodos que requieran estructuras duras o grandes excavaciones. Siempre que sea posible, la escala mínima de planificación aceptable de restauración de humedales debiera **ser la cuenca de captación**.

Los proyectos concretos de envergadura relativamente pequeña orientados a un único humedal pueden ser útiles siempre que se planifiquen en el contexto de la cuenca de captación. La planificación de la restauración de los humedales no debe desestimar el valor de los hábitat de tierras altas y los nexos entre los hábitat de humedales y tierras altas. La planificación de la restauración de humedales requiere tomar en consideración los principios que rigen la asignación de los recursos hídricos y el papel que la restauración puede desempeñar en el mantenimiento de las funciones ecológicas de los humedales. Debe recordarse que para mantener el humedal hay que conservar el hidropereodo y el presupuesto o balance de agua que dan las características específicas de nivel de inundación. Es importante detectar cuál es la principal fuente de agua del humedal, pues es necesario conservarla: escurrimientos superficiales o subsuperficiales de la cuenca de captación, elevación del manto freático que a su vez se ha alimentado de las zonas de captación de la cuenca, o lluvias. En el caso de humedales salobres las mareas son otra fuente importante.

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

La restauración de humedales es un proceso abierto y por ello debe involucrar a los interesados directos de la comunidad, así como a los interesados indirectos que vayan a resultar afectados por un proyecto, aun cuando estén lejos del lugar de su ejecución. Debe comprender además de los dueños del predio, a las comunidades locales y las poblaciones tribales e indígenas, así como los intereses sectoriales *in-situ* y *ex-situ*; todos ellos debieran participar plenamente en el proyecto de restauración de humedales desde sus primeras etapas hasta su custodia a largo plazo, comprendida la etapa de ejecución.

La restauración requiere una custodia a largo plazo, lo que abarca gestión y monitoreo continuos (véase RAMSAR: Un diagrama para establecer un programa efectivo de monitoreo de humedales, anexo de la Resolución VI.1). La restauración eficaz debiera concebirse, en lo posible, con vistas al automantenimiento, pero suele requerir también de un grupo de personas que comprenda la necesidad de custodia a largo plazo, los recursos necesarios para respaldar esta custodia y un compromiso de hacerla efectiva. El establecimiento de incentivos puede contribuir en grado apreciable al éxito a largo plazo del proyecto de restauración.

La planificación de la restauración de los humedales debe incorporar, siempre que sea posible, el conocimiento de la gestión tradicional de los recursos que contribuyó a la configuración del paisaje. La incorporación de los conocimientos y la gestión ambientales tradicionales y las prácticas de recolección sostenibles por la población local debe constituir un componente integral de la restauración.

- La restauración es más factible que la creación de humedales. El buscar un sitio donde hayan existido humedales o que estén cerca hace factible que el sustrato sea adecuado, que haya fuentes cercanas de semillas y que existan las condiciones hidrológicas apropiadas.

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

- Evaluar la posición del humedal propuesto en el paisaje. Los paisajes tienen patrones naturales que maximizan el valor y función de hábitats individuales. Por ejemplo humedales aislados funcionan de manera muy diferente a aquellos vinculados con arroyos o planicies de inundación. Un humedal arbóreo en una planicie con pastos funcionará de manera diferente a uno cercano a un bosque.
- Llevar a cabo un estudio hidrológico detallado del sitio, incluyendo la determinación de la interacción potencial entre el manto freático y el humedal propuesto. Se requieren suelos saturados por lo menos parte del año. En humedales intermareales hay que tomar en cuenta las mareas.
- Determinar la tenencia de la tierra, el precio y también la de los sitios de donde provienen los flujos de agua. Tomar en cuenta el uso del suelo alrededor del sitio escogido y los futuros planes de desarrollo del suelo. Frecuentemente es necesario comprar tierras adicionales para proveer una zona buffer. Asegurar que hay suficiente tierra para asegurar los objetivos.
- Hay que dar espacio para el “envejecimiento del humedal” es decir los cambios en el funcionamiento producido por las entradas de sedimentos, nutriente, etc.
- Localizar un sitio donde sea frecuente la inundación natural. Se debe visitar el sitio durante épocas de lluvias y conocer su comportamiento en extremos de sequía y de inundación.
- Inspeccionar y caracterizar los suelos con detalle para determinar su permeabilidad, textura y estratigrafía. Suelos muy permeables no podrán mantener un humedal a menos que los flujos de entrada sean excesivos.
- Caracterizar cualitativa y cuantitativamente suelos, manto freático, flujos superficiales, ríos y arroyos, así como mareas que van a afectar la

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán  
(*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

calidad del agua. Estos aspectos son importantes para la productividad del humedal y para que la flora se establezca.

- Evaluar en el sitio y en sitios cercanos la viabilidad de los bancos de semillas para asegurar su respuesta a condiciones hidrológicas.
- Asegurar que se tiene en existencia el material que se necesite, las semillas y las plantas, así como acceso a infraestructura (caminos, energía eléctrica, etc.). Esta parte es fundamental durante el periodo de modificación de las condiciones de topografía.
- Para potenciar la presencia de fauna y pesca, revisar si el humedal está en el camino de pasos migratorios (de fauna y peces durante desove).
- Evaluar si hay posibilidad de usar maquinaria, o si el trabajo debe hacerse con base en mano de obra.

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

## Restauración de humedales herbáceos

Los humedales presentan una característica básica: el agua, por lo tanto son la hidrología y la topografía los factores básicos para lograr la restauración deseada, lo que permite lanzar una guía eje con las siguientes etapas:

### 1. Hidrología y topografía

Se deben realizar acciones que garanticen el abastecimiento de agua como son la renivelación (comúnmente bajando el nivel o colocación temporal de estructuras que retarden la desecación del mismo), y la recuperación y/o obtención de un nuevo afluente de agua.

### 2. Reducción de nutrientes

Realizando la remoción de la capa superficial del suelo (renivelación), se logra la extracción de un suelo alterado y del banco de semillas así como un nivel de inundación mayor. Es necesario tener presente el llevar el suelo extraído a un sitio alejado. Las podas y extracción de la vegetación es otra forma de lograrlo pero puede presentar menor eficiencia. La extracción de la vegetación flotante en el espejo de agua o la poda regular de la vegetación emergente (como *Typha* spp), también es una forma de extraer nutrientes.

### 3. Control de la colonización y sucesión

Al frenar el disturbio es importante que el hidroperiodo y la topografía sean adecuadas para el establecimiento de comunidades vegetales de humedales. Si bien en un inicio se pueden presentar especies pioneras, las hidrófitas ocuparán su lugar (bajo las condiciones adecuadas).

### 4. Supervivencia, recolonización y reintroducción de especies

El sitio presentará la recolonización natural por las plantas de humedal que estuviesen presentes aún durante el disturbio o por el banco de semillas. Sin embargo es posible estimularla o ayudarla con el banco de semillas de humedales cercanos no alterados así como por trasplantes de individuos a fin de favorecer la diversidad.

#### Sitios de consulta útiles:

<http://www.epa.gov/owow/wetlands/restore/>

<http://www.epa.gov/wetlands/facts/restoration.pdf>

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

## 6. Lecciones aprendidas de la restauración de un popal en el sitio Ramsar La Mancha-El Llano.

### ¿Cómo iniciamos?

Las preguntas que se deben hacer los ejecutores o planificadores de un proyecto de restauración se muestran en la siguiente tabla, en donde también se muestra cómo nos contestamos para nuestro caso en La Mancha dichas preguntas:

Preguntas claves	Caso La Mancha-El Llano
¿El sitio a restaurar aún tiene la fuente de disturbio?	El caso de organismos invasores es muy peculiar, pues aunque la premisa de la restauración es que se ha eliminado la fuente de disturbio, en el caso de sitios invadidos, la restauración contempla la eliminación del disturbio, en este caso el de las especies invasoras. Conocer la biología de la especie invasora fue determinante para el éxito de la restauración, por ejemplo, ésta no se hubiera logrado si las semillas de la especie invasora tuvieran alta capacidad de germinación.
¿El sitio tiene estabilidad en cuanto a tenencia de la tierra y planificación de uso de suelo?	La restauración es un proceso difícil y costoso por lo que nuestra experiencia se realizó dentro de un sitio RAMSAR con la posibilidad de hacer monitoreos a largo plazo.
¿El sitio aun cuenta con elementos originales que puedan servir de referencia y como fuentes de regeneración?	En nuestro caso la respuesta es sí, y la recuperación de la estructura del humedal se dio al modificar el hábitat y con la llegada de especies de flora y fauna, sin embargo, no podemos considerarlo nuestro sitio de referencia a largo plazo ya que para definir el éxito lo mejor sería encontrar varios sitios de referencia independientes y tener datos de la variabilidad temporal en la estructura y función

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

<p>¿Conocemos la hidrología y topografía del humedal transformado?</p>	<p>Para el caso de los humedales, esta información es básica, en nuestro caso teníamos estudios previos de estos temas lo que facilitó la zonificación de las actividades de manejo y la manipulación de los niveles de inundación.</p>
--	---

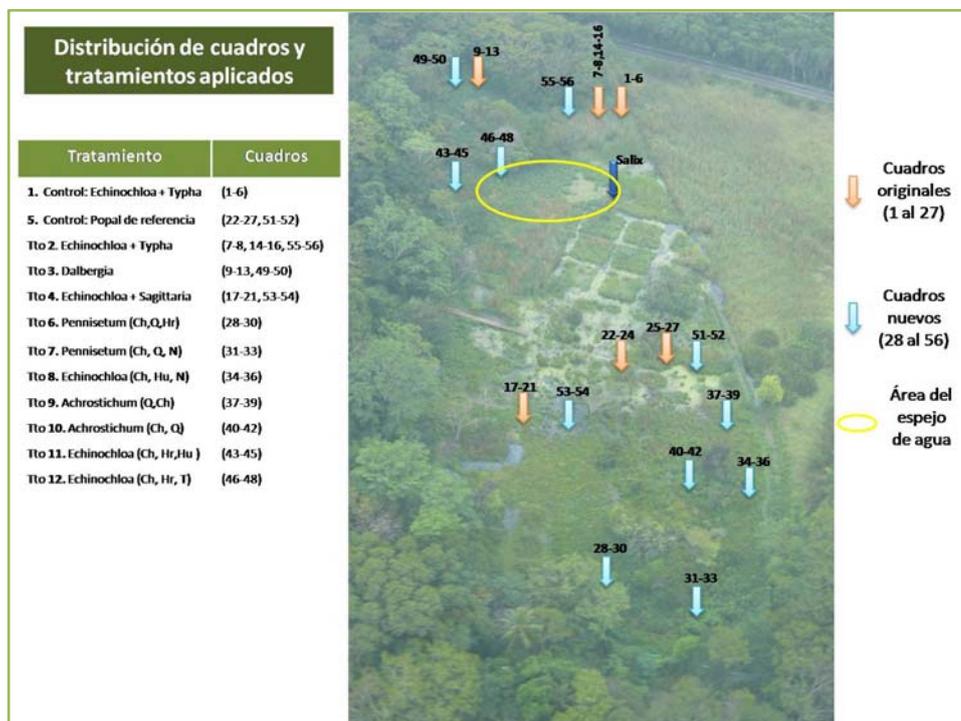
## Monitoreo del tiempo cero

El monitoreo del estado inicial es posiblemente la acción más crítica y útil de un proyecto de restauración. Es importante porque ya sea que se haga antes o después de someter un proyecto a financiamiento o a consenso, es la información que dará pauta al establecimiento de objetivos particulares para llegar a cumplir la meta de la restauración. En nuestro caso el monitoreo inicial fue crucial en la redefinición de objetivos. Nuestro monitoreo inicial incluyó el establecimiento de cuadros control que cubrieran el área donde se midieron indicadores del estado inicial y también un muestreo de las condiciones del suelo en cuanto a sus variables físicas y el contenido y diversidad del banco de semillas. La mejor estrategia del monitoreo del tiempo cero es establecer unidades de muestreo pequeñas pero en gran cantidad y dispersas para cubrir la heterogeneidad del sitio (Fig. 4). Igualmente, si es posible, dejar en el borde o en un área adecuada cuadros control, es decir, cuadros donde no se realicen actividades de restauración, con el fin de conocer qué hubiera ocurrido con el sitio si no se hubiera intervenido. En el caso de especies invasoras este punto es delicado, pues si se dejan estos cuadros sin la eliminación de la especie invasora, esta puede ser la fuente de reinvasión de las áreas restauradas. En este caso puede justificarse no tener estos tipos de cuadros control. En el caso del popal dew La Mancha los tuvimos porque en el pastizal adjunto tenemos un sitio invadido con esta especie, por lo que colocamos cuadros control en el borde con este pastizal y la superficie que cubren no cambiaría significativamente el riesgo de invasión,

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

para este ultimo tuvimos otras estrategias que aún siguen siendo evaluadas (ver en acciones de manejo, barreras contra reinvasión). Los cuadros control más importantes que deben ser monitoreados a la par de los cuadros en que se realiza el manejo son los cuadros de los sitios de referencia. Estos pueden estar en el sitio de referencia, que en la presente experiencia, encontramos un área sin invasión y con la vegetación original dentro del mismo humedal. Se debe considerar que para ser comparables deben medirse con la misma temporalidad y deben de ser del mismo tamaño (misma unidad de medición).

Los cuadros permanentes de monitoreo deben marcarse de manera que puedan ser relocalizados en cada monitoreo, en la Fig. 5 se muestran los cuadros que utilizamos en este proyecto.



**Figura 4.** Se muestra la disposición espacial de cuadros permanentes de monitoreo. Cuando se inicio el proyecto la heterogeneidad del sitio no era tanta ni se habían realizado acciones de manejo por lo que 27 cuadros eran suficientes, sin embargo, conforme el proyecto avanzo y se crearon nuevos parches de

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

vegetación y nuevas zonificaciones de acuerdo al manejo se tuvo que aumentar el número de cuadros de monitoreo.



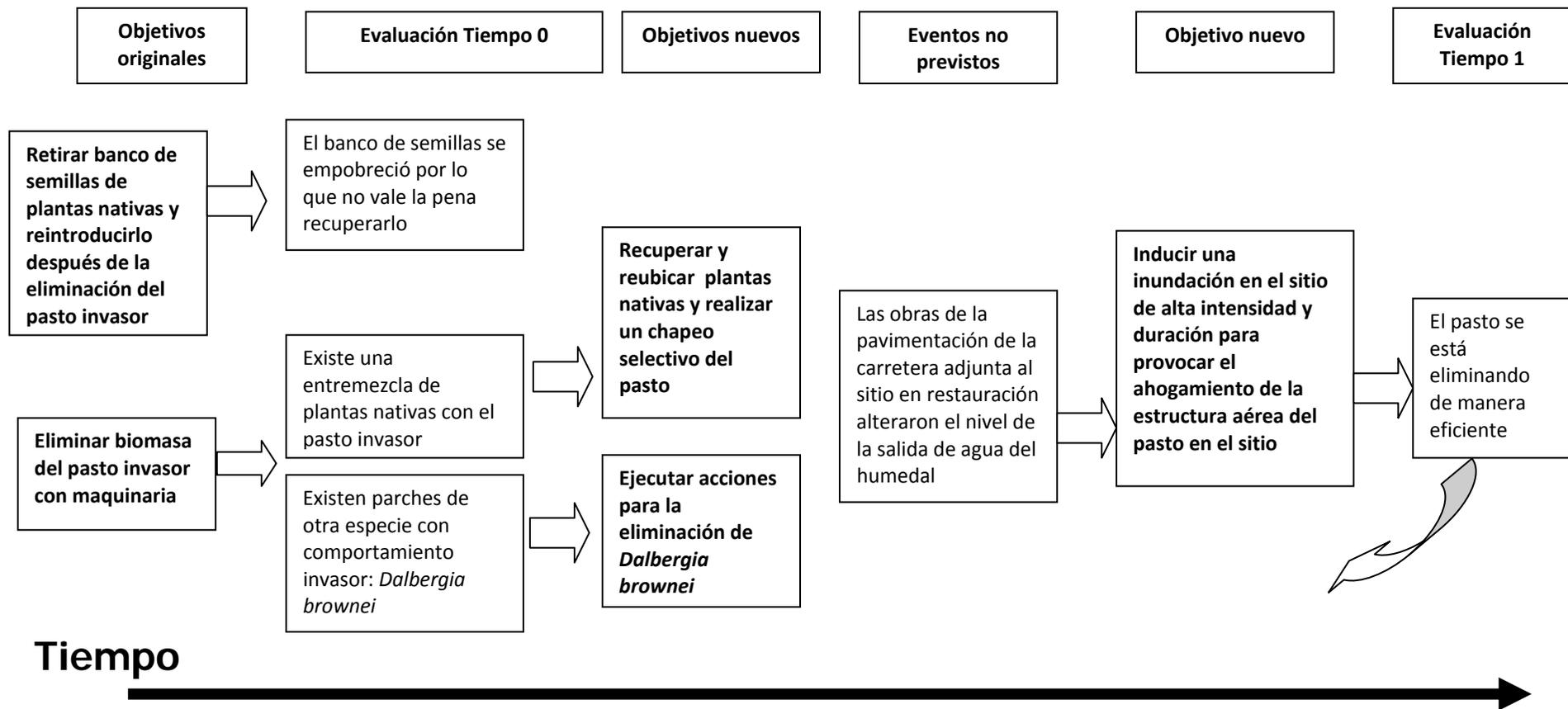
**Figura 5.** Muestra la forma de marcar utilizada para los cuadros de monitoreo de 1 x 1 m. Las cuatro esquinas fueron marcadas con estacas de aluminio y una cinta plástica roja en las puntas para mantenerlas visibles.

26

**Figura 6.** Ejemplo esquematizado del manejo adaptativo con algunos de los cambios que se dieron en el proyecto. Es importante notar que la meta no cambia a lo largo del desarrollo de un proyecto, pero si los objetivos pueden replantearse siempre y cuando exista una evaluación previa o un evento no previsto que ocasione que se generen o eliminen ciertos objetivos. El resultado de los nuevos objetivos tiene que evaluarse con los monitoreos, un monitoreo adecuado ayudará a realizar las modificaciones en la dirección y tiempos adecuados.

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán  
(*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

## Meta: recuperar la estructura y función originales



PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

## Diversidad de acciones de manejo

A lo largo del proyecto se establecieron diferentes actividades de manejo, las cuales no solo variaron en el tiempo, sino también espacialmente dentro del sitio. Estas variaciones se establecían de acuerdo a diagnósticos realizados durante toda la duración del proyecto que permitían tomar decisiones sobre cómo, cuándo y dónde ejecutar ciertas acciones. En el cuadro 2 presentamos las actividades que se realizaron, no tienen un orden pues dependiendo de cada sitio a restaurar y su problemática las acciones serán diferentes o realizadas en diferentes momentos y lugares.

**Cuadro 2.** Breve descripción de las acciones de manejo realizadas durante el proyecto de restauración.

Acciones de manejo para la restauración	
<p><b>Chapeo selectivo:</b></p> <p>Este debe realizarse cuando se requieren eliminar algunas plantas que no permiten que la recuperación del sitio se logre, cuando se encuentran plantas que queremos conservar o cuando no se puede meter maquinaria en un sitio. Aunque parece una actividad muy simple, debe haber mucha comunicación con los que harán el chapeo, ya que la decisión de qué eliminar o no tendrá repercusiones en la dominancia de la vegetación o en la salud de la fauna del suelo, etc.</p>	

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

## Extracción de plantas y fauna nativas:

Se trata de una actividad que debe hacerse con planificación. Deben ser apropiados los métodos de extracción de plantas y fauna (i.e. el daño a las raíces, etc.), el transporte deber ser rápido a su sitio final o a un sitio temporal, si este último es el caso, este debe ser acondicionado de acuerdo al tipo de organismo (i.e. contenedores con agua del sitio colocados en la sombra para no someter a las plantas o animales a mucho stress).



## Reubicación de flora y fauna:

Requiere de identificar las áreas que ya han sido liberadas del agente de disturbio, en este caso de la especie invasora, y que tengan las condiciones ideales de acuerdo a la biología de cada especie, por ejemplo, nivel del suelo, profundidad y temporalidad de la inundación, cantidad de sombra, etc. El seguimiento de la supervivencia de las especies reubicadas deberá ser constante para asegurar su éxito.



## Renivelación:

En el caso particular de humedales, se deberá identificar cuando el resultado de la perturbación ha generado una acumulación excesiva de suelo y sedimentos que afectan la hidrología. En este caso es necesario renivelar el suelo para asegurar que ocurra la inundación y evitar así la invasión con especies de tierra firme.



PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

## Malla sombra:

Debido a la heterogeneidad de la topografía del terreno, las zonas más elevadas del humedal no se lograron inundar para ahogar a la especie invasora. En estos casos fue necesario disminuir la cantidad de luz que llega a las plantas usando malla sombra. Esta acción tiene un efecto diferencial, siendo negativo para plantas de alto requerimiento de luz como la especie invasora (con fotosíntesis C4) y positivo para la mayoría de plantas nativas con fotosíntesis C3, con menores requerimientos de luz.



## Quema:

Es una acción poco recomendable porque afecta tanto a fauna, como hongos y microorganismos del suelo. La quema debe hacerse de manera estrictamente controlada, en las zonas donde el exceso de material viable de la especie invasora (raíces, rizomas, tallos) sea muy difícil o costoso de extraer. Después de la quema, el suelo deberá restaurarse con acarreo de suelo de un humedal de referencia.



## Aplicación de herbicidas:

Herbicidas sistémicos como el glifosato pueden utilizarse en extensiones de poca humedad y con alta densidad de la especie dañina, procurando evitar contaminar suelo y agua. En especies de menor densidad como el arbusto *Dalbergia brownii*, resistente al glifosato, pueden hacerse aplicaciones localizadas con herbicidas más tóxicos introduciendo directamente el químico en los tallos, previa perforación.



PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

## Bloqueo lumínico con hule negro:

Esta estrategia tiene la intención de eliminar toda la vegetación en extensiones de terreno elevadas y de poca inundación. El mantenimiento del hule es de duración prolongada (de 3 a 4 meses) para asegurar tener espacio disponible para el trasplante de especies deseables o suelo de humedales sanos. Posterior al retiro del hule y previo al trasplante, el suelo se remueve con pala para descompactarlo y facilitar así el establecimiento de especies pioneras.



## Extracción selectiva de plantas invasoras:

En el caso particular de la especie invasora *Echinochloa pyramidalis*, su adaptación al forrajeo permite que se puedan reproducir a partir de cañas o rizomas que pudieron liberarse tras el chapeo. La remoción manual de estas estructuras es indispensable para evitar la reinvasión.



PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

## Manipulación de la intensidad y duración de la inundación:

La experimentación previa realizada el lugar permitió sugerir que un incremento en el nivel del agua aumenta la capacidad competitiva de las especies nativas y disminuye el éxito de la especie invasora. Los resultados de esta experimentación se llevaron a una escala mayor aumentando el nivel y la temporalidad de la inundación mediante el bloqueo del flujo de salida del agua del humedal hacia el manglar durante el tiempo suficiente para obtener los resultados esperados.



## Canal contra la reinvasión:

Para evitar la re-invasión del terreno colindante al terreno restaurado, se construyó una barrera que consistió en cavar un canal que asegurara niveles de inundación superiores a los tolerables por la especie invasora, este tipo de barreras tienen que ser mantenidas en el tiempo limpiándose de vegetación y con su profundidad original.



PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

## Establecimiento de árboles contra la reinvasión:

Otro factor limitante para la especie invasora es la sombra, por lo que se pueden sembrar árboles que proporcionan sombra a ambos lados del canal, esto disminuirá la probabilidad de que la especie invasora se propague.



## Creación de cuerpos permanentes de agua para favorecer fauna:

Se recuperaron canales de agua para mantener espejos de agua libres de vegetación que atraerán especies de aves y favorecerán la permanencia de especies de herpetofauna.



PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

## Instalación de pasarelas para evitar la perturbación del humedal y fomentar la educación ambiental:

Las pasarelas tienen la función de poder continuar los trabajos de restauración e investigación moviéndose en el humedal sin riesgo de perturbar el suelo y la vegetación por pisoteo. Asimismo, las pasarelas servirán como senderos para las actividades ecoturísticas que fomentan la educación ambiental sobre conservación de ecosistemas.



## Monitoreo de indicadores e investigación

La selección de indicadores de éxito debe estar basada en que estos sean las mejores variables que reflejen el éxito de la meta propuesta, y esto estará en función de las particularidades de cada proyecto. Sin embargo, con base en las lecciones aprendidas en este proyecto podemos resumir la utilidad de cada uno de los siguientes indicadores en el cuadro 3. Cabe recordar, que los indicadores de éxito deben ser estimados tanto en el sitio a restaurar como en los sitios de referencia. En caso de que estos últimos no existan y se tenga un registro documentado, la sección de las variables a medir debe estar en función a ser comparable con el estado de referencia para saber si se cumple la meta o no.

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

**Cuadro 3.** Descripción de las variables consideradas indicadores en este proyecto que pueden ser de utilidad para otros humedales que se encuentren en proceso de ser restaurados.

Indicador	¿Por qué utilizarlos?
	<p>Algunas características del suelo proporcionan información sobre el estado de salud del humedal de interés. Particularmente la densidad aparente del suelo es un indicador sobre su grado de compactación y la capacidad de retención de agua. Mientras que, otros indicadores pueden proporcionar información útil, pero su interpretación puede ser difícil, como el pH, conductividad y potencial redox de agua y suelo.</p>
	<p>La composición, abundancia y riqueza de la vegetación es un indicador biológico del éxito de la restauración. Tiene la ventaja de que por ser organismos sésiles están expuestos a las condiciones del medio. Si este es estresante o no tiene las condiciones adecuadas, se verá disminuida la supervivencia de estas plantas. Presenta variación de acuerdo a la temporalidad, por lo que debe ser medida al menos en temporada de lluvias y secas.</p>

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

	<p>La vegetación acuática es un buen indicador de que la restauración avanza, sin embargo, se debe hacer la distinción de la vegetación que se induce, maneja, selecciona, elimina, etc. y la vegetación que se regenera (proveniente del banco de semillas) o arriba al sitio (dispersada de otros sitios aledaños) ya que es una respuesta directa de las acciones de manejo.</p>
	<p>Las funciones biogeoquímicas, como la velocidad de desnitrificación, no pueden ser tomadas como indicadores de éxito de la restauración a corto plazo. La desnitrificación es dependiente de la vegetación y las condiciones físicas (suelo y agua) por lo que se requiere de varios ciclos de crecimiento de plantas y varios ciclos hidrológicos para restablecer dicha función. La velocidad de desnitrificación podría usarse como indicador de éxito a largo plazo, por ejemplo más de 5 años.</p>
	<p>Entre los anfibios, particularmente las salamandras son indicadores del avance de la restauración. Estos organismos están particularmente asociados a formaciones vegetales que se reestablecen (popales de <i>Sagittaria lancifolia</i>) y dependen de las condiciones de microhábitat que estas plantas ofrecen.</p>

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

	<p>Los cocodrilos son buenos indicadores del avance de la restauración. Los jóvenes y crías hacen uso de los ambientes disponibles para alimentarse, al ser erradicadas las gramíneas invasoras y restablecerse el hidropериodo en el área.</p>
	<p>En conjunto las cinco especies que conforman la comunidad de tortugas en el área de estudio son indicadoras del avance de la restauración del humedal, ya que permanecen en las áreas inundadas y estivan en el área durante la sequia, mostrando gran fidelidad al sitio. Algunas de las especies se reproducen en el humedal en restauración y todas usan los recursos alimentarios disponibles.</p>
	<p>De las serpientes acuáticas, dos en particular (<i>Nerodia rhombifera</i> y <i>Tretanorhinus nigroluteus</i>) dependen del hidropериodo y de la vegetación acuática para utilizar el área bajo restauración por lo que resultan buenos indicadores. Estas especies son piscívoras y explotan los recursos disponibles en el humedal restaurado.</p>

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

	<p>Al igual que la vegetación, el utilizar la enorme diversidad de aves acuáticas como indicador a lo largo del proceso de restauración, es quizá la mejor medida de éxito.</p>
	<p>La diversidad de aves acuáticas sin duda debe incluir grupos de aves asociadas a ambientes más someros, que a la vez refleje la existencia de microambientes que permitan su vez el mantenimiento de poblaciones reproductivas</p>
	<p>Existen un conjunto de especies de aves de origen "terrestre" cuya evolución ha permitido la utilización de ambientes acuáticos. La existencia de estos grupos es sin duda una pieza clave en las medidas de éxito.</p>
	<p>Las especies de aves migratorias, ya sean terrestres o acuáticas, permiten sugerir el buen estado de conservación (restauración) de los ambientes, permitiendo la co-existencia y explotación de recursos en diferentes épocas del año.</p>

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

	<p>Las interacciones entre las especies de aves de las comunidades aledañas, forman parte de las medidas del éxito a largo plazo, ya que permiten mantener el equilibrio ecológico del popal como una comunidad estable.</p>
	<p>Las comunidades aledañas mantienen poblaciones de aves que podrían beneficiarse del popal; ya que dado los requerimientos de estas especies, potencialmente utilizan ocasionalmente el popal, fungiendo éste último como un ambiente “buffer” de la diversidad de otras comunidades.</p>
	<p>Los beneficios en la restauración de ambientes acuáticos, además permiten mantener las cadenas tróficas en buen estado, ya que ofrecen espacios abiertos para especies, que si bien no son propias del popal, obtienen recursos, como las especies de hábitos aéreos que se benefician de la abundancia de insectos</p>

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán  
(*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

## Evaluación del éxito

Uno de los mayores retos de los proyectos de restauración es realizar una evaluación efectiva de los indicadores de éxito y establecer una relación de éstos con la meta. Es en esta etapa cuando nos encontramos con la falta de información biológica para comparar nuestro sitio de restauración con otros sitios.

El concepto de “éxito de la restauración” debe estar totalmente relacionado con el establecimiento de la meta. La misma debe ser factible en tiempo y espacio y resultará probablemente en éxito de la restauración. Pueden existir metas a corto y largo plazo, así como indicadores de éxito a corto y a largo plazo. Debe haber coherencia en la meta, en la definición de éxito y en los indicadores utilizados para reflejar el éxito (deben ser indicadores relevantes del proceso, fáciles de medir, de comparar, etc).

Los indicadores de éxito serán la forma en que nosotros y otros pueden determinar si las actividades de manejo llevaron al ecosistema a la trayectoria deseada. Pero entonces surge la pregunta de ¿con que comparamos nuestros indicadores? Y este es el mayor reto de la restauración, la definición del estado o sitio de referencia. Este sitio de referencia (si existe en la actualidad) ó estado de referencia (si es una reconstrucción histórica), dará los límites de variación de los indicadores de éxito. Por ello esto debe planificarse o adaptarse continuamente durante el proyecto.

En nuestro caso, nuestro sitio de referencia fue desde un inicio delimitado como: “los parches relictuales de vegetación de original que aún no estaban invadidos por la gramínea africana. Este tipo de “sitio de referencia” tiene la ventaja de compartir la misma historia de uso de suelo, matriz del paisaje y

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

condiciones abióticas, con respecto al sitio a restaurar. Sin embargo, la desventaja de este tipo de sitios es que posiblemente también se encuentran en un proceso de afectación y que la estructura que presenta podría estar empobrecida por el proceso de degradación del resto del sitio. Por ello, lo ideal en proyectos de restauración es encontrar varios sitios de referencia en buen estado de conservación que representen la meta del proyecto y que sirvan de comparación. Cada día con el avance de la degradación ambiental, es más difícil encontrar estos sitios y por ello debemos priorizar la conservación de estos sitios, ya que sin conservación no podrá existir la restauración exitosa.

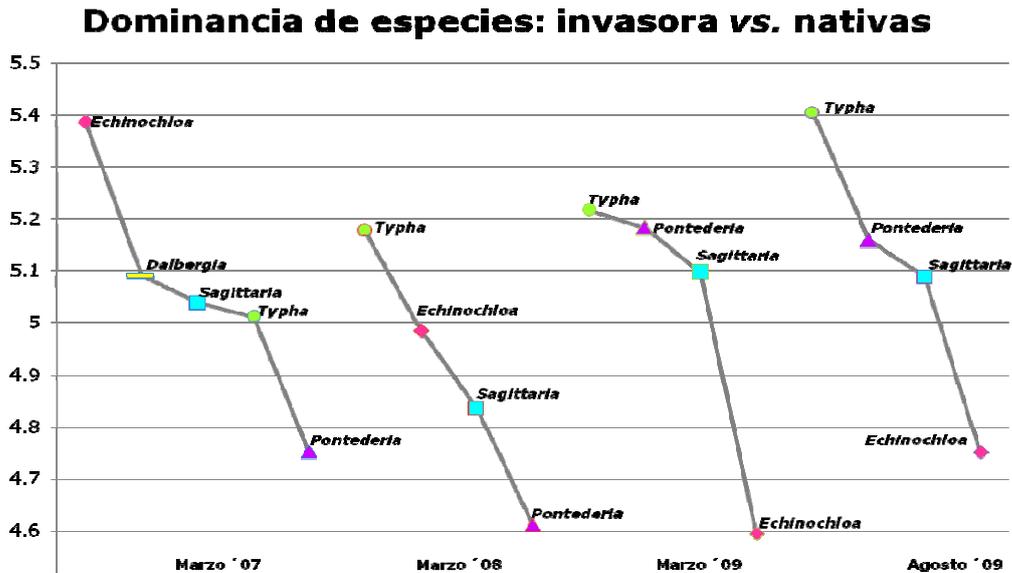
El monitoreo del éxito de restauración con los indicadores seleccionados según el proyecto tiene las siguientes consideraciones:

- “El indicador de éxito no debe de ser necesariamente un valor único, puede ser un intervalo de variación del mismo que sea inherente a la variación del ecosistema original”
- “El indicador de éxito puede ser variable también en el tiempo según lo indique su comportamiento en sitio o estado de referencia”

Estas consideraciones se pueden ver en nuestros resultados, en donde uno de nuestros indicadores de éxito era la disminución y erradicación del pasto, en la Fig. 7 se presentan gráficas de rango-abundancia de especies vegetales en diferentes periodos, se muestra el número de individuos (LogN). Lo más importante de resaltar en esta gráfica es que ocurrió un cambio en la estructura de la comunidad vegetal, donde el pasto invasor *E. pyramidalis* pasa de ser el más dominante al inicio del proyecto al menos dominante al final del proyecto, quedando sólo presente en los cuadros de control. Aún cuando esto es un indicador que uno de los objetivos principales del proyecto se cumplió exitosamente, ahora la comunidad resultante debe compararse con la

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

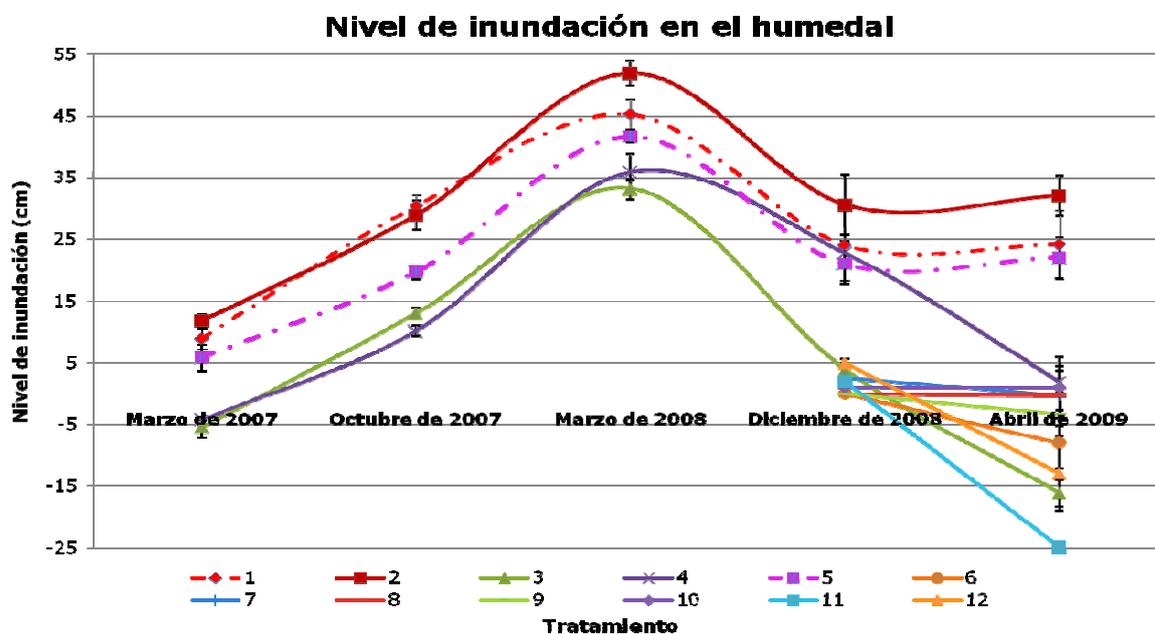
comunidad de los parches relictuales que consideramos nuestra referencia en el proyecto.



**Figura 7.** Gráficas de rango abundancia donde se muestra el LogN del número de individuos por periodo de muestreo desde el inicio, hasta el final de proyecto. Se muestra como el pasto invasor (*Echinochloa*) disminuye su abundancia-dominancia con las actividades de restauración.

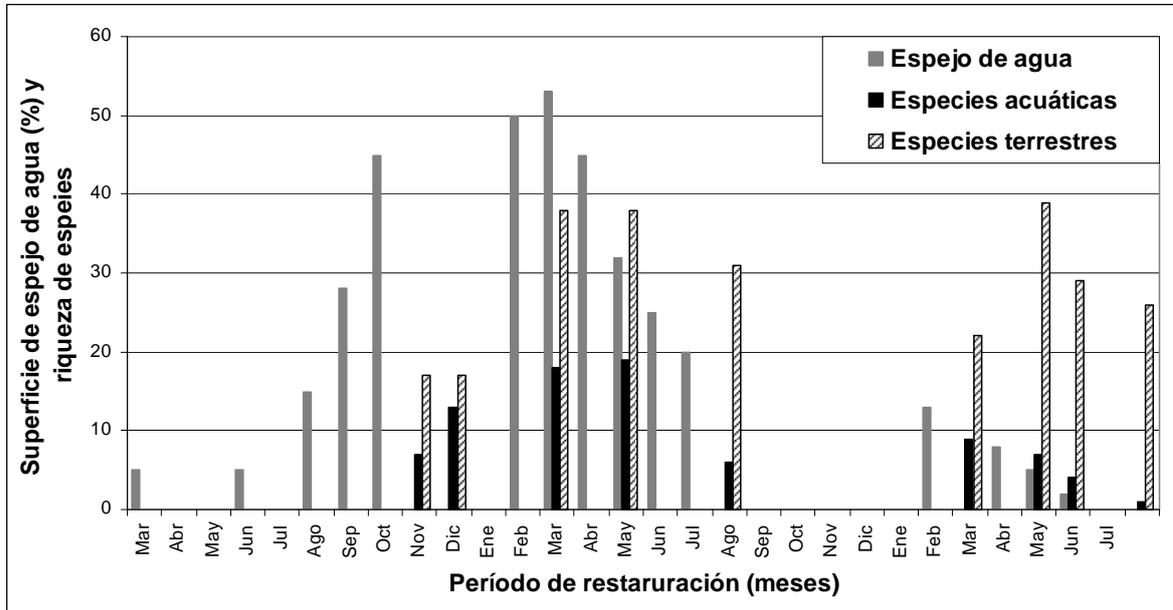
El nivel de inundación es un indicador importante derivado del manejo que se realizó durante la restauración (Fig. 8), sin embargo, la propia modificación al hidroperiodo al inducir una inundación más prolongada y profunda generó cambios en otros indicadores, como fue el caso de las aves acuáticas (Fig. 9). Si no se analizan los cambios de indicadores en conjunto podemos hacer interpretaciones erróneas de la trayectoria o éxito de la restauración.

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano



**Figura 8.** En esta figura se muestra el cambio en el nivel de inundación a lo largo del proyecto en el humedal en restauración, el incremento en la profundidad y duración de la inundación que se observa a mitad del proyecto se debió al cierre intencional de las salidas del humedal con el fin de erradicar el pasto invasor.

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano



**Figura 9.** Se muestra la variación en la riqueza de aves acuáticas y terrestres a lo largo del proyecto, mostrando también el porcentaje de superficie del sitio cubierta de agua. Se observa el incremento de especies acuáticas relacionado con el aumento en la superficie del espejo de agua.

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

## 7. Costos de restauración

Los costos de restauración en el humedal de La Mancha incluyen tanto el costo de investigación como de las acciones directas de restauración del sitio.

El costo de neto de restauración es el que involucra únicamente las acciones ejercidas directamente en el humedal así como los insumos necesarios para llevarlos a cabo. Por otra parte, el costo de investigación no es un gasto que pueda eliminarse aunque si puede reducirse pues si bien nuestro interés es el de restaurar el humedal, los resultados de los trabajos de investigación (incluyendo los monitoreos de las diferentes variables y grupos indicadores), permite no sólo conocer la “salud” del sistema en el momento sino también la planeación de acciones que puedan requerirse para mantener o incrementar el proceso de restauración.

El costo de restauración ha sido calculado con todas estas consideraciones y está expresado en el costo por hectárea restaurada (cuadro 4). Es importante manejar que el mismo presenta una visión general para proyectos de este tipo sin embargo, es necesario considerar las diferencias en cuanto al área a restaurar, costo de mano de obra en la zona, número de trabajadores que se puedan contratar, maquinaria disponible, infraestructura de la zona, incremento de precios, situaciones no contempladas, etc.

45

Cuadro 4. Costo total de las acciones directas de restauración. Proyecto de restauración del popal de La Mancha (Febrero de 2007 a Agosto de 2009)

Costo de restauración por hectárea	Monto
Mano de obra	\$ 118,773.98
Materiales para restauración	\$ 44,693.35
<b>Total</b>	<b>\$ 163,467.33</b>

El costo que se tiene en cuanto a investigación (cuadro 5), incluye todo el trabajo de monitoreos desde el tiempo cero hasta la finalización del proyecto.

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

Estos costos se reducen si se toma en consideración que para futuras experiencias, el ensayo de técnicas para probar eficiencia en restauración no sería necesario. Ello debido a que toda la experiencia del proyecto de restauración del popal de La Mancha brinda un conjunto de técnicas probadas para este objetivo así como las bases para el establecimiento de monitoreos más espaciados basados en los todos los insumos necesarios como en los resultados directos en campo.

Cuadro 5. Costo de investigación por hectárea. Proyecto de restauración del popal de La Mancha (Febrero de 2007 a Agosto de 2009)

Costo de investigación por hectárea	Monto
Mano de obra	\$ 33,305.38
Material para el desarrollo de investigación	\$ 57,518.57
Viáticos, gasolina y peajes	\$ 56,472.56
Recursos humanos	\$ 150,676.92
<b>Total</b>	<b>\$ 297,973.44</b>

## 8. Consideraciones finales

1. Cada proyecto de restauración ecológica de humedales es único con respecto a la historia de perturbación, el tiempo, la frecuencia y la duración del agente (s) que causo el daño del sitio. Como en el caso de cualquier organismo enfermo se requiere de una valoración del estado del sitio para conocer cuáles serán las acciones para acelerar la recuperación o “salud” del humedal así como para mantenerla.
2. El contexto espacial de los sitios a restaurar es sumamente importante, el grado de deterioro de la matriz o paisaje del sitio determinará si la restauración del hidropuerto y la topografía pueden por si solas ser detonantes de la regeneración del sitio. En nuestro caso, como se

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

observa en la Fig. 10, la matriz del sitio tenía un grado medio de degradación, teniendo como hábitat colindante por un lado otro pastizal invadido por este pasto africano y por otro la carretera; la ventaja fue tener la colindancia por otro extremo del humedal de un fragmento de selva y otros hábitats costeros. La laguna de La Mancha también jugó un papel importante pues las aves acuáticas utilizan mucho la diversidad de hábitats de todo el paisaje del sitio RAMSAR.

3. No siempre los proyectos más costosos representan una mejor restauración, en nuestro caso, la inundación prolongada y con un nivel profundo fue la acción más importante para erradicar el pasto invasor y dicha actividad fue de las menos costosas del proyecto.



**Figura 10.** Se muestra el humedal restaurado (dentro del círculo rojo) y su contexto espacial en imagen aérea del 2009. Es interesante notar que aún cuando existe en colindancia (a la derecha del humedal) un pastizal invadido por el pasto exótico (que muestra el estado inicial del sitio antes de la

---

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán  
(*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

restauración), la colonización de flora y fauna del resto de la matriz del sitio ayudó a que el proceso de recuperación de la estructura del humedal se viera favorecido.

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

## Bibliografía y sitios de interés en la red

Barbier, E., M. Acreman y D. Knowler. 1997 Valoración económica de los humedales. Guía para decisores y planificadores. *Oficina de la Convención de Ramsar*

Ceccon, E. 2003. Los bosques ribereños la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas. *Ciencias 72*: 46-53.

Costanza, R., S.C. Farber y J. Maxwell. 1989. Valuation and management of wetland ecosystems. *Ecological Economics 1*: 335-361.

Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Naeem, S., Limburg, K., Paruelo, J., O'Neill, R.V., Raskin, R., Sutton, P., van den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387: 253-260.

Daily, G.C. 1997. Nature's services. Societal dependence on natural ecosystems. *Island Press*, Nueva York. 392 pp.

Flores-Verdugo F., P. Moreno-Casasola, C. Agraz-Hernández, H. López-Rosas, D. Benítez-Pardo y A.C. Travieso-Bello. 2007. La topografía y el hidroperíodo: dos factores que condicionan la restauración de los humedales costeros. *Boletín de la Sociedad Botánica de México 80*: 33-47.

Food and Agricultural Organization. 2005. Habitat Rehabilitation for Inland Fisheries: Global Review of Effectiveness and Guidance for Rehabilitation of Freshwater Ecosystems.

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán  
(*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

Lewis, R., y B. Streever. 2000. Restoration of mangrove habitat. *Wrp Technical Notes Collection (Erdc Tn-Wrp-Vn-Rs-3.2)*, U.S. Army Engineer Research & Development Center, Vicksburg, Ms. [Www.Wes.Army.Mil/El/Wrp](http://www.Wes.Army.Mil/El/Wrp)

Lindig-Cisneros R. y J.B. Zedler. 2005. La restauración de humedales. In: *Temas sobre restauración ecológica* (eds. O. Sánchez, E. Peters, R. Márquez-Huitzil, E. Vega, G. Portales, M. Valdez & D. Azuara). SEMARNAT; INE; U. S. Fish and Wildlife Service, México.

Moreno-Casasola P., M.L. Martínez y G. Castillo-Campos. 2008. Designing ecosystems in degraded tropical coastal dunes. *Ecoscience* 15: 44-52.

Muñiz, C. 2004. Restauración en arrecifes de coral. *Ciencias* 76: 42-45.

Nygaard, B. 2004. Community Assembly In Restored Wetlands. Phd Thesis: National Environmental Research Institute. Ministry Of The Environment. Denmark

The Index of Wetland Condition Review of Wetland Assessment Methods. 2006. Australia.

The Interagency Workgroup on Wetland Restoration: National Oceanic and Atmospheric Administration. 2003. An introduction and user's guide to wetland restoration, creation, and enhancement. *Environmental Protection Agency, Army Corps of Engineers, Fish And Wildlife Service, and Natural Resources Conservation Service*

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán  
(*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

## Sitios de interés

### Gobierno

Convención de Ramsar. Sitios Ramsar

<http://www.ramsar.org/>

Instituto Nacional de Ecología. Publicaciones del INE

<http://www.ine.gob.mx/publicaciones/>

Portal sobre cambio climático en Mexico

[http://cambio\\_climatico.ine.gob.mx/](http://cambio_climatico.ine.gob.mx/)

Secretaría de Medio Ambiente del D.F.: Proyecto de Restauración Ecológica del Volcán Ocopixco

<http://www.sma.df.gob.mx/sma/modules.php?name=News&file=article&sid=342>

51

México Forestal-CONAFOR

<http://www.mexicoforestal.gob.mx/>

Brazil: State of Parana's Riparian Forest Programme The State of Parana in Brazil has developed an environmental restoration programme in order to plant 90 million seedlings of forest native species.

<http://www3.pr.gov.br/mataciliar/index.php>

Environmental Restoration. National Water Program. A partnership of USDA CSREES and Land Grant Colleges and Universities

[www.usawaterquality.org/themes/restoration/default.html](http://www.usawaterquality.org/themes/restoration/default.html)

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán  
(*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

Environmental Restoration Program. Brookhaven National Laboratory is operated by Brookhaven Science Associates under contract for the U.S. Department of Energy

[www.bnl.gov/erd/default.asp](http://www.bnl.gov/erd/default.asp)

Environmental Restoration Projects. Strategic Environmental Research and Development Program (SERDP) is the Department of Defense's (DoD) - Department of Energy and the Environmental Protection Agency

[www.serdp.org/Research/er-chlorinated-solvents.cfm](http://www.serdp.org/Research/er-chlorinated-solvents.cfm)

Environmental Restoration Program (ERP). Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory (Berkeley Lab). United States Department of Energy (DOE). Managed by the University of California

[www.lbl.gov/ehs/erp/index.shtml](http://www.lbl.gov/ehs/erp/index.shtml)

Programa de Restauração de Mata Ciliar. Secretaria Estadual do Meio Ambiente

[www.sema.rs.gov.br/sema/html/mataciliar.htm](http://www.sema.rs.gov.br/sema/html/mataciliar.htm)

Programa de Restauración y Compensación Ambiental-CONABIO

[www.conabio.gob.mx/institucion/restauracion/doctos/restauracion.html](http://www.conabio.gob.mx/institucion/restauracion/doctos/restauracion.html)

Instituto Nacional de Ecología-Sección de Restauración

[www.ine.gob.mx/dgoece/con\\_eco/conhc/webredine.html](http://www.ine.gob.mx/dgoece/con_eco/conhc/webredine.html)

## Universidades e Instituciones educativas

Instituto de Ecología de la UNAM

<http://www.ecologia.unam.mx/>

---

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán  
(*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

Maestría y proyectos de Restauración Ambiental UNAM

<http://biolambiental.posgrado.unam.mx/lab1.html>

Center for restoration ecology

[www.cnr.uidaho.edu/cnr572/lesson01/IntroRestorationEcology.pd](http://www.cnr.uidaho.edu/cnr572/lesson01/IntroRestorationEcology.pd)

Restoration of Forest Landscapes for Biodiversity Conservation and Rural Development in the Drylands of Latin America (ReForLan)

<http://www.bournemouth.ac.uk/conservation/reforlan/index.html>

Restauración ecológica de las Marismas de la Algaída.

Departamento de Biología Vegetal y Ecología de la Universidad de Sevilla y Ministerio de Medio Ambiente

[www.alojamientos.us.es/bioeco/algaida/algaidanet/inicio.html](http://www.alojamientos.us.es/bioeco/algaida/algaidanet/inicio.html)

53

---

Stream Restoration, Ecology, & Aquatic Management Solutions (STREAMS)

[www.streams.osu.edu](http://www.streams.osu.edu)

Ecological Restoration Institute. Northern Arizona University

[www.eri.nau.edu/cms](http://www.eri.nau.edu/cms)

University of Washington Restoration Ecology Network (UW-REN)

[www.depts.washington.edu/uwren](http://www.depts.washington.edu/uwren)

Ecological Restoration, University of Wisconsin

[www.ecologicalrestoration.info](http://www.ecologicalrestoration.info)

Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal

[www.lerf.esalq.usp.br](http://www.lerf.esalq.usp.br)

---

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán  
(*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

## Ecosystem Restoration Website

[www.ecorestoration.montana.edu/default.htm](http://www.ecorestoration.montana.edu/default.htm)

International River Restoration Survey - School of Geography at the University of Southampton

[www.geog.soton.ac.uk/users/WheatonJ/RestorationSurvey\\_Cover.asp](http://www.geog.soton.ac.uk/users/WheatonJ/RestorationSurvey_Cover.asp)

Firestone Center for Restoration Ecology at Pitzer College Dominical, Costa Rica

[www.pitzer.edu/offices/firestone\\_center/index.html](http://www.pitzer.edu/offices/firestone_center/index.html)

## Asociaciones y Organizaciones

Agroforestería Ecológica

<http://www.agroforesteriaecologica.com>

54

---

Red Colombiana de restauración ecológica

<http://www.redcre.org>

Tierramerica

<http://www.tierramerica.info/index.php>

Restoration of Forest Landscapes for Biodiversity Conservation and Rural Development in the Drylands of Latin America

<http://reforlan.bournemouth.ac.uk/index.html>

Mangrove Restoration

<http://www.mangroverestoration.com/index.html>

---

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán  
(*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

PRORENA Proyecto de Reforestación con Especies Nativas

<http://research.yale.edu/prorena/>

Vivero con plantas endémicas de México

<http://www.viveroyautepec.com.mx/endemicas.htm>

Red latinoamericana de restauración ecológica

<http://www.redlan.org/>

Sociedad brasileña de recuperación de áreas degradadas

<http://www.sobrade.com.br/>

Forest Restoration Information Service FRIS: 33 Estudios de caso

[http://www.unep-wcmc.org/forest/restoration/case\\_studies.htm](http://www.unep-wcmc.org/forest/restoration/case_studies.htm)

Global Restoration Network

<http://www.globalrestorationnetwork.org/>

55

---

Restore Americas Estuaries

<http://www.estuaries.org/>

Fundación Internacional para la Restauración de Ecosistemas, FIRE

[www.fundacionfire.org/](http://www.fundacionfire.org/)

Tress Foundation

[www.treesfoundation.org/index.shtml](http://www.treesfoundation.org/index.shtml)

Salmonid Restoration Federation

[www.calsalmon.org/](http://www.calsalmon.org/)

---

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán  
(*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

Restoring the Earth. A Vision of Hope for the 21st Century

[www.restore-earth.org/](http://www.restore-earth.org/)

Wetland Restoration Specialist Group. Sub-site of Wetland International and  
Kevin L. Erwin Consulting Ecologist, Inc. (KLECE)

<http://www.wetlands.org/Aboutus/Specialistgroups/WetlandRestorationSpecialistGroup/tabid/1120/Default.aspx>

Kevin L. Erwin Consulting Ecologist, Inc. (KLECE)

[www.environment.com/](http://www.environment.com/)

Large-Scale Ecosystem Restoration Initiatives

[www.nemw.org/restoration.htm](http://www.nemw.org/restoration.htm)

Restauración de ecosistemas degradados – Pronatura Noreste A. C.

[http://www.pronaturane.org/restauracion\\_ecosistemas.php](http://www.pronaturane.org/restauracion_ecosistemas.php)

56

---

SFERTF. South Florida Ecosystem Restoration Task Force

[www.sfrestore.org/](http://www.sfrestore.org/)

Environmental Restoration International (ERI)

[www.environrest.com/index.html](http://www.environrest.com/index.html)

Center for Urban Restoration Ecology

[www.i-cure.org/](http://www.i-cure.org/)

Earth Restoration Service (ERS)

[www.earthrestorationservice.org/](http://www.earthrestorationservice.org/)

---

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán  
(*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

Canadian Land Reclamation Association/Association canadienne de réhabilitation des sites dégradés (CLRA/ACRSD)

[www.clra.ca/index.html](http://www.clra.ca/index.html)

International Corporate Wetlands Restoration Partnership (ICWRP)

[www.icwrp.org/](http://www.icwrp.org/)

Corporate Wetlands Restoration Partnership (CWRP)

[www.cwrp.org/index.html](http://www.cwrp.org/index.html)

Restoration Actions to Combat Desertification in the Northern Mediterranean

[www.gva.es/ceam/reaction/](http://www.gva.es/ceam/reaction/)

Restoration of Degraded Ecosystems in Mediterranean Regions (REDMED)

[www.gva.es/ceam/redmed/](http://www.gva.es/ceam/redmed/)

57

---

Global Partnership on Forest Landscape Restoration

[www.unep-wcmc.org/forest/restoration/globalpartnership/](http://www.unep-wcmc.org/forest/restoration/globalpartnership/)

Forest Restoration Information Service (FRIS)

[www.unep-wcmc.org/forest/restoration/homepage.htm](http://www.unep-wcmc.org/forest/restoration/homepage.htm)

Forest Landscape Restoration

[www.iucn.org](http://www.iucn.org)

The Socorro Dove Recovery Program and Restoration of the Revillagigedo Archipelago

[www.island-endemics.org](http://www.island-endemics.org)

---

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán  
(*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

Biodiversidad, Conservación y Restauración A.C.

[www.biocores.org.mx](http://www.biocores.org.mx)

Society of Ecological Restoration

[www.ser.org](http://www.ser.org)

Gulf of Mexico Foundation Restoration Projects

[www.gulfmex.org/restoration.htm](http://www.gulfmex.org/restoration.htm)

Restauración Ecológica-Revista Ecosistemas

[www.aeet.org](http://www.aeet.org)

CIFOR project Review of rehabilitation projects - Lessons from the past

[www.cifor.cgiar.org/rehab](http://www.cifor.cgiar.org/rehab)

New Zealand Ecological Restoration Network (NZERN)

[www.bush.org.nz](http://www.bush.org.nz)

58

---

## Fuentes de financiamiento

Conabio-programa de restauración ambiental

<http://www.conabio.gob.mx/institucion/restauracion/doctos/restauracion.html>

Comisión Nacional Forestal

<http://www.conafor.gob.mx/>

Gulf of Mexico Foundation

<http://webportal.gulfmex.org/>

Fund for Wild Nature

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán  
(*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

<http://www.fundwildnature.org>

Rivers Foundation of the Americas

<http://riversfoundation.org/rfa/about/>

## Otros

Proyecto de reforestación y conservación Sierras de Córdoba, Argentina

<http://www.reforestacion.com.ar/>

Fundación interesada en la restauración de especies nativas de peces

<http://www.nativefishsociety.org/>

Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad (UCCS)

<http://www.unionccs.net/>

59

The Cooperative Freshwater Ecology Unit (CFEU). As a partnership of Laurentian University, the Ontario Ministry of Natural Resources (OMNR), and the Ontario Ministry of the Environment (OMOE)

[www.coopunit.laurentian.ca](http://www.coopunit.laurentian.ca)

Restauración de ecosistemas acuáticos continentales - RESTAURAGUA

[www.rediris.es](http://www.rediris.es)

International Affiliation of Land Reclamationists

[www.ces.ca.uky.edu/asmr/IALR.htm](http://www.ces.ca.uky.edu/asmr/IALR.htm)

Restauración de humedales

[www.mangroverestoration.com](http://www.mangroverestoration.com)

---

PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán  
(*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

Environmental restoration: healing damaged land

[www.managingwholes.com/--environmental-restoration.htm](http://www.managingwholes.com/--environmental-restoration.htm)

Global Restoration Network

<http://www.globalrestorationnetwork.org/>

Costa sustentable

<http://www.inecol.edu.mx/costasustentable/esp/presentacion.htm>

An Introduction to Wetland Restoration, Creation, and Enhancement EPA-Office of Water

[www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/restdocfinal.pdf](http://www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/restdocfinal.pdf)

Society of Wetland Scientists Position Paper on the Definition of Wetland Restoration 2000

[www.sws.org/documents/positionpapers/restoration.pdf](http://www.sws.org/documents/positionpapers/restoration.pdf)

60

---

Reef Restoration Guidelines

<http://www.gefcoral.org/Publications/tabid/3260/Default.aspx>

Manual of River Restoration Techniques

[www.therrc.co.uk/rrc\\_manual\\_pdf.php](http://www.therrc.co.uk/rrc_manual_pdf.php)

Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices

[www.nrcs.usda.gov/technical/stream\\_restoration/](http://www.nrcs.usda.gov/technical/stream_restoration/)

Foundation of success

[http://www.fosonline.org/Site\\_Page.cfm?PageID=5](http://www.fosonline.org/Site_Page.cfm?PageID=5)