

**Informe final\* del 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:** Dra. Patricia Moreno Casasola  
**Institución:** Instituto de Ecología AC  
División de Vegetación y Flora  
Departamento de Ecología Vegetal  
**Dirección:** Km 2.5 Antigua Carretera a Coatepec # 351, Congregación El Haya, Xalapa, Ver, 91070 , México  
**Correo electrónico:** [patricia.moreno@inecol.edu.mx](mailto:patricia.moreno@inecol.edu.mx)  
**Teléfono/Fax:** Tel: 01-228-842-1800 ext. 4204 Fax: 228-842-1800 ext. 4222  
**Fecha de inicio:** Febrero 15, 2007  
**Fecha de término:** Mayo 11, 2010  
**Principales resultados:** Hojas de cálculo, fotografías, informe final.  
**Forma de citar\*\* el informe final y otros resultados:** Moreno-Casasola, P. y H. López Rosas. 2010. Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano. Instituto de Ecología A.C. **Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. FH001.** Ciudad de México.

**Resumen:**

Los humedales herbáceos de agua dulce (popales y tulares) son ecosistemas importantes porque conjuntan funciones, servicios y atributos con los que brindan gran cantidad de servicios ambientales. En el estado de Veracruz los popales y tulares abarcan solo el 2.3% de los ecosistemas naturales; esta superficie va en decremento por la presión antropogénica a la que están expuestos, principalmente por las actividades asociadas a la ganadería extensiva. En la zona costera de Actopan y en particular en el sitio Ramsar no 1336, La Mancha y El Llano, hace más de 20 años que se introdujo el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*) para pastoreo del ganado en zonas de humedales. Esta es una especie de origen africano altamente invasora que entra libremente a los popales y tulares, alterando radicalmente la estructura y función ecológica de estos ecosistemas. Investigaciones recientes demuestran que para erradicar este pasto y poder recuperar estos humedales es necesaria una activa intervención en estos sitios con acciones de restauración. Este proyecto tiene por objeto restaurar la estructura, composición y función ecológica de un popal que ha sido invadido por el zacate alemán. El terreno forma parte del sitio Ramsar no. 1336 y está dentro de la reserva del Instituto de Ecología A.C. Las actividades fundamentales serán la extracción directa de esta especie, la recuperación de la topografía original para normalizar el hidrociclo y la restauración de la comunidad de especies de plantas nativas. Con ello se espera que la recuperación de la fauna se dé gradualmente mediante la regeneración proveniente de zonas aledañas no invadidas. Un monitoreo de indicadores biológicos y fisicoquímicos determinará el avance de la restauración y el éxito de ésta. Este estudio servirá de base para actividades más extensivas en la región en áreas con la misma problemática. Se hará énfasis en la creación de parcelas demostrativas para las comunidades y visitantes interesados en el proyecto y en la elaboración de material que permita difundir y extrapolar la experiencia.

- 
- \* El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en [www.conabio.gob.mx](http://www.conabio.gob.mx)
  - \*\* El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.



CONABIO



INSTITUTO DE ECOLOGÍA, A.C.

INECOL

# INFORME FINAL

## 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**





# INFORME FINAL

**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



# INFORME FINAL

---

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**

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

Resumen ejecutivo .....	I
1. Antecedentes .....	1
1.1 Problemática biológica, hidrológica y ecológica en el contexto de cuenca... 1	
1.2 <i>Echinochloa pyramidalis</i> en <i>La Mancha</i> .....	4
1.3 Problemática económica y social en el contexto de cuenca .....	6
2. Sitio de estudio y problemática .....	10
3. Área Geográfica y descripción física de área .....	13
4. Características y funciones del ecosistema que se pretende restaurar.....	15
5. Objetivos: .....	16
5.1 Objetivo general.....	16
5.2 Objetivos particulares .....	16
6. Metodología .....	17
6.1 Grupos indicadores .....	19
6.1.1 Vegetación .....	19
6.1.2 Variables ambientales.....	22
6.1.3 Anfibios y reptiles.....	24
6.1.4 Avifauna .....	26
6.1.5 Macro invertebrados.....	28
6.1.6 Ictiofauna .....	29
6.1.7 Potencial de nitrificación y desnitrificación.....	31
7. Resultados .....	33
7.1 Vegetación .....	33
7.2 Variables ambientales.....	43



# INFORME FINAL

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

7.3 Anfibios y reptiles.....	52
7.4 Avifauna .....	58
7.5 Macroinvertebrados .....	62
7.6 Ictiofauna .....	72
7.7 Potencial de nitrificación y desnitrificación.....	81
8. Resultados del proyecto por objetivo planteado .....	87
8.1 Consideraciones finales.....	94
9. Referencias.....	96



# INFORME FINAL

---

**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

## Resumen ejecutivo

Los humedales abarcan muchos tipos de vegetación distintos. Varían en función de su origen, tamaño, localización geográfica, régimen hidrológico, química, características de la vegetación, del suelo y de los sedimentos. Se presentan en todos los climas y en todos los continentes abarcando desde una hectárea hasta miles, desde sistemas sumamente productivos hasta los muy pobres. Conforman una gran variedad y riqueza de comunidades vegetales con distinta composición, formas de crecimiento y estructura. Con frecuencia se les considera como un solo tipo de ecosistema, comparable a los bosques o pastizales, pero esto no es así. Los humedales agrupan gran parte de la variabilidad ambiental que se puede encontrar entre los ecosistemas más secos tierra adentro y forman una serie de tipos, que de manera general, son comparables, difiriendo principalmente en su grado de humedad o inundación (Wheeler *et al.* 2002).

Los cambios en la dinámica hidrológica han sido la principal causa de transformación de humedales en Veracruz así como en el Municipio de Actopan. La degradación de humedales en la región de La Mancha y El Llano es básicamente debida al asolvamiento de las lagunas costeras por la introducción de un ducto de PEMEX en la boca de las mismas y la introducción e invasión por gramíneas africanas asociadas con la ganadería extensiva. Hoy en día el cambio climático también está jugando un papel importante, produciendo cambios en la cantidad y temporalidad de las lluvias y sequías.

La invasión por gramíneas, particularmente por *Echinochloa pyramidalis*, es un problema que requiere atención. Cada vez más popales están siendo transformados por actividades ganaderas (resultados del proyecto CONAGUA



CONACYT Humedales del Papaloapan (48247)). Por tanto, contar con una metodología y una experiencia probadas de restauración e indicadores de éxito del cambio adquieren cada vez mayor importancia.

La restauración del popal de La Mancha, ubicado dentro del Centro de Investigaciones Costeras La Mancha del Instituto de Ecología, presenta una de las primeras experiencias de este tipo para la restauración de humedales herbáceos de agua dulce en México. Quedando plasmados en el presente trabajo, las bases de técnicas para restauración de estos ecosistemas que van de la mano con el manejo adaptativo.

A partir de febrero de 2007 se desarrollaron acciones diversas para la erradicación de la gramínea africana *E. pyramidalis*, iniciándose con la caracterización del sitio al inicio del trabajo (tiempo cero). Para ello se realizó el monitoreo de vegetación a fin de entender los cambios durante la erradicación de la especie invasora así como el crecimiento de la flora nativa. A la par de ésta se realizó el monitoreo de parámetros fisicoquímicos y de grupos que potencialmente pudieran ser usados no sólo para entender la función del popal como hábitat, sino para emplearse como bioindicadores en procesos de restauración (herpetofauna, entomofauna, avifauna) y, variables que permitan entender características propias de estos ecosistemas como es el caso del potencial de nitrificación y desnitrificación que permite cuantificar uno de los servicios ambientales como es la conversión de las formas nitrogenadas y su liberación al ambiente.

Los 32 meses de trabajo de restauración en el popal de La Mancha, ha dado como resultado no sólo cambios en la flora presente sino también en la biodiversidad de fauna.

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

Las tres especies invasoras, las exóticas *E. pyramidalis*, *Pennisetum purpureum* y la nativa *Dalbergia brownii* presentaron una fuerte disminución durante el primer año de trabajo de restauración. En el caso de *D. brownii* y *P. purpureum*, se presenta una erradicación del 100% en el popal. Por su parte, la cobertura de las especies nativas presentó un incremento que puede observarse también en la dominancia de estas especies sobre las invasoras. En agosto de 2009 se presentan *Typha domingensis*, *Sagittaria lancifolia*, y *Pontederia sagittata* como las especies dominantes en el popal de La Mancha, mientras que el número de especies de flora que pueden estar presentes se incrementó de 14 (marzo de 2007) a 64 (agosto de 2009) dependiendo de la estacionalidad.

*E. pyramidalis* presenta una menor cobertura y abundancia con respecto a la flora nativa aunque no ha podido erradicarse en su totalidad. Los rebrotes de esta especie aparecen principalmente en la temporada de “secas”, cuando el nivel de inundación en el humedal es menor. Durante el primer año de trabajo se realizaron acciones permanentes de erradicación como el chapeo y la extracción selectiva del pasto alemán, mientras que durante el segundo año, coincidió la temporada de secas con el cierre artificial de la salida del efluente del humedal por lo que el nivel de inundación en esta temporada se incrementó por arriba del nivel máximo propio de la temporada de lluvias. Durante 2009 se presentó una temporada de secas mayor a la habitual y con una temporada de lluvias más corta y de menor intensidad que en años pasados, generando con ello que los rizomas de *E. pyramidalis* tuvieran mayor oportunidad de crecer.

Con respecto a la biodiversidad observamos los siguientes resultados: el número de especies predichas por el modelo de Clench fue de 35 especies en herpetofauna. De éstas, se obtuvieron 33 especies (nueve anfibios y 24 reptiles) y se presentó la mayor diversidad y riqueza específica en aquellas zonas con

---

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 de popal seguida de la selva y, finalmente, la zona invadida con pasto alemán. Estos datos muestran que el humedal en proceso de restauración contiene más herpetofauna incluso que la selva y, que el pastizal introducido en los humedales, representa condiciones desfavorables para anfibios y reptiles que dependen directamente de la heterogeneidad de este ambiente.

En el caso de bioindicadores las especies de tortugas en conjunto sirven como indicadores a monitorear en procesos de restauración, sin embargo fue dentro de los anfibios donde se encontró que *Bolitoglossa platydactyla* (tlaconete), es la mejor especie a usar como bioindicador entre los anfibios debido a que se le observó fuertemente relacionada con la vegetación de popal, especialmente con *S. lancifolia*.

Dentro de la avifauna se presentaron cambios a lo largo del proceso de restauración. En general se observó que la presencia de aves acuáticas está estrechamente relacionada con la superficie de espejo de agua disponible. La misma fue mayor durante el tiempo que se mantuvo la inundación artificial (octubre 2007 a marzo 2008) y por tanto el número de especies acuáticas también fue mayor durante este tiempo.

El monitoreo de avifauna debe continuar particularmente de las especies asociadas a ambientes acuáticos, ya que representan la mejor opción para un análisis de cambio en la estructura y composición de aves en la restauración del popal debido a varias razones: a) son las que interactúan directamente con el popal y sus condiciones bióticas y abióticas; b) responden directamente a las modificaciones del ambiente acuático; c) las especies acuáticas residentes son reproductivas potenciales en estos ambientes y finalmente, d) porque son más fácilmente detectadas y por lo tanto con menor sesgo de análisis.

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

El grupo de macroinvertebrados presenta en general un incremento en el número de familias a través del proceso de restauración, sin embargo al buscarse conocer cuáles son las familias, géneros o especies que puedan ser utilizadas como indicadores de la restauración del humedal, es necesario monitorizar en una serie de tiempo igual a la que se lleva hasta el momento o mínimo por un año más con el fin de identificar patrones, aparición de nuevas familias, géneros o especies, que permita identificar cuáles son los grupos que mejor indican que se han alcanzado las condiciones del hábitat para afirmar que la restauración va en un sentido positivo, o cuáles son los grupos de insectos acuáticos que permiten identificar cada etapa de la restauración.

En cuanto a ictiofauna se han encontrado hasta el momento sólo cinco especies y, aunque el monitoreo de este grupo está limitado de septiembre de 2008 a la fecha, se puede resaltar que es necesario mantener la evaluación del popal a mediano-largo plazo con el fin de evaluar si el número de especies se incrementa.

El potencial de nitrificación y desnitrificación presentó una de las variables que mejor pueden presentar el valor para la conservación y/o restauración de estos ecosistemas. Los humedales naturales han sido recreados ingenierilmente con el fin de depurar el agua de una gran cantidad de contaminantes presentes. Dentro de estos se encuentran los compuestos nitrogenados como son los nitratos, estos tienden a escurrir hasta llegar a cuerpos de agua receptores, iniciando o acelerando procesos de eutrofización (enfermedad de los niños azules o metamehoglobinemia). Los resultados en este sentido muestran que el potencial de nitrificación (ruta hacia la conversión de nitratos), es mayor en las áreas monitoreadas con invasión de pasto alemán (terreno vecino particular con la gramínea africana y que no ha presentado acción alguna de restauración), mientras que, el popal en restauración de este proyecto, presenta un mayor

---

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

potencial de desnitrificación, es decir, las reacciones biogeoquímicas presentes en el humedal, transforman los nitratos presentes a nitrógeno atmosférico que es liberado directamente a la atmósfera.

Quedan una serie de acciones pendientes de realizar dentro del popal de La Mancha. En primer lugar es requerido mantener acciones de seguimiento y control de los rebrotes de *E. pyramidalis* sobre todo en tiempo de secas. La renivelación nuevamente será necesaria en aquellas áreas que presentan dichos rebrotes.

*T. domingensis* ha presentado una recuperación importante durante la restauración, sin embargo la capacidad de esta especie para avanzar y desplazar a otras especies (como *S. lancifolia* y *P. sagittata*), pone de manifiesto la necesidad de eliminar parte de la población de *Typha*, sobre todo de las partes centrales del humedal, dejándola únicamente en aquellos sitios donde su monitoreo y control en el futuro son más sencillos. Después de la presente experiencia se considera que el tifal no debe ocupar más del 20% del área del humedal restaurado.

Debido a la experiencia obtenida cuando el espejo de agua fue mayor se requiere la generación de estos espacios que puedan incrementar la biodiversidad así como permitir que se den cadenas tróficas más estables.

En general, todo el trabajo realizado para lograr la restauración del popal de La Mancha, generó una serie de cambios que se reflejaron en todas los grupos monitoreados: vegetación, herpetofauna, entomofauna, avifauna e ictiofauna. Por ello es necesario mantener el monitoreo de todos los grupos con el propósito de entender el o los procesos que lleven a la estabilización del sitio restaurado. Finalmente, contar como siguiente paso, con la información de monitoreos de



# INFORME FINAL

---

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

humedales conservados permitirá determinar y comparar el éxito de la restauración.

## 1. Antecedentes

Aproximadamente el 85% de los humedales de América Latina y el Caribe están en riesgo o en condiciones vulnerables (Olson *et al.*, 1998). Las razones del deterioro de los humedales de agua dulce es fácilmente explicable: la población mundial está creciendo y es necesario el abastecimiento de agua para el amplio rango de servicios que se requieren (electricidad, agua para beber, plantas de tratamiento, irrigación de cultivos, transportación, manufacturas, pesca, inundación de inundaciones recreación). Esto hace que los humedales sean alterados, desecados, contaminados, y algunas veces completamente eliminados (Silk, 2005). La mitad de los humedales en el mundo han sido eliminados y se ha realizado el cambio de uso de suelo hacia agricultura, plantaciones forestales, zonas habitacionales, o bien han sido modificados para prestar servicios como la extracción de agua, construcciones de presas o para diversión (Revengea *et al.*, 2000).

### 1.1 Problemática biológica, hidrológica y ecológica en el contexto de cuenca

La invasión por gramíneas es un problema tanto de regiones templadas como tropicales. Las gramíneas invasoras son un grupo de especies que en su conjunto podrían alterar aspectos regionales y quizá globales de funciones ecosistémicas. Las invasiones por gramíneas son importantes porque, como grupo, estas especies son transportadas activamente por el hombre, por lo que las invasiones son comunes. Compiten efectivamente con las especies nativas en diferentes tipos de ecosistemas. En los sitios donde dominan, pueden alterar procesos ecosistémicos desde el ciclo de nutrientes hasta el microclima regional. Aunado a lo anterior, muchas especies toleran o aumentan la intensidad de incendios, 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

muchas responden al fuego con un crecimiento rápido. Las características anteriores de invasiones por pastos y el hecho de que en la actualidad grandes regiones estén invadidas por este tipo de plantas, genera preocupación por sus efectos tanto a nivel regional (cambios en patrones de disturbio) como a nivel global (cambio atmosférico) (D'Antonio y Vitousek, 1992).

Las zonas de humedales presentan características ambientales particulares que las hacen inhabitables para la gran mayoría de especies vegetales. Las plantas que viven en humedales (hidrófitas), tienen adaptaciones anatómicas y/o fisiológicas que les permiten tolerar o evadir los efectos negativos originados por saturación de agua en el sustrato (Blom y Voeselek, 1996). Por estas características, es restringido el número de especies que pueden invadir los humedales. Las invasiones biológicas en humedales están relacionadas con perturbaciones antrópicas como eutrofización, cambios en la hidrología (por sedimentación, construcción de diques, canales, drenado), contaminación; así como por introducción de especies exóticas. Sobre este último aspecto, Gordon (1998) considera que las especies exóticas en los humedales potencialmente alteran las propiedades ecosistémicas de geomorfología, hidrología, biogeoquímica y patrón de disturbios.

Las gramíneas invasoras tolerantes a la inundación han jugado un papel importante en la degradación de humedales salobres y de agua dulce tanto en zonas templadas como en tropicales. En zonas templadas se ha reportado invasión por *Spartina alterniflora*, de origen americano, en marismas salobres de las costas europeas (Williamson, 1986). En Australia y Tasmania se introdujeron *Glyceria maxima* y *Brachiaria mutica*, que han invadido formando grandes "colchones flotantes" en pantanos y otras zonas inundables. En estas regiones el pasto eurasiático *Spartina townsendii* ha invadido humedales salobres costeros



(D'Antonio y Vitousek, 1992). Extensas zonas de humedales de las regiones tropicales de América, incluyendo las tierras bajas de la cuenca del Amazonas, han sido invadidas por el zacate pará (*Brachiaria mutica*), especie de origen africano (Parson, 1972). Esta especie se introdujo a México en 1872 (Parson, 1972), estableciéndose principalmente en los estados del sur (COTECOCA, 1987). Otras gramíneas acuáticas que se han introducido a los humedales mexicanos, además del arroz (*Oriza sativa*), son especies pertenecientes al género *Echinochloa* (COTECOCA, 1991, 1995). Actualmente, las especies que se pueden encontrar en los humedales de casi todo el país son las especies nativas *E. crus-pavonis* y *E. polystachya*, así como las introducidas *E. colonum* y *E. crusgalli*; mientras que en el sureste es abundante la especie *E. pyramidalis*, introducida de África y conocida en Veracruz como “zacate alemán” (COTECOCA, 1991).

De acuerdo con Melgarejo-Vivanco (1980), en las zonas inundables de Veracruz el principal pasto forrajero que se introdujo fue el zacate “pará” (*B. mutica*), pero poco a poco ha sido reemplazado por el zacate “alemán” (*E. pyramidalis*), apreciado por los ganaderos por ir “formando suelo en las zonas pantanosas”. En este punto cabe hacer una breve mención sobre el manejo de pastizales en la planicie costera veracruzana. Las principales zonas ganaderas de Veracruz están en las cuencas medias o bajas de los principales sistemas fluviales de la Vertiente del Golfo. Esto hace que dentro de las llanuras naturales y de los pastizales manejados -donde se practica la ganadería extensiva- haya una gran variedad de humedales característicos de las zonas bajas, como lagunas permanentes y temporales, esteros, pantanos (a veces cubriendo cientos de miles de hectáreas) y cauces antiguos de ríos (Olguín-Palacios, 1993). Esas tierras son destinadas para el ganado bovino ya que son consideradas improductivas agrícolaemente; esta actividad en las zonas inundables se lleva a cabo básicamente durante el período de sequía, el cual, en la zona central de Veracruz, puede ser hasta de 7-8 meses

(del Ángel, 1993; Olguín-Palacios, 1993). Cuando algún ganadero no dispone de diversidad microambiental (“bajos” y “altos”), busca la manera de lograrlo por medio de arrendamientos o compactación de terrenos (del Ángel, 1993). La tendencia dominante en el último siglo es hacia la desaparición gradual de esos cuerpos de agua dando paso a pastizales con una productividad ganadera baja (Olguín-Palacios, 1993).

## 1.2 *Echinochloa pyramidalis* en La Mancha

*Echinochloa pyramidalis* ha sido introducida en las zonas inundables para “crear suelo” y transformarlas en potreros (López-Rosas, 2007). Estas zonas naturalmente tienen popales de *Sagittaria lancifolia*, *S. latifolia* y *Pontederia sagittata* y, en menor grado, tulares. Su introducción frecuentemente va acompañada de obras de canalización para el drenaje de terrenos. Es una especie altamente productiva (Travieso-Bello *et al.*, 2005) que acumula biomasa seca rápidamente y de esa manera va elevando el terreno (Observaciones personales). Los ganaderos consideran que este pasto es formador de suelo. Los trabajos realizados por López-Rosas (2007), muestran la capacidad invasora de esta especie hacia humedales colindantes que no han sido transformados a potreros inundables.

Con las invasiones biológicas, el cambio más evidente es la disminución de la diversidad por la transformación de una comunidad rica en especies, en una comunidad casi mono-específica. Ese cambio ha sido detectado en la zona, junto con cambios en funciones de los ecosistemas como la capacidad de retención del agua y los ciclos biogeoquímicos (López Rosas *et al.*, 2005; López Rosas *et al.*, 2006; Travieso-Bello *et al.*, 2005). La extensión de este problema es

---

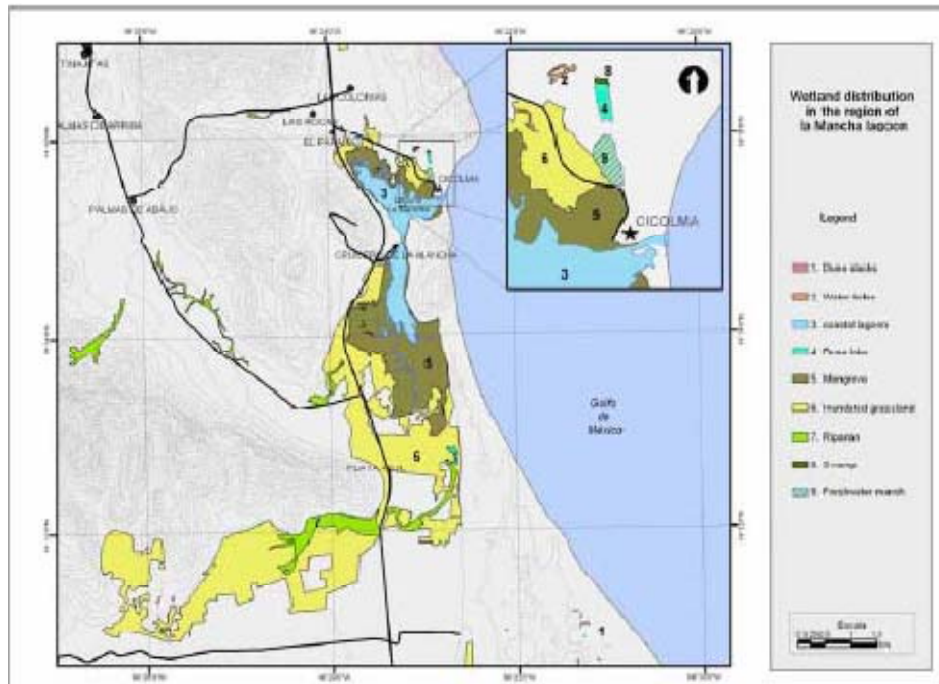
PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán  
(*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

aproximadamente de 883 hectáreas, que equivale al 93.8% del total de humedales de agua dulce de la zona (Figura 1). La recuperación natural de los humedales invadidos no es esperable porque la especie invasora es extremadamente agresiva: tiene una alta capacidad de reproducción vegetativa independiente de la intervención humana, su tamaño y forma de crecimiento inhiben la germinación y establecimiento de las especies nativas y los cambios que genera en el medio físico (compactación del suelo, acreción vertical), impiden la sucesión natural de estos ecosistemas.

El impacto de las invasiones biológicas es más intenso cuando la especie invasora tiene una forma de vida diferente a la de las especies nativas (Huston, 1994). Este punto también es aplicable a especies nativas, altamente competitivas como *Typha* spp., que se pueden convertir en monodominantes y excluir a otras especies. Para revertir los daños de los ecosistemas invadidos por gramíneas es necesario conocer la biología de las especies invasoras y así poder dirigir los esfuerzos a atacar aquellos rasgos de forma de vida que hacen a estas especies particularmente invasoras en un sitio (Groves, 1989).

*E. pyramidalis* es una hierba con fotosíntesis tipo C4, resistente al forrajeo, con alta capacidad de reproducción vegetativa por rizomas y cañas la cual crece, crece en zonas inundables con tolerancia a sequías moderadas (Howard-Williams y Walker, 1974; Skerman y Riveros, 1990).

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 1.** Área geográfica del proyecto que muestra la distribución de ecosistemas en la región y el área ocupada por pastizales en color amarillo. El área a restaurar se encuentra en el polígono número 9 (ventana de acercamiento), el cual corresponde a humedales dulces ahora invadidos por el zacate alemán.

### 1.3 Problemática económica y social en el contexto de cuenca

La zona de trabajo que incluye la Laguna La Mancha, forma parte de una microcuenca en el Municipio de Actopan. Este municipio, cuya población es de 40,541 habitantes, cuenta con 58 localidades que tienen más de 100 habitantes y tiene una superficie de 823.09 km<sup>2</sup>. La cabecera municipal que es Actopan, es la localidad más poblada con 3,899 habitantes. En la región de La Mancha, se encuentra Tinajitas, que es la segunda localidad más poblada dentro del municipio, con una población de 2,847 habitantes. En esta región viven

---

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

aproximadamente 6,100 habitantes, que representan el 15% del total municipal, distribuidos en las localidades de Tinajitas, Palmas de Arriba, Palmas de Abajo, Paso del Cedro, Crucero La Mancha, Paraíso La Mancha, Colonia La Mancha, Colonia Las Rocas, Villa Rica Playa y el Viejón Nuevo.

Como parte de las actividades realizadas en el Plan de Manejo La Mancha-El Llano, del cual forma parte el Sitio Ramsar 1336, se aplicó una serie de encuestas sobre la situación social y económica en las poblaciones costeras de la zona obteniéndose lo siguiente:

A la fecha, se ha encontrado que la región contiene el 15% de la población del municipio. Las principales actividades son el cultivo de la caña de azúcar, la prestación de servicios, la pesca y la ganadería. Un 25% de los hijos han tenido que emigrar por falta de oportunidades de empleo y la tasa global de fecundidad del 3% está al nivel de la media nacional. El 83% de los jefes de familia son del sexo masculino y el resto femenino; en tanto que su edad promedio es de 48.3 años. El número promedio de miembros por familia es de 3.9 personas. El mayor número de habitantes de la región tienen entre 11 y 20 años de edad; aunque llama la atención que la menor proporción están entre los 41 y 50 años, seguidos por los de 31 a 40 años. La proporción de habitantes mayores de 50 años es igual que la de los menores de 10 años y que la de 21 a 30 años de edad.

Las localidades de la región de La Mancha tienen una escasa infraestructura. No cuentan con un sistema de recolección de basura, ni sistema de drenaje, con la excepción de Tinajitas y en Palmas de Abajo, en donde está en vías de instalación. En cuanto a una red de agua potable, sólo Tinajitas y Palmas de Abajo la tienen, el resto la obtiene de pozos.

---

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

Existen dos clínicas del Seguro Social para toda la región. De los niveles escolares sólo Tinajitas, cuenta con tele bachillerato y bachillerato nocturno.

Las actividades económicas de la región se clasificaron en actividades primarias, secundarias y terciarias. En las primarias, se incluyen a la agricultura, la pesca, la ganadería y el trabajo asalariado en el campo; en la región básicamente éste se refiere a los que se emplean en el corte de la caña. En las actividades secundarias están los empleos comprendidos en el sector eléctrico, como Laguna Verde; en el sector de la construcción, como la albañilería, entre otros. Dentro de las actividades terciarias están los comercios, como abarrotes, restaurantes y cantinas; los servicios, como son los empleos domésticos que se prestan al campamento del Farallón y el transporte, donde se ubican los taxistas y los que hacen el transporte de la caña.

De acuerdo con los datos de la encuesta, el 56% de los jefes de familia encuestados tienen como trabajo principal una actividad primaria. El 13.5% se dedica a las actividades secundarias. El 18% se ocupa en las actividades terciarias y el 12% está jubilado, desempleado o se dedica a las labores del hogar.

El porcentaje de los empleados en la actividad primaria se desglosa de la siguiente manera: el 23% practica la agricultura, el 9% se dedica a la ganadería, el 10% a la pesca y un 14% es jornalero agrícola o trabajador asalariado en el campo. A pesar de que solo aparece un 9% dedicado a la ganadería, los trabajos de Travieso Bello (2005) reportan que la mayor parte de la superficie de la cuenca está ocupada por terrenos ganaderos dedicados a la cría de bovinos.

## 2. Sitio de estudio y problemática

El sitio en restauración es un popal (humedal emergente herbáceo de agua dulce) de aproximadamente 2.6 hectáreas perteneciente al Centro de Investigaciones Costeras La Mancha (CICOLMA). La vegetación del sitio fue descrita por Novelo (1978) como una comunidad dominada por *Typha domingensis* Pers. y asociada con *Pontederia sagittata* C. Presl, *Sagittaria lancifolia* L. subsp. *media* (Michelin) Bogin, *Hydrocotyle umbellata* L., *Hydrocotyle bonariensis* Comm. ex Lam., *Bacopa monnieri* (L.) Wettst., *Cyperus articulatus* L., *Crinum erubescens* Aiton y *Limnocharis flava* (L.) Buchenau. Poco después de esta descripción se comenzaron a realizar actividades que cambiaron la topografía y afectaron el hidroperíodo del humedal. Entre 1978 y 1988 hubo un proyecto de granjas experimentales integradas en el que se construyeron chinampas, estanques de acuacultura y canales (Gómez-Pompa y Barrero Gámiz 1982, López Martínez 1985). 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 (Tapia *et al.*, 1962; Carrera y Ferrer, 1962-1963).

En un potrero inundable contiguo al popal se introdujo el zacate alemán (*E. pyramidalis*). Esta especie entró al popal desplazando a las especies nativas y convirtiéndose en el elemento dominante de la comunidad (Travieso Bello, 2000). Al principio de este proyecto la fisonomía del humedal invadido era la de un pastizal inundable con pequeños parches de vegetación nativa (tulares de *T. domingensis* o popales dominados por *S. lancifolia*).

Entre la investigación realizada en el sitio propuesto para el presente trabajo de restauración, se encuentra la caracterización de la hidrología que demostró que las entradas de agua al humedal son por manto freático (76%), precipitación estacional (19%) y escurrimiento superficial (5%); mientras que las salidas son por

manto freático (68%) y evapotranspiración (32%). El origen del agua de manto freático es local y regional, por lo que el mantenimiento del balance hídrico del humedal depende del manejo de agua subterránea que se haga cuenca arriba y en los espacios aledaños (Yetter, 2004).

También se cuenta con una descripción de la vegetación y su asociación con parámetros fisicoquímicos de suelo y agua en la que se describen tres comunidades diferentes: una comunidad dominada por *E. pyramidalis*, otra por hidrófitas nativas, principalmente *S. lancifolia*, y la tercera por *T. domingensis*. La estructura de la vegetación de este humedal estuvo determinada por la presencia y abundancia de *E. pyramidalis*. El ambiente fisicoquímico del área invadida por *E. pyramidalis* fue diferente del de las áreas dominadas por *S. lancifolia* y *T. domingensis*. La invasión por *E. pyramidalis* ocurre tanto en zonas altas como en zonas bajas del humedal, pero la invasión es más rápida en las zonas altas (López Rosas *et al.*, 2006b). Estos resultados fueron reforzados con un experimento de competencia interespecífica en tres niveles de hidroperíodo en el que se puso a competir a individuos de *E. pyramidalis* contra individuos de *T. domingensis* o *S. lancifolia* en condiciones siempre secas, siempre inundadas y en el hidroperíodo normal del humedal (con sequía estacional). Los resultados demostraron que *E. pyramidalis* compite más eficientemente en hidroperíodos siempre secos, mientras que cuando crece junto con *S. lancifolia* en hidroperíodos siempre inundados no hay efecto de competencia. Finalmente, experimentos con tratamientos de disturbio enfocados a entender el papel de *E. pyramidalis* en la invasión del humedal mediante cuadros montados en el borde entre la zona no invadida y la zona invadida mostraron que *E. pyramidalis* continúa desplazando a las especies nativas y que la invasión completa del humedal sólo depende del tiempo. Estos resultados fueron confirmados cuando se trasplantaron individuos de *E. pyramidalis* en cuadros experimentales dentro del popal. Se ha evaluado la



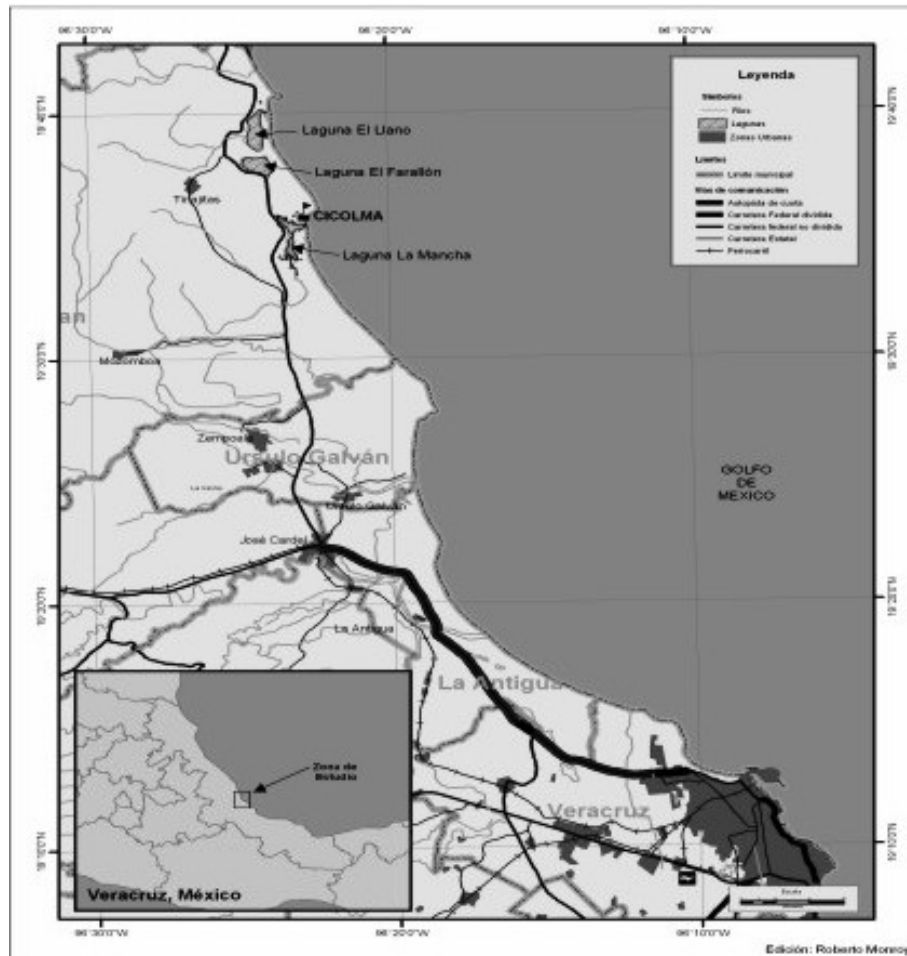
---

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

capacidad de regeneración de la vegetación en respuesta a disturbios artificiales enfocados a la eliminación o reducción de la dominancia de *E. pyramidalis*. La especie invasora se recuperó rápidamente de los tratamientos y sólo se obtuvieron resultados satisfactorios cuando se destruyeron los rizomas de esta especie mediante aflojamiento de suelo. Estos resultados fueron mejorados cuando se usó malla sombra que disminuyó la intensidad luminosa en un 50%. El uso de malla sombra elimina por completo a los individuos de *E. pyramidalis* y permite el crecimiento de plantas nativas como *S. lancifolia* y *Pontederia sagitatta*.

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. Área Geográfica y descripción física de área



**Figura 2.** Ubicación del área de estudio y de las instalaciones del CICOLMA (Centro de Investigación Costera La Mancha), coordinado por el Instituto de Ecología, A.C. en el estado de Veracruz, México.

El área de restauración se ubica en los alrededores del estuario La Mancha, en el Municipio de Actopan, Veracruz, México, entre 96°23'W, 19°36'N y 96°22'W, 19°33'N, en una depresión tectónica-abrasiva, formada por depósitos aluviales y lacuno-palustres, anegados, con suelos del tipo gleysol mólico e histosol fábriico (Priego-Santander *et al.*, 2003), y colinda con un sistema de dunas costeras. 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

clima es cálido subhúmedo con lluvias de verano. La vegetación natural que dominaba era el popal, un tipo de humedal formado por herbáceas emergentes enraizadas, de hojas anchas, destacándose por la presencia de *S. lancifolia*, *P. sagittata* y algunas ciperáceas, entre otras (Travieso-Bello *et al.*, 2005). El área de restauración abarca aproximadamente 2.6 ha (Figura.3) y se encuentra dentro de los límites de propiedad del CICOLMA (Centro de Investigación Costera La Mancha), coordinado por el Instituto de Ecología, A.C.



**Figura 3.** Ubicación del polígono a restaurar con referencia a las instalaciones de CICOLMA. Imagen de satélite IKONOS.

#### **4. Características y funciones del ecosistema que se pretende restaurar**

Los popales son humedales de agua dulce donde dominan plantas herbáceas emergentes. Este tipo de vegetación se distribuye en Veracruz, Tabasco, Chiapas y 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 metros de alto que forman un tapiz. 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.

El popal en restauración 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 porque 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 obstaculiza el tránsito de especies pequeñas como tortugas y aves vadeadoras. Entre las

principales características del popal que se pretenden recuperar son la estructura y la composición de especies vegetales.

Por otro lado, la geomorfología del popal indica que éste funciona como un espacio de captación y retención del agua superficial y subterránea, de sedimentos, residuos agroquímicos y nutrientes provenientes de las áreas de cultivo cercanas e incluso de cuenca arriba. López Rosas *et al.*, (2006b) sugieren que la alta producción de biomasa aérea de la especie invasora, aunada a un incremento en la evapotranspiración natural del humedal y a la compactación del suelo, hacen que se degrade la función de retención de agua del humedal por disminución de capacidad de captación del líquido y por incremento en la pérdida por evapotranspiración.

## 5. Objetivos:

### 5.1 Objetivo general

Recuperar el régimen hidrológico, la composición de especies, la estructura y la función ecológica de un popal dominado por *Sagittaria lancifolia*, que ha sido invadido por la gramínea africana introducida *Echinochloa pyramidalis*.

### 5.2 Objetivos particulares

1. Recuperar el régimen hidrológico normalizando la topografía en la zona de popal invadido, hasta recuperar un suelo saturado en época de secas y una inundación promedio de 30 cm en época de lluvias.

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. Disminuir la cobertura de la especie invasora mediante el corte directo en toda el área y sombreado temporal en los bordes del sitio a restaurar que están colindantes con terrenos con actividades agropecuarias.
3. Permitir el establecimiento de las principales especies nativas, reintroduciendo el banco de semillas y sembrando semillas y plántulas de estas especies con base en la composición de especies de un popal no invadido reportada por López Rosas *et al.*, (2006b).
4. Evitar una reinvasión del área manejada mediante erradicaciones puntuales de *E. pyramidalis*.
5. Controlar el hidropериодо del humedal construyendo una compuerta en la salida principal del agua del humedal hacia la laguna.
6. Monitoreo de los parámetros del suelo y del agua, cada 3 meses
7. Determinación de indicadores y metodologías extrapolables a otros humedales con el mismo tipo de perturbación.

## 6. Metodología

El desarrollo del proceso de restauración en el popal de La Mancha se encuentra basado en una serie de etapas planificadas para alcanzar los objetivos y metas propuestos. Sin embargo, al ser un sistema tan dinámico, el manejo adaptativo constituyó una de las herramientas más valiosas para el desarrollo del trabajo. Con ello es importante resaltar, que de acuerdo a las necesidades presentadas en el sitio en restauración, es posible modificar el orden de las acciones a desarrollar, su duración o el cambio de ellas para lograr los objetivos planteados.

Las etapas planificadas al inicio del proyecto se describen a continuación, las mismas sufrieron modificaciones sobre el desarrollo del trabajo en muchos de los

---

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

casos y, tales modificaciones, fueron presentadas dentro de las actividades previstas realizadas o no realizadas y de las actividades no previstas realizadas o no realizadas.

## **Etapa 1**

“Esta etapa es de 4 meses y consiste en la definición de sitios de control, para la caracterización del estado inicial. En esta etapa también se hará la recuperación de las especies nativas y la construcción de la compuerta para controlar el hidroperiodo”

## **Etapa 2**

“Esta etapa durará 4 meses. Consiste en la remoción y nivelación del suelo para recuperar la topografía y el hidroperiodo, también se removerá el pasto invasor, se recuperaran los tubérculos y el banco de semillas durante esta operación. El pasto removido será quemado.”

## **Etapa 3**

“Esta etapa dura 8 meses, consiste en restablecer el banco de semillas y la siembra de especies nativas, la colocación de malla sombra, la instalación de piezómetros para el monitoreo del hidroperiodo. Se erradicará el pasto puntualmente según reaparezca. Comenzará el monitoreo tanto de indicadores fisicoquímicos, como indicadores biológicos”.

## **Etapa 4**

“Esta etapa durará 4 meses, consiste en la construcción de una barrera vegetal para prevenir la invasión de uno de los lados donde se tiene un pastizal

---

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

adyacente. Se resembrarán las plántulas y las especies según se vea el avance en la sobrevivencia y emergencia del banco de semillas”.

## **Etapa 5**

“Esta etapa durará 8 meses, consiste en obtener los indicadores necesarios para evaluar el éxito del proyecto y dar un periodo para actividades no planeadas”.

## **Etapa 6**

“Esta etapa durará 4 meses, consiste en el monitoreo final para obtener los indicadores de éxito y sustentabilidad del proyecto, así como la preparación y entrega de los resultados comprometidos en el proyecto”.

## **6.1 Grupos indicadores**

### **6.1.1 Vegetación**

#### **Definición y marcaje de áreas de control y de manejo con cuadros de monitoreo permanentes y caracterización inicial del sitio**

Considerando los diferentes parches de asociaciones de especies ubicadas en el sitio se delimitaron y marcaron cuadros numerados que fueron divididos en dos grandes categorías: A) Cuadros de Control (cuadros que mantendrán la vegetación de la condición inicial y que no se manipularan) y B) Cuadros de Manejo o Tratamiento (cuadros a los que se les tomaran los datos pertinentes en cada monitoreo y que serán manipulados según las actividades previstas en el plan de restauración). Estos tipos de cuadros fueron además delimitados en diferentes áreas según sus características (Cuadro 1).



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

## Caracterización de la estructura y composición florística

Esta se obtuvo con valores de cobertura-abundancia de cada especie en cada cuadro usando una escala ordinal del 1 al 9 (Westhoff y van der Maarel, 1978). Posteriormente, de toda la información obtenida se obtuvieron los porcentajes de cobertura de cada especie por tratamiento así como el valor de dominancia por especie para poder presentar los cambios de la comunidad florística y con ello evaluar la recuperación de la flora nativa como *S. lancifolia* y la disminución de la presencia de *E. pyramidalis*. Los monitoreos de vegetación se realizaron de marzo de 2007 a agosto de 2009, incrementándose estos si existía alguna actividad que pudiera reflejar cambios en la flora del sitio.

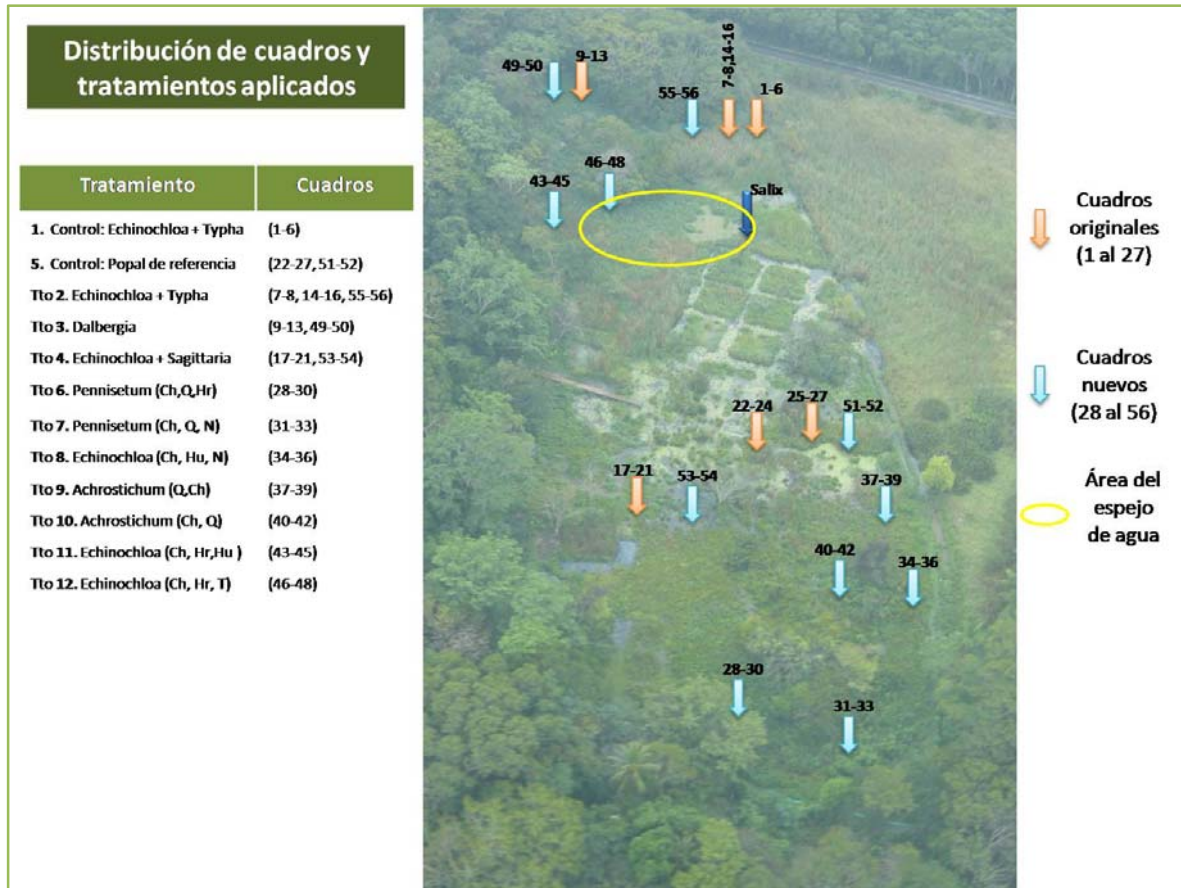
**Cuadro 1.** Cuadros permanentes marcados y estudiado en el área de restauración. Se indican el número de cuadros y las características de los mismos.

Cuadros	Características
6 Cuadros Control de 0.7 x 0.7 m Número de Cuadros: 1 al 6	Áreas de no intervención establecidas en el área dominada por <i>E. pyramidalis</i> y en menor proporción <i>T. domingensis</i> .
6 + 2 Cuadros Control de 0.7 x 0.7 m Número de Cuadros: 22 al 27, 51 y 52	Áreas de no intervención establecidas en el área dominada por vegetación de popal.
5 + 2 Cuadros de manejo de 0.7 x 0.7 m Número de cuadros: 7, 8, 14 al 16, 55 y 56	Áreas de intervención, donde se realizará el monitoreo, establecidos en un parche dominado por <i>E. pyramidalis</i> y en menor proporción <i>T. domingensis</i>
5 + 2 Cuadros de manejo de 0.7 x 0.7 m Número de cuadros: 9 al 13, 49 y 50	Áreas de intervención, donde se realizará el monitoreo, establecidos en un parche dominado por <i>Dalbergia browni</i>
5 + 2 Cuadros de manejo de 0.7 x 0.7 m Número de cuadros: 17 al 21, 53 y 54	Áreas de intervención, donde se realizará el monitoreo, establecidos en un parche dominado por <i>E. pyramidalis</i> , <i>S. lancifolia</i> y <i>T. domingensis</i> .
3 Cuadros de manejo de 0.7 x 0.7 m Número de cuadros 28 al 30	Área de intervención donde se realizó monitoreo. Parche dominado por <i>Pennisetum purpureum</i>
3 Cuadros de manejo de 0.7 x 0.7 m Número de cuadros: 31 al 33	Vegetación originalmente dominada por la gramínea <i>Pennisetum purpureum</i> . Área manejada con chapeo,

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

	fuego, aplicación de herbicida, extracción manual de rebrotes, disminución del nivel topográfico y trasplante de nativas.
<b>3 Cuadros de manejo de 0.7 x 0.7 m Número de cuadros: 34 al 36</b>	Vegetación original representativa del popal invadido por <i>E. pyramidalis</i> . Área manejada con chapeo, cubierta temporal (2 semanas) con hule negro, remoción del suelo y trasplante de 4 individuos de <i>Thalia geniculata</i> .
<b>6 Cuadros de manejo de 0.7 x 0.7 m Número de cuadros: 37 al 39 y 40-42</b>	Vegetación originalmente dominada por <i>Achrostichum aureum</i> , <i>D. brownei</i> y <i>Piper</i> spp. Áreas manejadas con chapeo y fuego. El manejo se hizo primero en los cuadros 37-39 y posteriormente en los cuadros 40-42.
<b>3 Cuadros de manejo de 0.7 x 0.7 m Número de cuadros: 43 al 45</b>	Vegetación originalmente dominada por <i>D. brownei</i> <i>E. pyramidalis</i> . Área manejada con chapeo, aplicación de herbicida, fuego y cubierta temporal (11 meses) con hule negro.
<b>3 Cuadros de manejo de 0.7 x 0.7 m Número de cuadros: 46 al 48</b>	Vegetación originalmente dominada por <i>E. pyramidalis</i> . Área manejada con chapeo, aplicación de herbicida, fuego, inundación y trasplante de hidrófitas nativas, principalmente <i>S. lancifolia</i> .

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 4.** Detalle de los cuadros, número de tratamiento al que corresponden y ubicación en el área de restauración

## 6.1.2 Variables ambientales

### Caracterización de propiedades fisicoquímicas de suelo y agua

Junto con el muestreo de la vegetación se obtuvieron algunos parámetros fisicoquímicos de suelo y agua en cada cuadro, antes de iniciar el manejo. Se midió *in situ* el nivel del agua, la conductividad eléctrica y el *pH* del agua

intersticial, el potencial de óxido-reducción ( $Eh$ ) del suelo, la humedad relativa del suelo y la densidad aparente del suelo; asimismo, se colectaron muestras de suelo y agua para su posterior análisis en laboratorio (fosfatos y amonio con técnicas estándar para suelos inundables. Cuando el manto freático estuvo por debajo de la superficie del suelo, el nivel del agua se obtuvo introduciendo lentamente un tubo de cobre (0.3 cm de diámetro interno) en el suelo y aspirando con una jeringa de plástico hasta detectar el manto freático. Cuando el suelo estuvo inundado, el nivel del agua se midió directamente con regla. La conductividad eléctrica y el  $pH$  se midieron en muestras de agua intersticial colectadas 15 cm debajo de la superficie del suelo, aproximadamente a la mitad de la zona de raíces y mediante un multiparamétrico (Ultrameter 6P). El  $Eh$  se midió a 15 cm debajo de la superficie del suelo usando tres electrodos de platino, un electrodo calomel de referencia (Corning 476340) y un medidor digital de  $pH/ORP$  (Barnant). Los electrodos de platino se calibraron previamente a 218 mV en laboratorio con quinhidrona (Sigma Q-1001), en una solución amortiguadora de  $pH$  4 (Bohn, 1972). Para calcular el  $Eh$  se sumaron 244 mV a cada lectura obtenida en campo. Para el análisis de los datos se usó el promedio de los tres valores de  $Eh$  obtenidos en campo. Para calcular la humedad relativa y la densidad aparente del suelo se colectaron muestras de 198 cm<sup>3</sup> del suelo superficial de cada cuadro. Las muestras se colocaron dentro de cajas de aluminio y se pesaron (peso húmedo). Posteriormente se secaron en estufa a 80 °C durante 48 h y se volvieron a pesar (peso seco). La densidad aparente se calculó dividiendo el peso seco (g) entre 198 cm<sup>3</sup>. La humedad relativa del suelo se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$\text{Humedad relativa (\%)} = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100$$

### 6.1.3 Anfibios y reptiles

Para el monitoreo de anfibios y reptiles presentes en el área de estudio, se llevaron a cabo 27 sesiones de muestreo con duración de cinco a nueve días cada mes. El periodo de estudio comprendió desde febrero de 2007 a agosto de 2009. Para que en el monitoreo estuviera representada la variabilidad ambiental inherente al proceso de restauración (cambios de la composición vegetal, variaciones del hidroperiodo y de la profundidad del agua), se seleccionaron puntos de muestreo para obtener registros de organismos, empleando una combinación de las siguientes técnicas.

#### Registros visuales.

Se efectuaron recorridos aleatorios diurnos y nocturnos en un radio de 30 m alrededor de ocho puntos de muestreo establecidos en el área del humedal en restauración y hábitats circundantes. Los recorridos se hicieron por un periodo de tiempo determinado (3 horas) en busca de individuos, revisando los lugares que proporcionan cobertura a los organismos (envés de hojas, ramas, corteza, troncos caídos, acumulación de vegetación). Esta técnica de avistamiento es utilizada para determinar inventarios, la riqueza de especies de un área, para compilar la lista de especies (composición de especies) y para estimar su abundancia.

#### Registros auditivos

Durante los recorridos se llevaron a cabo registros auditivos de anfibios anuros para reconocer las vocalizaciones específicas y distintivas de cada especie, que emiten los machos para advertir su posición a las hembras y a rivales potenciales. Esta técnica sirve para estimar presencia o diversidad temporal de especies de ranas y sapos.

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

Adicionalmente para el monitoreo sistemático de anfibios se hizo una distinción por ambientes de acuerdo a las comunidades vegetales predominantes en el humedal y ambientes colindantes, obteniéndose un total de cinco ambientes: tular, popal, zonas de inundación permanente (canales y pozas), selva baja caducifolia inundable y pastizal de *E. pyramidalis*. En estos ambientes se establecieron un total de 15 transeptos de 50 m, tres correspondientes a cada ambiente representado, marcados permanentemente con varillas (0.25 y 50 m). En estos transeptos se realizaron registros visuales y auditivos cada mes durante seis días, de julio de 2008 a agosto de 2009.

### **Captura y recaptura de individuos**

La colecta se efectuó operando trampas de desvío (tortugas, cocodrilos y algunos anfibios y serpientes), directamente a mano (anfibios anuros y caudados, lagartijas) o en tubos de PVC colocados como refugios (anfibios anuros), con la ayuda de lazos (cocodrilos) y con ganchos o pinzas herpetológicas (serpientes). Las trampas de desvío consisten en un paño de red de 5 a 10 m de longitud que dirige el movimiento de los animales en el fondo o superficie del agua hacia cilindros con entrada de embudo (0.5 y 1 m de diámetro) acoplados en cada extremo.

Cada individuo capturado fue fotografiado, medido, pesado, sexado y marcado (sólo en el caso de tortugas y cocodrilos), para reintegrarlo a la población en un corto periodo de tiempo en el mismo punto de captura. Las tortugas fueron marcadas mediante la realización de pequeñas muescas u orificios en los escudos marginales del caparazón. Para marcar a los cocodrilos se hicieron cortes en las crestas dérmicas de la cola. En ambos casos se usó un código numérico preestablecido que otorga una marca única a cada animal y permite su posterior identificación.

---

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

Sobre el listado de las especies registradas se examinó la proporción de especies en riesgo de acuerdo con la legislación ambiental.

El análisis de la información sobre herpetofauna se centró en evaluar la diversidad alfa y la composición de especies en los ambientes muestreados. Para establecer si el estudio resultó lo suficientemente exhaustivo para considerarse representativo, se construyó una curva de acumulación de especies con el modelo de Clench.

Los datos obtenidos fueron agrupados por sesiones de trabajo y analizados para calcular: riqueza específica (el número total de especies encontradas), abundancia (número de registros, tanto por especie como en general) y diversidad biológica (calculada mediante el índice de Shannon-Wiener) de la herpetofauna.

La riqueza específica y la composición de especies entre ambientes fueron comparadas con el índice de similitud de Sorensen ( $S_s$ ) y los cambios en diversidad de la herpetofauna entre meses sucesivos durante la duración del estudio se evaluaron por medio de correlación de rangos de Spearman. Se contrastó la mediana del número de registros totales realizados por sesión de muestreo entre ambientes mediante la prueba U de Mann-Whitney.

#### **6.1.4 Avifauna**

Para llevar a cabo el monitoreo se realizaron nueve visitas (noviembre y diciembre del 2007; marzo, mayo y agosto de 2008, y marzo, mayo, junio y agosto de 2009) con un día de observación durante las horas de mayor actividad de las aves a partir del amanecer hasta las 11 o 12 dependiendo de la época del año. Las observaciones se llevaron a cabo con la ayuda de binoculares 10 x 50 y un

---

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

telescopio 30 x 70. Se utilizaron guías generales y especializadas para ayuda en la identificación de las especies y en los casos donde fue posible, se tomaron fotografías para tener un registro de las especies y para ayuda en la identificación.

Se seleccionaron tres sitios de muestreo a lo largo del área y en cada uno se observó la avifauna en un promedio de una hora y media juntando un total de 4.5 horas diarias. Para cada especie se anotó el hábitat particular de observación (espejo de agua, árboles asociados al popal, selva aledaña, popal y/o tular y en sobrevuelo). Con fines de comparación, se realizaron observaciones en un terreno adyacente cubierto con pasto alemán, esto como un control o tiempo “cero” durante el proceso de restauración.

Durante la toma de datos, se anotó el número de individuos observados. En caso de especies repetidas, se sumaban los individuos; si era en otro el microambiente, se marcaban como dos registros independientes. Se analizaron las aves registradas de manera general y por microambiente. La estacionalidad se determinó con base en las fechas de observación y con base de literatura (Howell y Webb, 1995) y se siguió la nomenclatura establecida por la AOU (1998) y suplementos.



## 6.1.5 Macro invertebrados

Se ubicaron en el humedal del CICOLMA cinco sitios de muestreo, en lugares representativos del mismo y que coinciden con los cuadros de vegetación acuática (Cuadro 2).

Las muestras de macro invertebrados se colectan con una red tipo “D” de 350 cm<sup>2</sup> aproximadamente y una abertura de malla de nylon de 500 micras (Merritt *et al.*, 1996). La profundidad de la toma de muestras varía entre 10 cm y 50 cm. Las muestras se fijan *in situ* con etanol al 96° y en laboratorio se limpian de la hojarasca y materia orgánica presente. Se realizaron tres recambios de alcohol, hasta dejarlas fijas en etanol al 70% (Merritt *et al.*, 1996; Ponce, 1997). Se separaron los insectos acuáticos y fauna acompañante de moluscos, anélidos y crustáceos. Se hacen tres repeticiones por cada sitio de muestreo dentro del humedal.

Se estableció un sitio de referencia dentro en el borde del humedal, que corresponde a una poza de 70 cm de profundidad.

**Cuadro 2.** Clave y tipos de vegetación presente en cada uno de ellos.

Clave	Vegetación
Sitio 1	<i>Typha-Echinochloa</i>
Sitio2	<i>Typha</i>
Sitio3	Inicio con <i>Dalbergia - Pontederia</i>
Sitio4	<i>Echinochloa</i>
Sitio 5	<i>Sagittaria</i> (popal referencia)
Poza	Popal ( <i>Pontederia - Sagittaria</i> )

## Identificación

Para la identificación de los ejemplares colectados se utilizaron las claves propuestas por Borror *et al.* (1989), Contreras-Ramos (1997) Merritt y Cummins (1996), Novelo-Gutiérrez (1997a, 1997b) y McCafferty *et al.* (1997). A cada familia se le asignó un grupo funcional (fitófago, detritófago y depredador) en función de los trabajos de Borror y White (1970), Borror *et al.* (1989), Merritt y Cummins (1996), Sandoval y Molina (2000), y de la Lanza *et al.* (2000).

## 6.1.6 Ictiofauna

### Metodología

Se empleó una metodología pasiva de muestro que consiste en la colocación de dos tipos de trampas fijas:

- a. Las empleadas para el muestro de reptiles y anfibios denominadas Fyke-Net-Set.
- b. Las elaboradas con malla metálica (aquella manufacturado que se obtiene mediante el tejido de alambres continuos en telares mecánicos automáticos), de forma cilíndrica de 1 m de largo y diámetro de la boca de 56 cm y cubiertas con tela mosquitero.

Las trampas se colocaron distribuidas por todo el popal con la única premisa de que la profundidad fuera suficiente para cubrirlas parcialmente. La ubicación de cada trampa fue georeferenciada. Una vez colocadas, se revisaron cada 24 horas por tres días. Además se tomaron parámetros ambientales como oxígeno disuelto, temperatura y conductividad con una sonda multiparamétrica YSI 085; la profundidad se midió con una regla graduada en centímetros cuando las trampas

tenían peces. Asimismo se tomaron las condiciones generales del clima. Los muestreos en el humedal se llevaron a cabo de septiembre de 2008 a agosto de 2009.

Una vez colectados los peces se les inyectó formol al 10% en el tracto digestivo y vísceras para detener el proceso de digestión y preservar el alimento y las gónadas. Asimismo, se colocaron en formol al 10% para ser trasladados al laboratorio. Después de 24 horas los organismos se lavaron en agua corriente y se almacenaron en alcohol al 70% para su preservación. En el laboratorio la determinación taxonómica de las especies de peces se realizó empleando literatura específica para aguas dulces y salobres, principalmente los trabajos de Álvarez del Villar (1970), INP (1976), Castro Aguirre (1978), Reséndez-Medina (1981a y b), Carpenter (2002), Miller *et al.* (2005), así como la Base de datos digitales FishBase (Froese y Pauly, 2004). A cada individuo de cada especie se le tomó medidas de total por individuo y se pesaron en una balanza digital Ohaus 3100 g X 0.01 g.

Se analizaron los siguientes parámetros ecológicos de la comunidad: diversidad  $H'$  (Shannon, 1949) y su modificación para peso (Whilm, 1968), riqueza de especies  $D$  (Margalef, 1969) y equitatividad  $J'$  (Pielou, 1969); estos índices son ampliamente analizados y discutidos en Magurran (1988) y Moreno (2001). Fue estimado el peso promedio ( $g \cdot \text{individuo}^{-1}$ ), este último, como una proporción del peso total y el número total de individuos

### **6.1.7 Potencial de nitrificación y desnitrificación**

En el humedal en restauración de La Mancha, se tomaron perfiles de suelo en las diferentes áreas de tratamiento (de acuerdo a los tratamientos aplicados en vegetación), para la erradicación de la especie invasora y, como referencia del

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

tiempo cero (antes de iniciar actividades de restauración), se tomaron perfiles de suelo en el terreno adyacente en donde predomina el *E. pyramidalis* y en donde no se ha realizado ningún manejo para su erradicación. También adicionalmente a los cuadros de manejo, se tomaron muestras cerca de la entrada principal de agua al humedal. Se tomaron muestras en marzo, junio y diciembre de 2008 así como en abril, julio y agosto de 2009. En el cuadro 3 se presentan la descripción de los sitios donde se tomaron las muestras de suelo.

**Cuadro 3.** Cuadros de manejo en donde se tomaron muestras de suelo.

Clave de Cuadros de manejo	Características
I	Control en zona invadida ( <i>Typha</i> + <i>Echinochloa</i> )-Inundado
II	Cuadros manejados con quema, chapeo e inundación ( <i>Typha</i> + <i>Echinochloa</i> )
III	Cuadros manejados con chapeo, quema e inundación ( <i>Dalbergia</i> )
IV	Cuadros a manejados con chapeo, inundación y malla sombra ( <i>Echinochloa</i> + <i>Sagittaria</i> )
V	Control en zona de referencia (popal)-Inundado
C	Control en zona invadida ( <i>Typha</i> + <i>Echinochloa</i> )-Sin inundación
E	Entrada del agua

En cada sitio de muestreo se tomaron cinco perfiles intactos de suelo de 0-10 cm en tubos de PVC de 4 cm de diámetro. En los perfiles intactos, se determinó el potencial de remoción de nitratos (desnitrificación) utilizando el método descrito

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

por Matlby *et al.* (1998), el cual se basa en la desaparición de nitratos en un tiempo de incubación a temperatura constante. Los tubos de PVC, conteniendo los perfiles de suelo se sellaron en un extremo con un tapón de plástico flexible y silicón, después se estabilizaron adicionando 100 mL de agua destilada y se dejaron reposar por 24 horas, posteriormente se les adicionó 10 mL de una solución de  $100 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{N-NO}_3$  para obtener una concentración inicial de aproximadamente  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{N-NO}_3$ . Los perfiles de suelo con nitratos se incubaron a  $25 \pm 2^\circ\text{C}$  y se monitoreó la desaparición de nitratos a través del tiempo.

En los dos perfiles restantes, se determinó el potencial de nitrificación y el contenido carbono orgánico soluble en el suelo homogenizado. El potencial de nitrificación se determinó de acuerdo a la técnica descrita por Ambus (1998). Dicha técnica consistió en colocar 50 g de suelo fresco y homogenizado en frascos de plástico de 1 L, se les adicionó 100 mL de una solución buffer de fosfatos a pH 7.2, conteniendo  $50 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{N-NH}_4$ . Los frascos se cubrieron con papel aluminio con orificios y se incubaron a  $25 \pm 2^\circ\text{C}$  en un agitador, para estimular condiciones aerobias. Se monitoreo la aparición de nitratos a través del tiempo. La cuantificación de nitratos en el agua se determinó por el método del ácido salicílico (Edwards and Johnson, 1983).

La determinación de materia orgánica biodisponible en el suelo se realizó por extracciones en agua fría y caliente (Hernández y Mitsch, 2007), cuantificando el carbono en los extractos. Muestras de 8 g de suelo fresco, se extrajeron con 15 mL de agua destilada a 180 revoluciones por minuto (rpm), por 24 h. Las muestras se separaron del sobrenadante por centrifugación a 3000 rpm y el sobrenadante se separó y en él se determinó la concentración de carbono orgánico por el método de Mebius, modificado, Garcia y ballesteros (2005).

## 7. Resultados

### 7.1 Vegetación

Las especies presentes a lo largo del proceso de restauración y sumadas a la dominancia de cada una de ellas, permite de primera mano tener una visión general y clara del punto de inicio del trabajo y del las condiciones al final del mismo.

El número de especies de flora presentes en el tiempo cero fue de 14 incluyendo las tres especies invasoras. Al término del proyecto se contaba con 64 especies diferentes presentes en el humedal. La presencia de las mismas no ocurrió al mismo tiempo sino a medida que avanzaban los trabajos de restauración junto con la estacionalidad del momento.

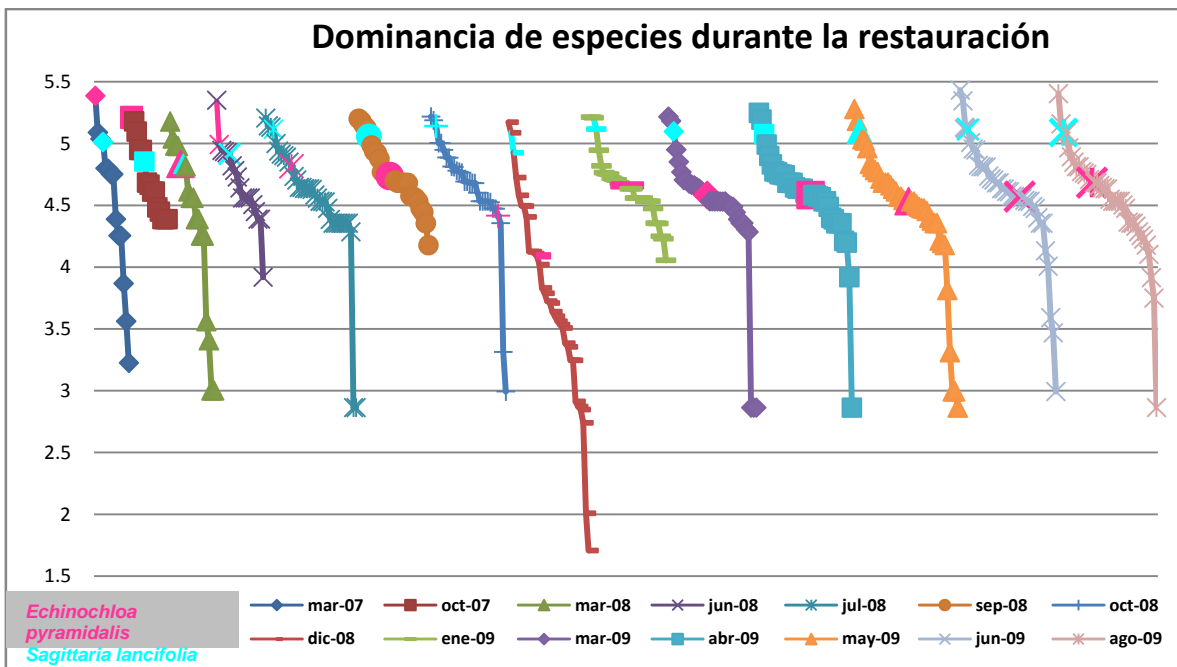
#### Dominancia de especies de flora

La dominancia de *E. pyramidalis* tan fuerte al inicio del trabajo de restauración, ha quedado muy por debajo de la dominancia de las especies de popal (Figura 5). Se ha logrado disminuir su presencia-cobertura dentro del humedal después del primer año de trabajo así como se ha incrementado la de *S. lancifolia*. Sin embargo, es importante observar que si bien la dominancia de las especies de popal-tular es mayor, los rebrotes del pasto alemán se han mantenido a lo largo de todo el proceso de restauración principalmente en las zonas más elevadas durante la temporada de secas.

Las otras especies invasoras (*Dalbergia brownei* y *Pennisetum purpureum*), han sido erradicadas del humedal, sin embargo, si bien se cuenta con una dominancia

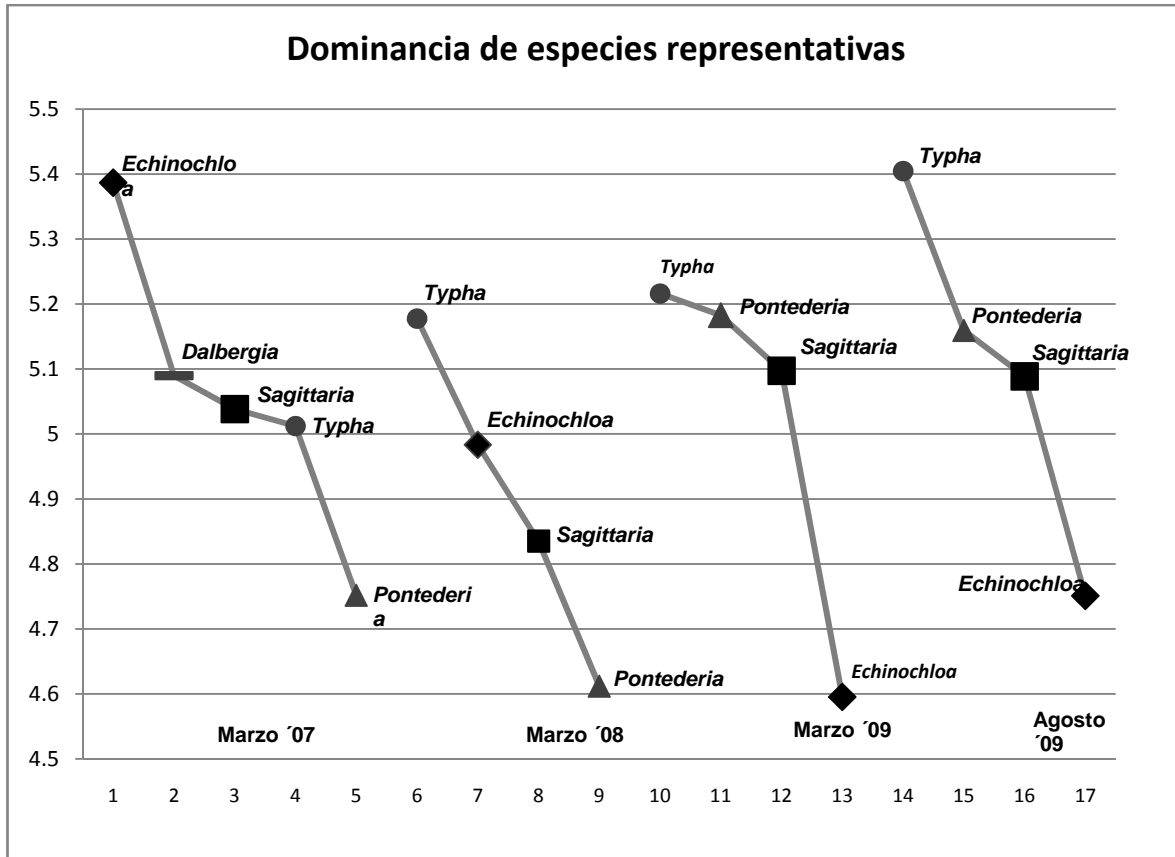
PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán  
(*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

de las especies típicas de humedales, es de prestar particular atención a la dominancia que está presentando actualmente *T. domingensis* (Figura 6). La capacidad de colonizar grandes extensiones así como desplazar a otras especies nativas por su alta competitividad, pone de manifiesto que se deben de continuar con las acciones que contengan a esta especie a áreas que puedan ser controladas para garantizar la biodiversidad del popal.



**Figura 5.** Dominancia de las especies presentes en el popal durante el periodo de restauración 2007-2009. Se resaltan los valores de la especie invasora *Echinochloa pyramidalis* así como de la nativa *Sagittaria lancifolia*.

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 6.** Dominancia de las principales especies invasoras y nativas presentes en el proceso de restauración del popal (2007.2009).

El uso de diferentes acciones para la restauración como parte del manejo adaptativo fue pieza clave para lograr la erradicación y contención de las especies invasoras. Los trabajos de investigación en el sitio, ofrecieron la información necesaria para poder establecer los tratamientos a implementar y con ello, llevar a cabo la restauración del sitio.

En el caso de los tratamientos, todos (dos controles y diez sometidos a manejo), presentaron resultados positivos durante el proceso de restauración del popal.



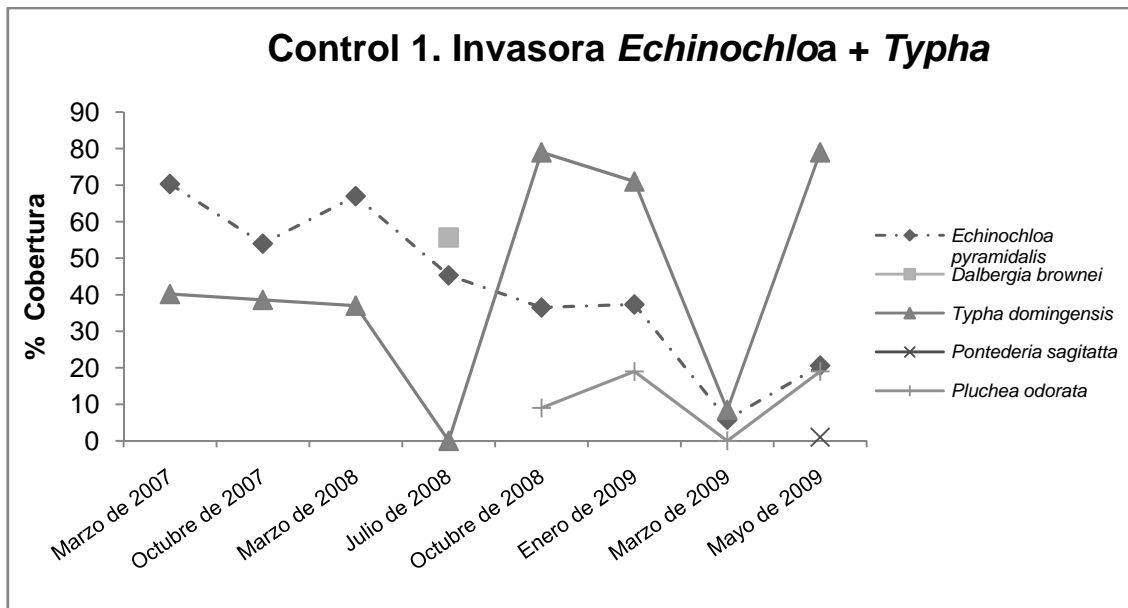
PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

Los tratamientos fueron específicos a las condiciones particulares del sitio en restauración (topografía, especies invasoras, etc.).

## Cobertura

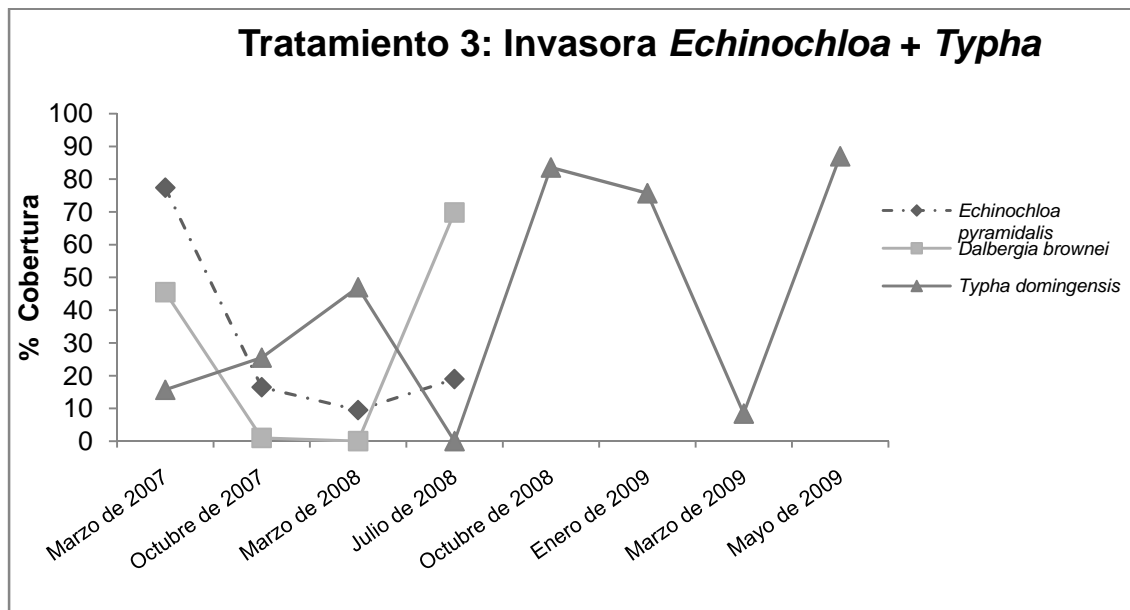
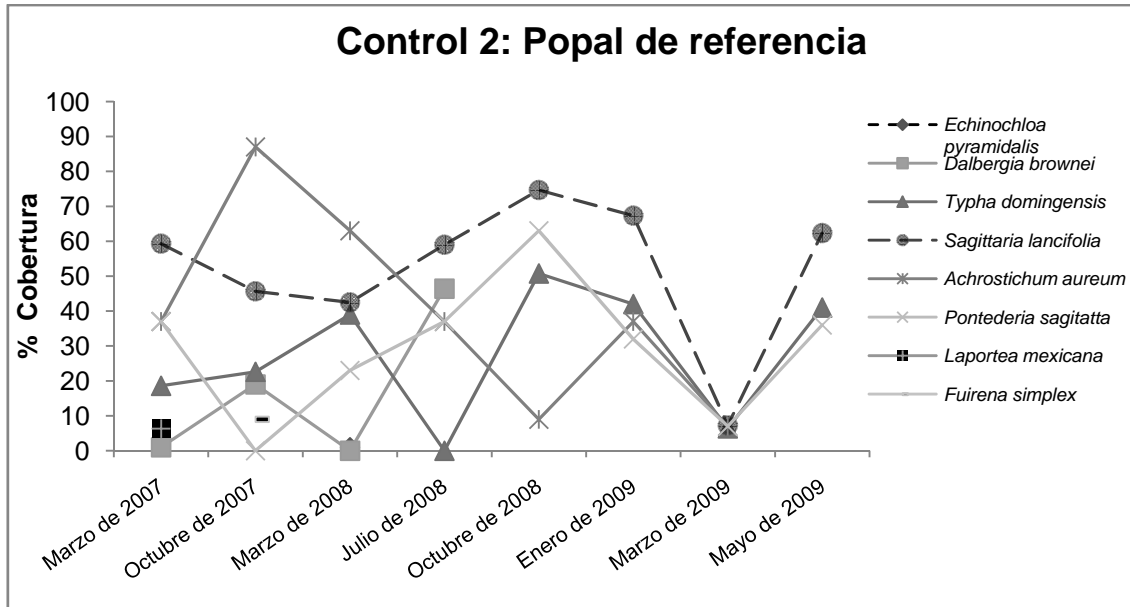
La cobertura de las especies vegetales presentes al inicio de cada tratamiento ha variado durante el proceso de restauración, presentándose un incremento en el número de especies y del porcentaje de cobertura de las mismas. *E. pyramidalis*, *D. brownei* y *P. purpureum* presentan una disminución en su cobertura y, en el caso de las últimas dos, son erradicadas del humedal.

En todos los tratamientos puede observarse un cambio en la cobertura por especie así como las variaciones de la misma al presentarse cambios en el hidroperiodo del humedal, es decir, el porcentaje de cobertura varía en los periodos de lluvias y secas en el humedal.



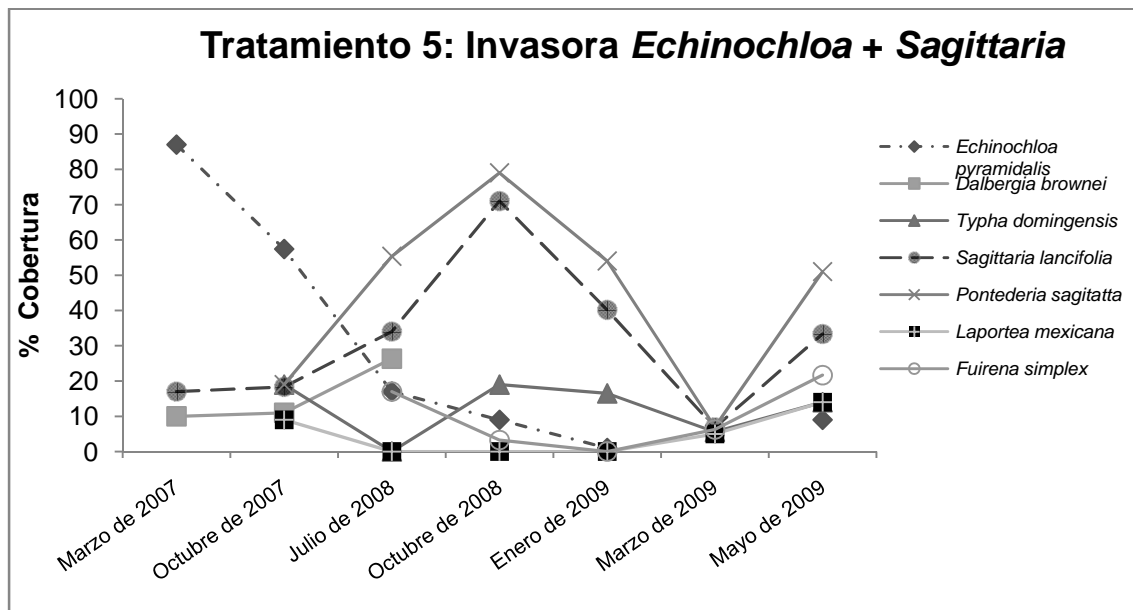
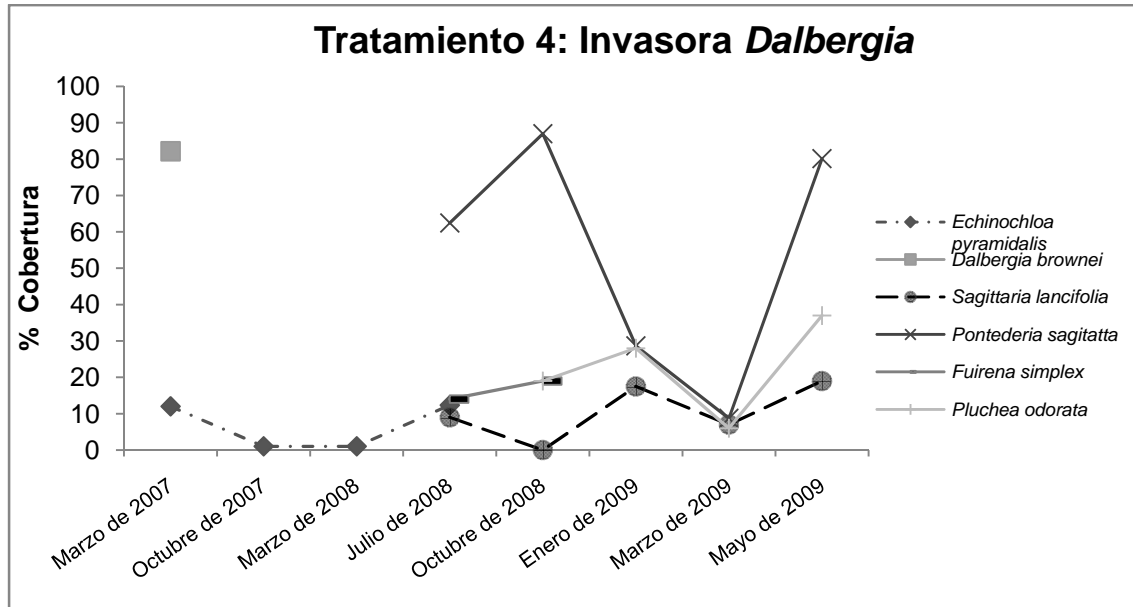
**Figura 7.** Porcentaje de cobertura por especie en los cuadros control del pasto alemán de referencia.

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



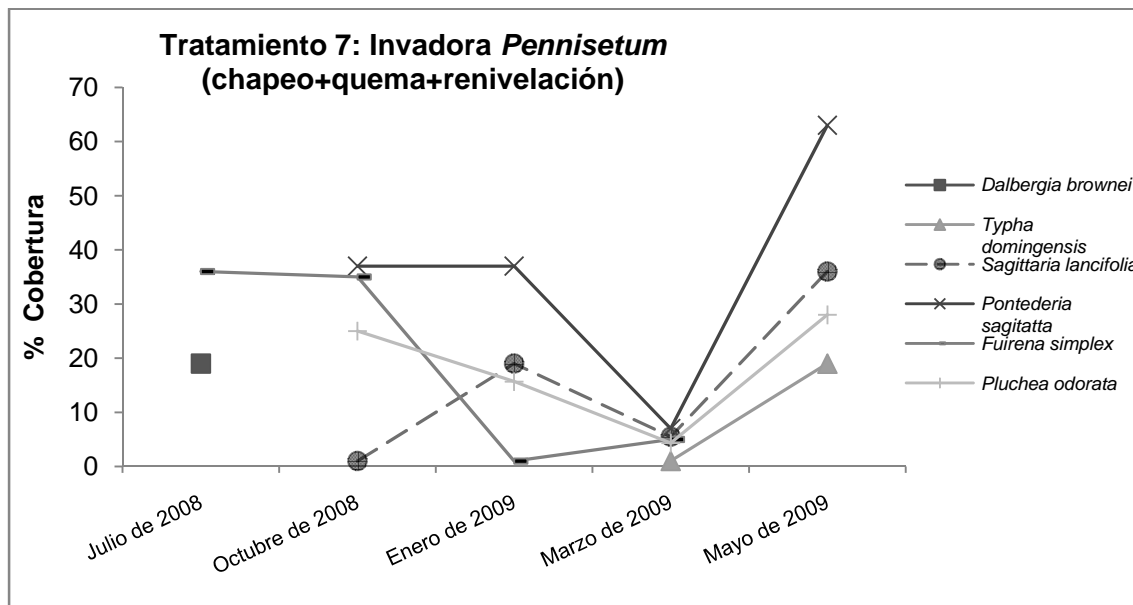
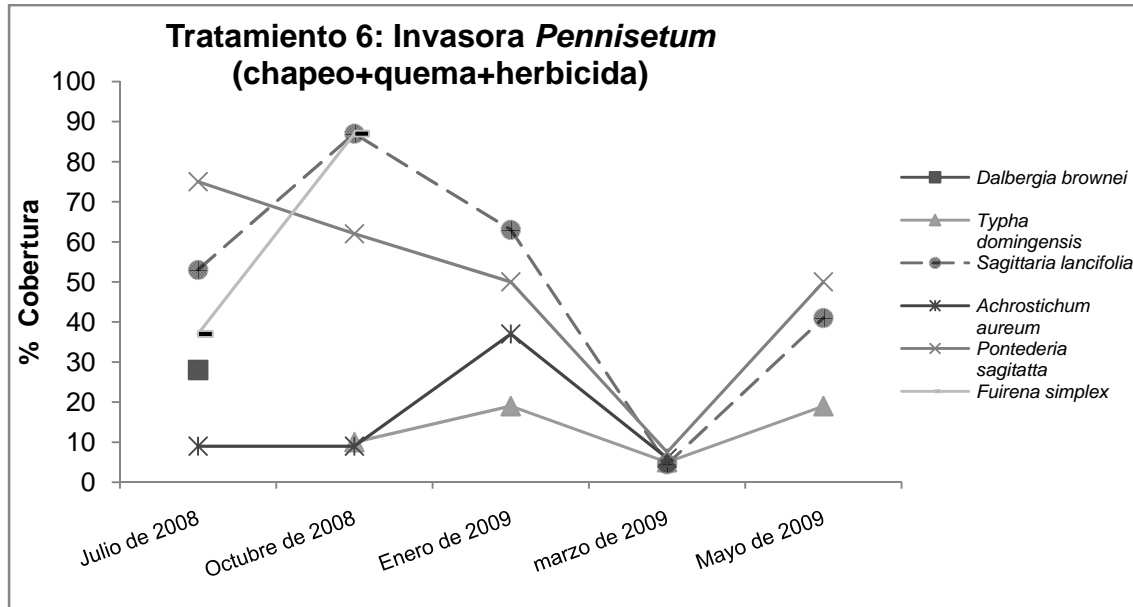
Figuras 8 y 9. Porcentaje de cobertura por especie en los cuadros control del popal de referencia y en los cuadros donde se aplicó el tratamiento 3.

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



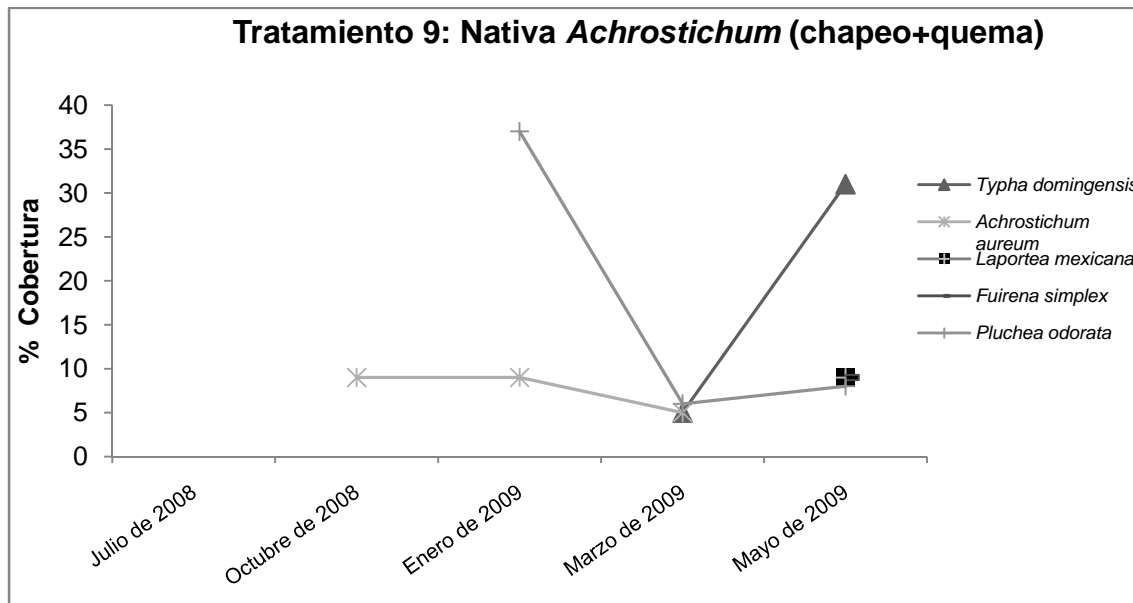
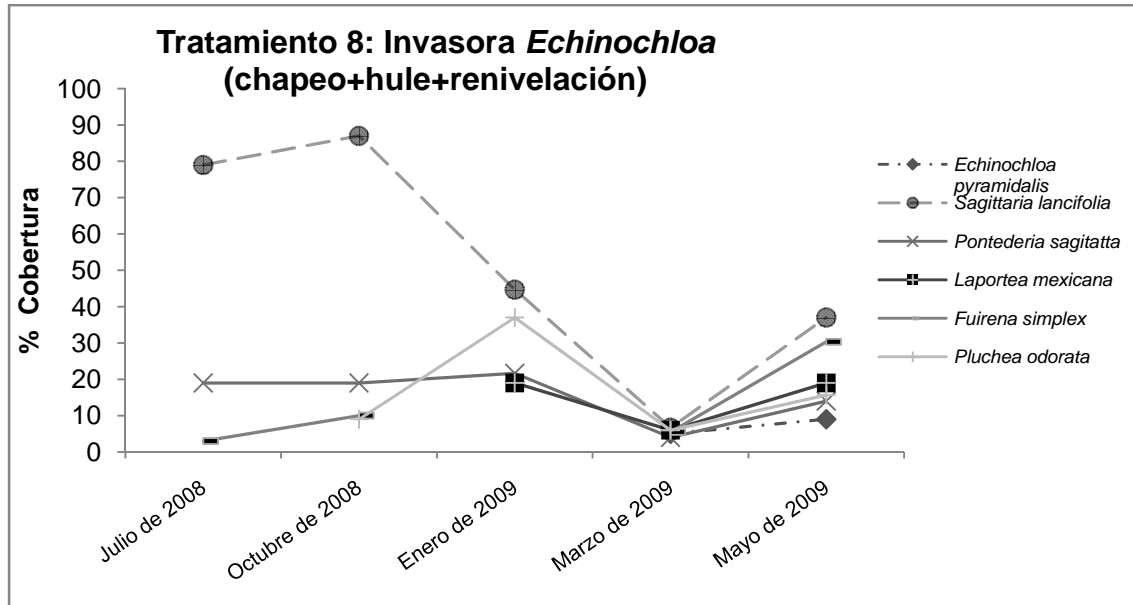
Figuras 10 y 11. Porcentaje de cobertura por especie en los cuadros con los tratamientos 4 y 5.

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



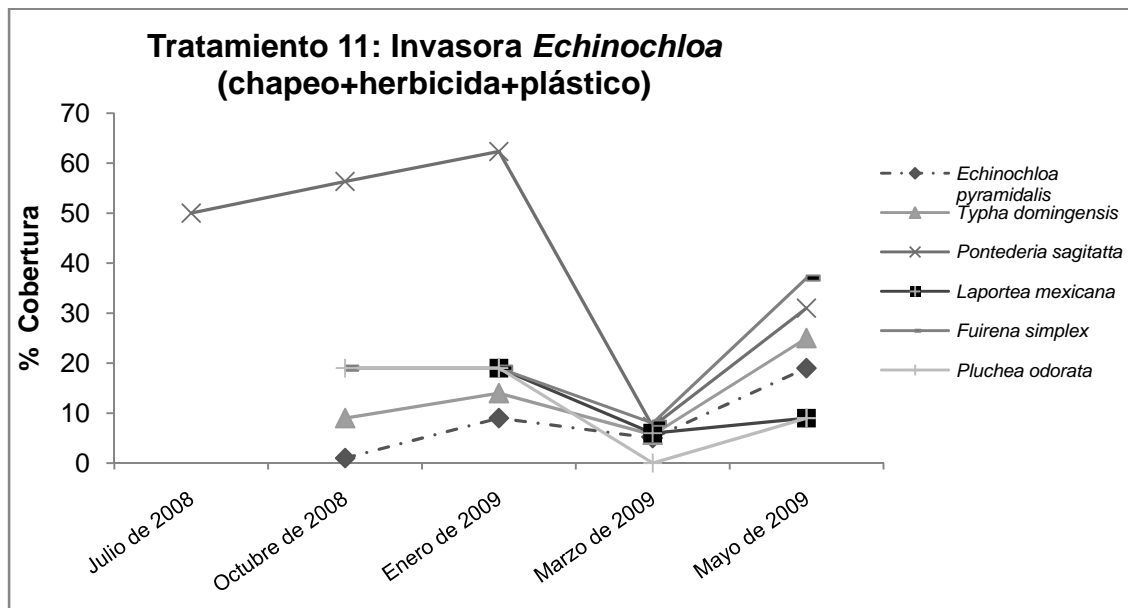
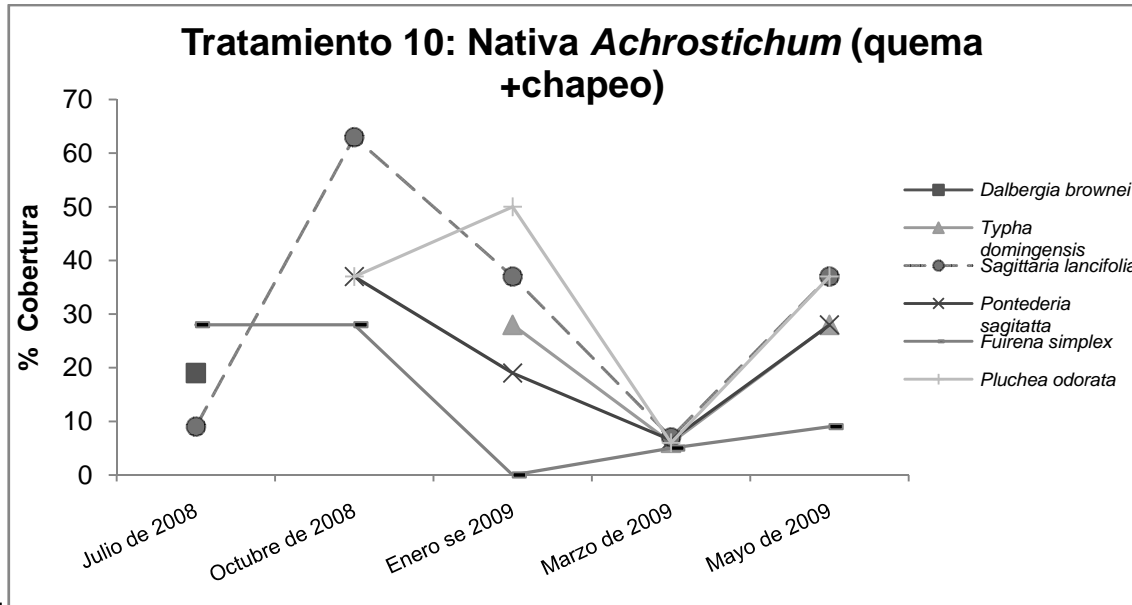
**Figuras 12 y 13.** Porcentaje de cobertura por especie en los cuadros con los tratamientos 6 y 7.

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



**Figuras 14 y 15.** Porcentaje de cobertura por especie en los cuadros con los tratamientos 8 y 9.

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



Figuras 16 y 17. Porcentaje de cobertura por especie en los cuadros con los tratamientos 10 y 11.

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

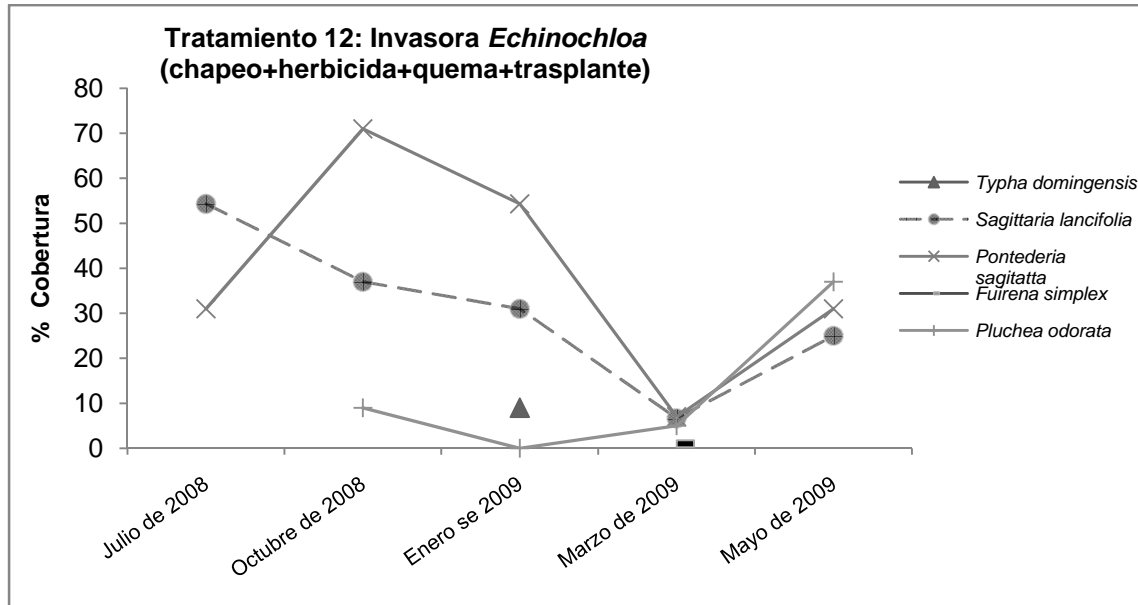


Figura 18. Porcentaje de cobertura por especie en los cuadros con el tratamiento 12.

## 7.2 Variables ambientales

Las variables ambientales monitoreadas en el humedal corresponden a los parámetros fisicoquímicos y nutrientes presentes en agua y suelo.

El monitoreo de las variables ambientales permitió establecer con claridad las condiciones al inicio y los cambios en el transcurso y al final del trabajo. A diferencia de la vegetación, los parámetros fisicoquímicos no son visibles a simple vista pero si permiten entender a un nivel más fino los cambios del proceso de restauración y las diferencias entre las zonas con popal y las que se encontraban invadidas con *E. pyramidalis*.

### Parámetros fisicoquímicos

---

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

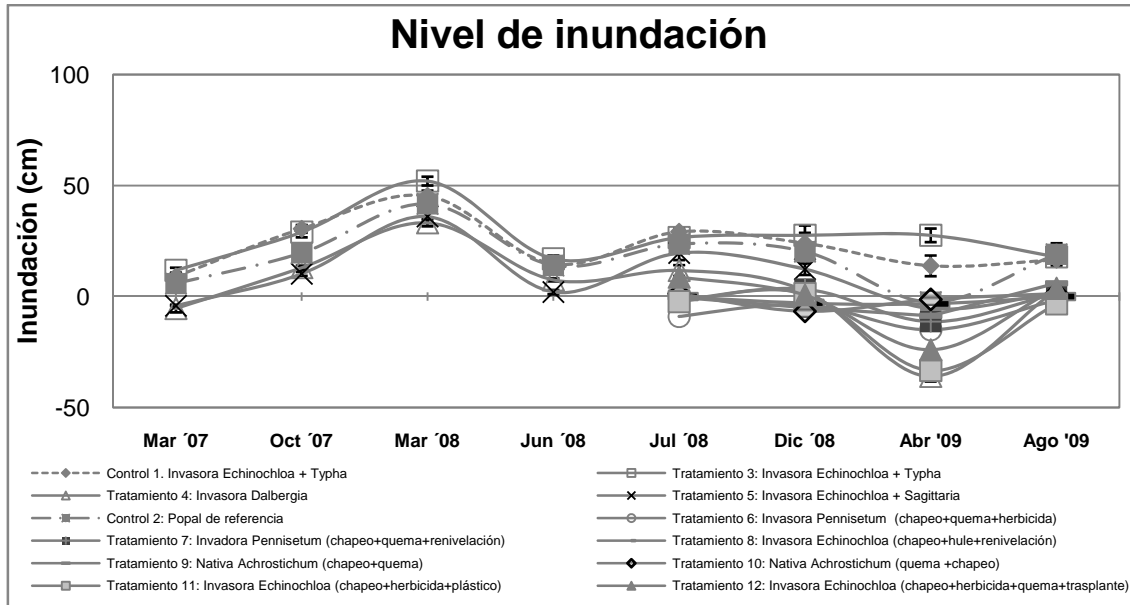
El nivel de inundación presentó las variaciones esperadas en función de las acciones varias llevadas a cabo dentro del popal. Dichas acciones (renivelación del terreno y el cierre del efluente del humedal de octubre de 2007 a marzo de 2008, principalmente), son las que permitieron observar todos los cambios en el nivel de inundación en las diferentes áreas del sitio en restauración, logrando que, incluso en temporada de secas, el humedal presentara niveles de saturación en el suelo (Figura 19).

El nivel de inundación en el transcurso del proyecto fue de vital importancia para el trabajo. Las condiciones de inundación típicas de estos ecosistemas, permiten que sólo algunas especies vegetales tengan la capacidad de establecerse en zonas de tales características. El hidroperiodo de un humedal es por lo tanto, pieza clave para la manutención de la flora del sitio.

Una de las acciones que se llevaron a cabo para la restauración del popal fue precisamente manejar el hidroperiodo del sitio. Al saber que las especies nativas son más competitivas en periodos de inundación, se procedió a cerrar la salida del efluente en el humedal. Estos meses de inundación “artificial” (octubre de 2007 a marzo de 2008), en suma con las acciones de chapeo y colocación de hule negro y malla sombra, permitieron mermar la cobertura de *E. pyramidalis*. Al término de esta etapa, durante el tiempo de secas, se favoreció un rápido crecimiento de especies de popal como *S. lancifolia* y *P. sagittata* (Figura 19)



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 19.** Nivel de inundación del humedal por tratamiento durante el proceso de restauración. Inundación artificial de octubre de 2007 a marzo de 2008.

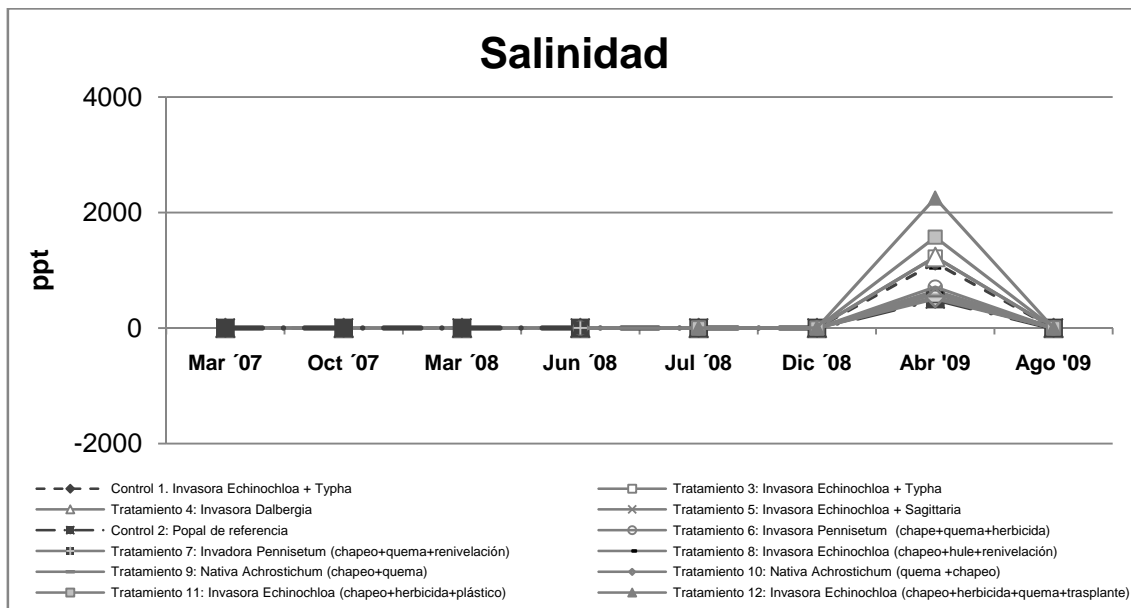
Durante 2008 y después de abrir la salida al efluente, no se volvió a manipular el nivel de inundación en el humedal. La compuerta hidráulica está instalada y lista para regular, en caso de ser necesario nuevamente, el nivel de inundación del popal.

El 2009 ha sido en sí, el primer año en que se deja el hidroperiodo natural del sitio, sin embargo, este año ha sido caracterizado por una temporada de lluvias tardía y pequeña que no permitió los niveles de inundación deseados para la época. Esto favoreció a su vez, que las zonas más elevadas del humedal, presentaran fuera de la época de secas, rebrotes de *E. pyramidalis*.

La salinidad únicamente presenta un cambio durante el mes de abril de este año y que coincide con el periodo de secas del sitio, no obstante, existe un intercambio

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

de agua del popal hacia el manglar y viceversa, que explica el incremento de la salinidad. No se presenta ese cambio durante 2007 y 2008 debido a que no se tomó medición sino hasta el siguiente periodo de lluvias y a que coincidió con el periodo de inundación artificial respectivamente. (Figura 20)



**Figura 20.** Salinidad presente por tratamiento durante el proceso de restauración.

Los niveles de conductividad en el humedal presentan el mayor cambio durante el primer año de trabajo en el humedal. Estos cambios coinciden con las variaciones del nivel de inundación en el sitio (Figura 21).

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

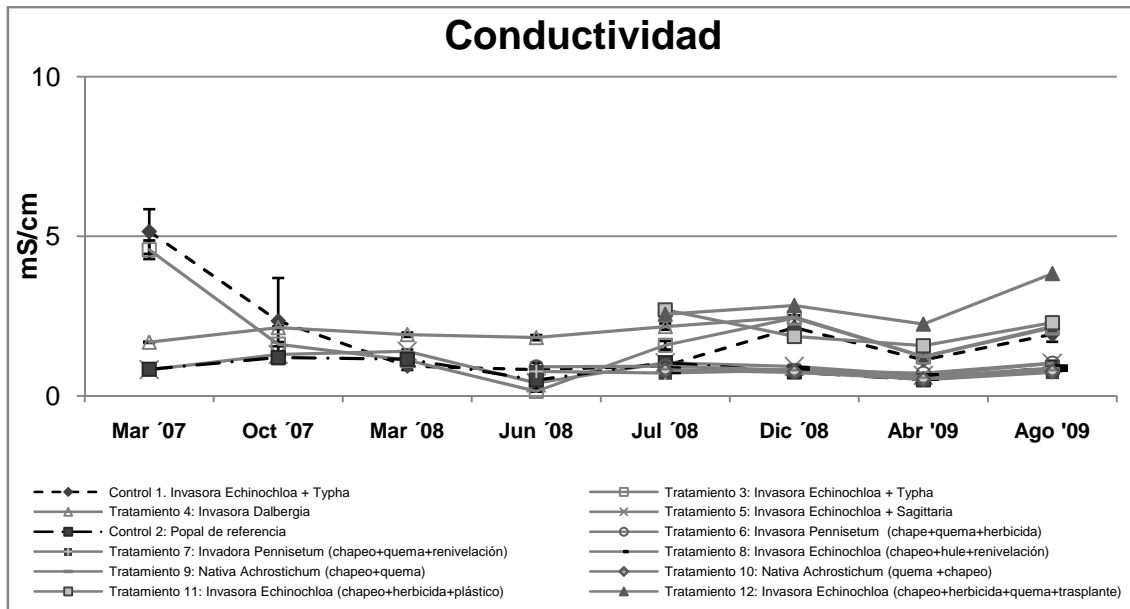


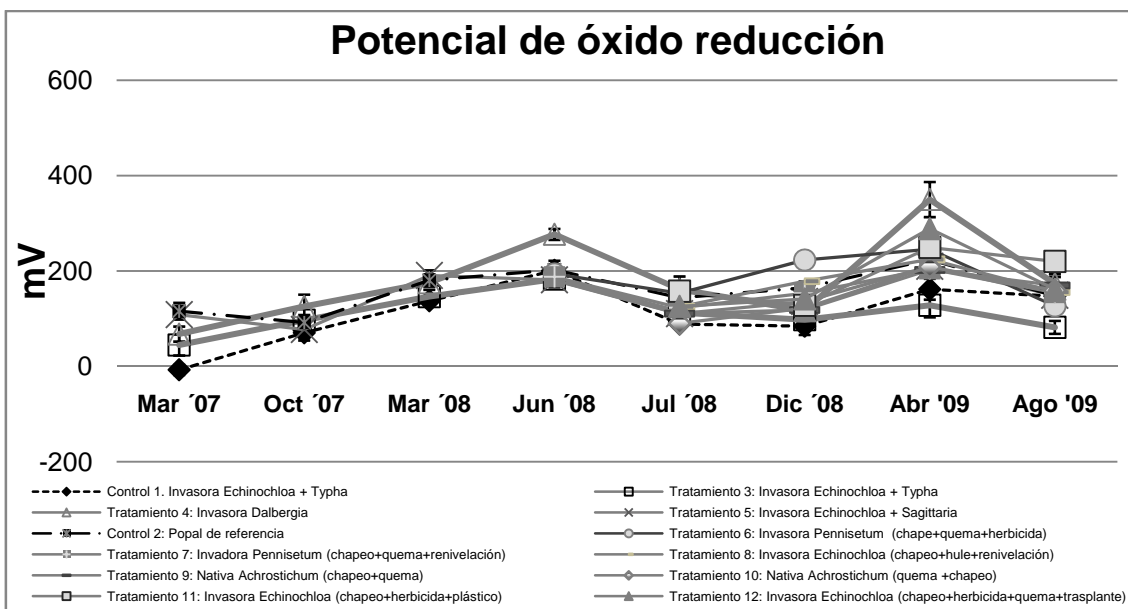
Figura 21. Conductividad por tratamiento durante el proceso de restauración.

## Potencial de óxido-reducción

Aún cuando *E. pyramidalis* presenta la característica de ir “incrementando” el nivel del suelo y por tanto presentar potenciales redox más elevados (Control 1), el potencial redox que se observó durante el proyecto fue menor en comparación con el otro control en el popal de referencia e incluso, presenta el valor más bajo, por debajo de 0.00 mV al inicio del proyecto. Esto permite valorar que aún en condiciones de inundación, el papel de la flora de humedales es de suma importancia para mantener condiciones de oxidación, por lo menos a nivel de la rizósfera de las plantas. Al comparar los valores de redox en el mes con mayor inundación dentro del periodo en que se mantuvo la inundación rtificial (marzo de 2008), podemos observar que ninguno de los tratamientos presentó valores del potencial por debajo de 0.00 mV. Ello nos indica que existen las condiciones

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

necesarias para llevar a cabo oxidaciones o bien, que el ambiente en esas zonas es oxidante (Figura 22).



**Figura 22.** Potencial de óxido-reducción por tratamiento durante el proceso de restauración.

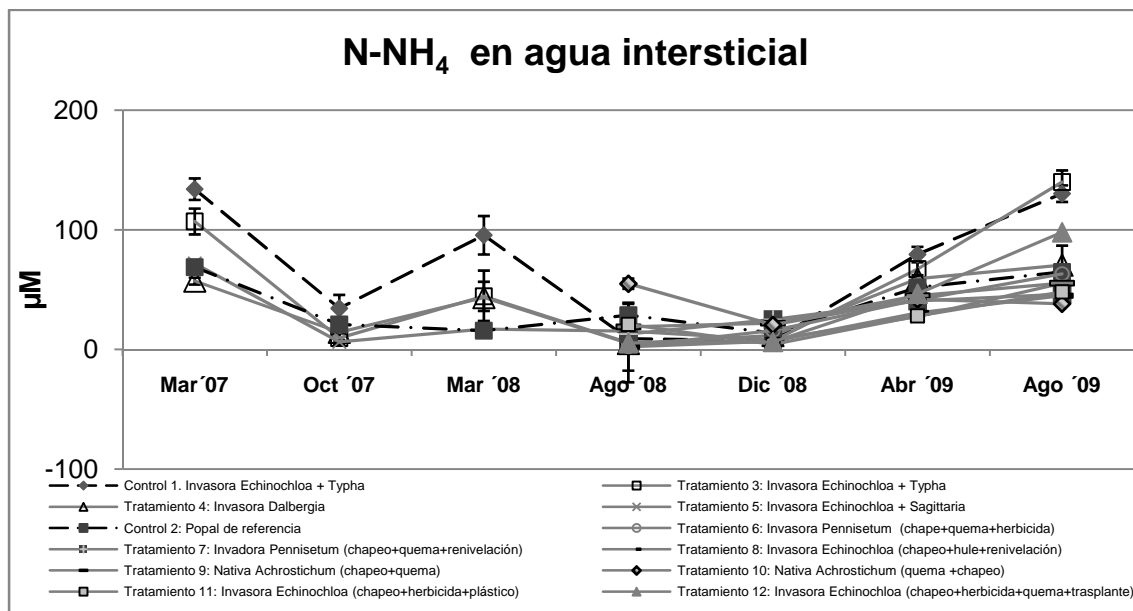
## Agua intersticial

El agua intersticial (a nivel de las raíces, 15 cm de profundidad) permite conocer las características del medio que rodean a la rizósfera.

En general la concentración de nitrógeno amoniacal es más baja con respecto al inicio del proyecto y tiende a mantenerse baja en todos los tratamientos, presentándose ligeramente más alta en el control 1 y en los tratamientos para

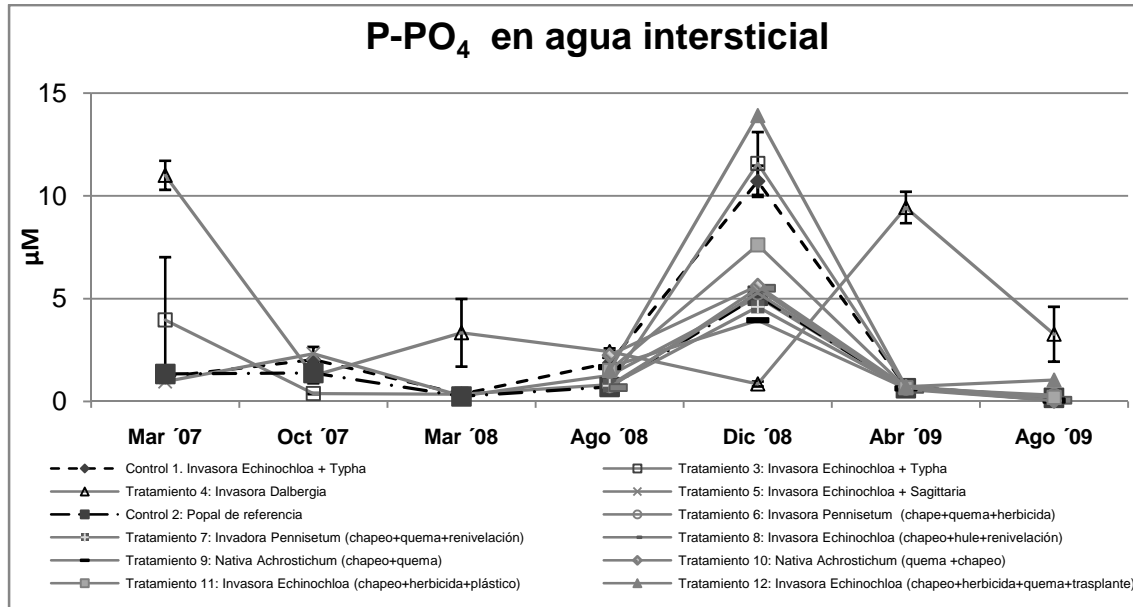
PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

manejo de *E. pyramidalis* (figura 23 y 24 al final de este párrafo). Por su parte, la concentración de fósforo de fosfatos se mantuvo más bajo durante los meses de inundación mayor. Inmediatamente después del pico más alto en el mes de diciembre de 2009, se presenta una baja en la concentración del mismo, ello se debe a que el fósforo de fosfatos se encontraba biodisponible para ser aprovechado por la flora del sitio.



**Figuras 23.** Concentración de nitrógeno amoniacal presente por cada tratamiento durante el proceso de restauración.

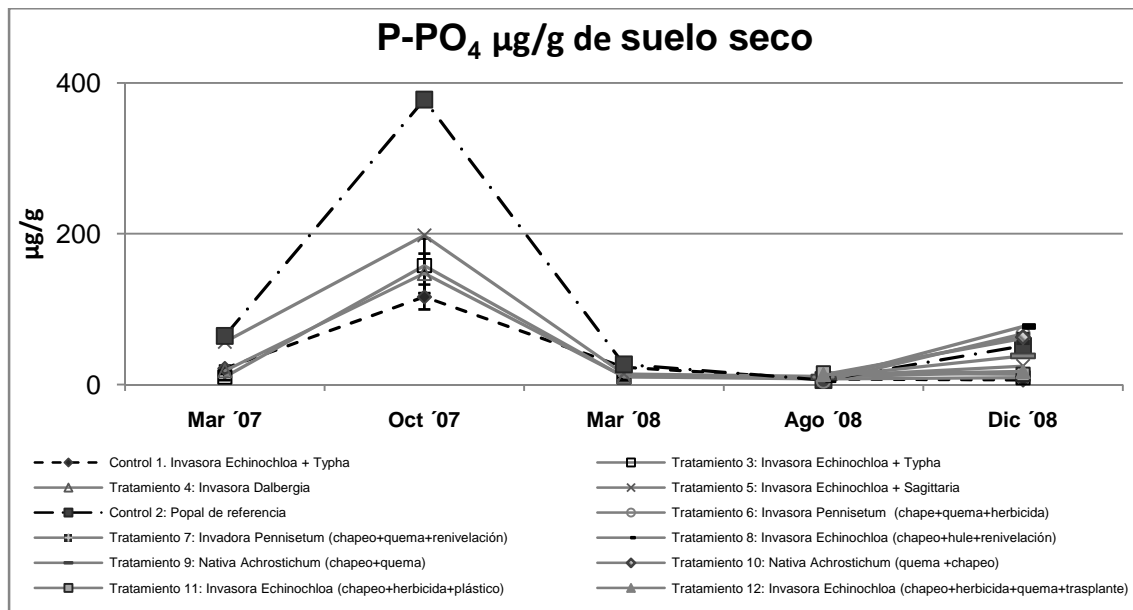
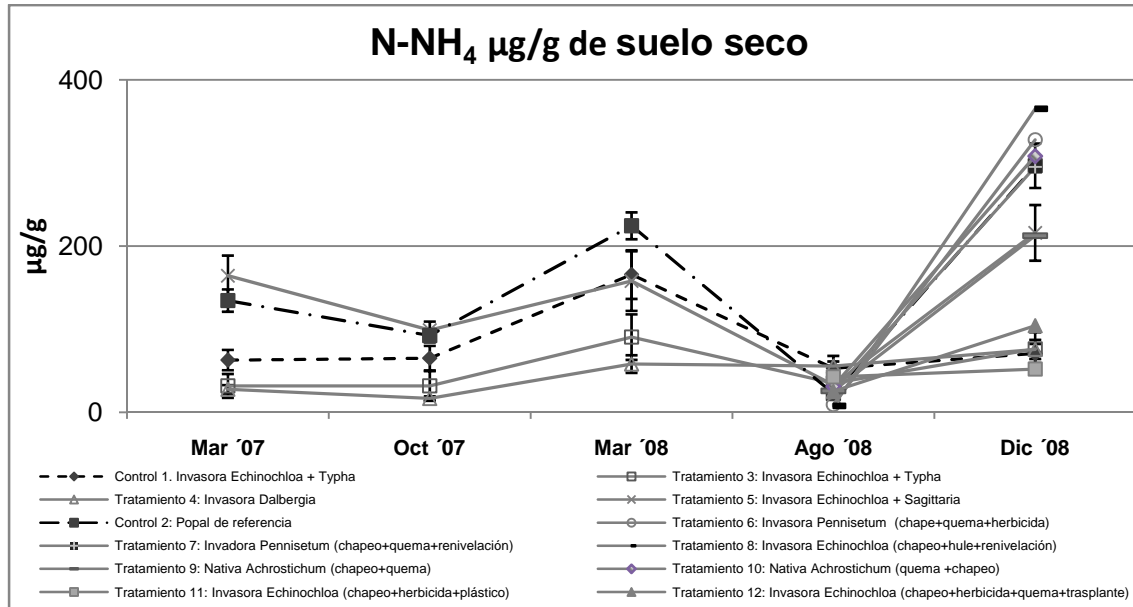
PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano



**Figuras 24.** Concentración de fósforo de fosfatos presente por cada tratamiento durante el proceso de restauración.

En el caso de la concentración de nitrógeno amoniacal presente en el suelo seco, se presentaron los valores más bajos durante el mes de agosto y repuntando nuevamente en el mes de diciembre. Por el contrario, el fósforo de fosfatos se presenta más alto en el mes de octubre de 2007. Esto puede deberse a que el fósforo fue liberado después de haber llevado los trabajos de restauración durante el primer año, lo que facilitó que estuviese biodisponible e inmediatamente empleado por la flora del humedal en los meses posteriores y que se manifiestan en las concentraciones más bajas en los siguientes monitoreos (Figura 25 y 26).

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



**Figuras 25 y 26.** Concentración de nitrógeno amoniacal y fósforo de fosfato presentes por tratamiento durante el proceso de 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

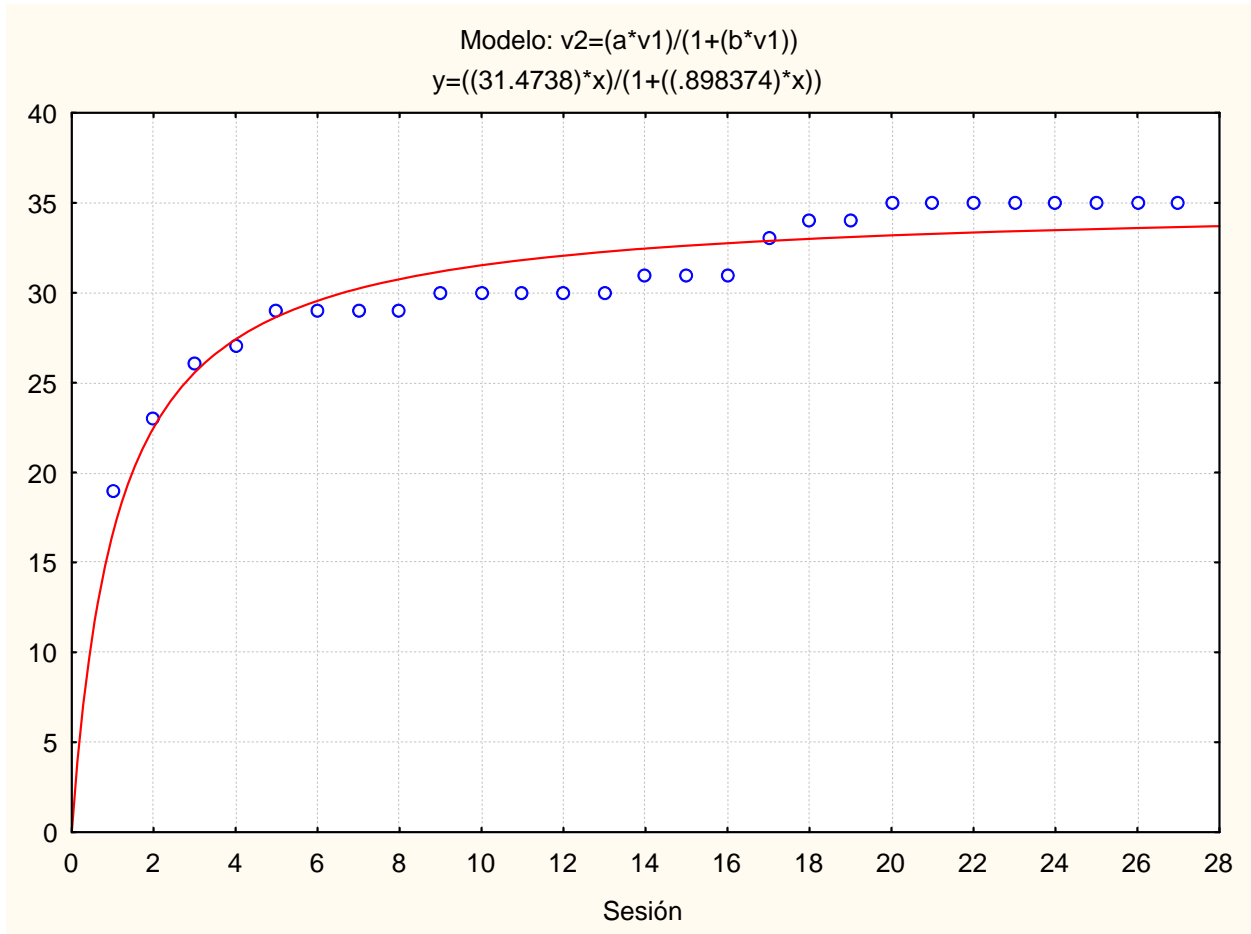
Es importante manifestar que, aunque se realizaron los mismos monitoreos para agua y suelo, las muestras de suelo no pudieron terminar de procesarse debido a que hubo un cambio en el equipo para el análisis de suelo del Inecol, A.C., el mismo que tiene un costo elevado por cada muestra, lo que generaría destinar una gran cantidad de recursos a este respecto, por lo anterior se decidió termina el análisis a diciembre de 2008 aunque el monitoreo se realizó conforme a lo programado durante 2009.

### **7.3 Anfibios y reptiles**

La curva de acumulación de especies obtenida con el modelo de Clench se muestra en la figura 27. Este modelo predijo la ocurrencia de 35 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



**Figura 27.** Curva de acumulación de especies (modelo de Clench) para el periodo 2007-2009.

Se registraron 33 especies de herpetofauna, nueve de anfibios y 24 de reptiles, de las 35 predichas por la curva de acumulación de especies. Las especies registradas se agrupan en cinco órdenes, 19 familias y 27 géneros (Cuadro 4).

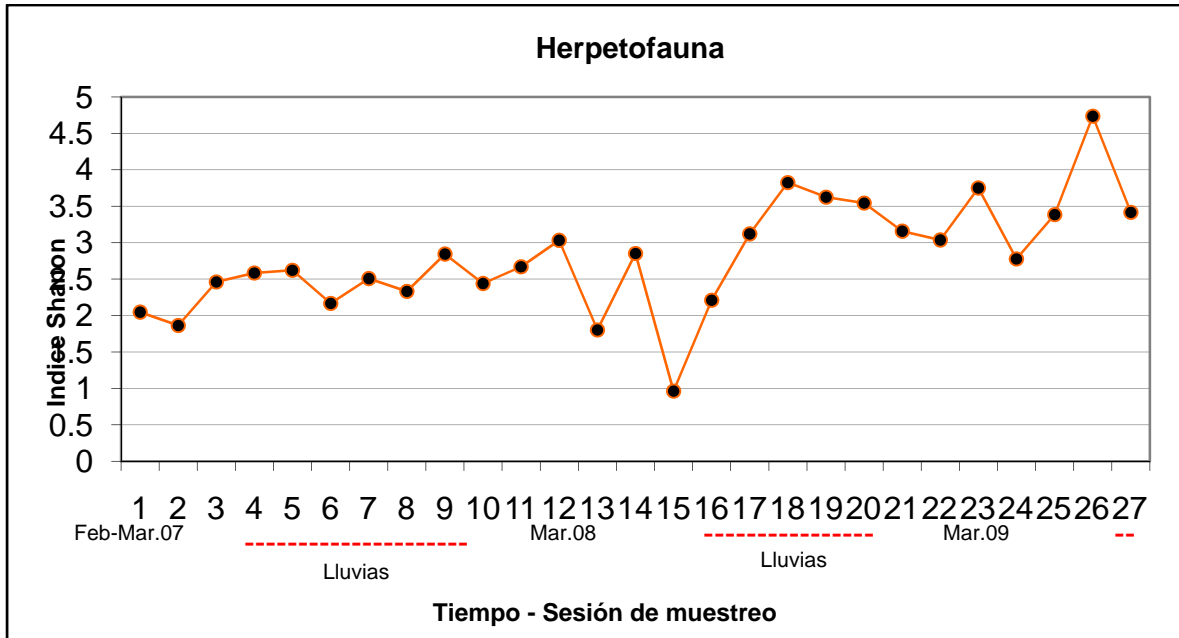
PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán  
(*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

**Cuadro 4.** Número de anfibios y reptiles registrados en el humedal de La Mancha durante el proceso de restauración.

Clase	Orden	Familia	Género	Especie
<b>Anfibios</b>	2	6	9	<b>9</b>
<b>Reptiles</b>	3	13	19	<b>24</b>
<b>Totales</b>	5	19	28	33

La diversidad biológica durante la totalidad del periodo de estudio fluctuó entre  $H' = 0.93$  y  $H' = 4.79$ , teniendo en cuenta las especies de anfibios y reptiles en conjunto (Figura 28). Los menores valores de  $H'$  coinciden en general con las temporadas de sequía y de menor actividad de la mayoría de la herpetofauna, pero se observa una tendencia clara en el aumento de la diversidad conforme la restauración avanzó.

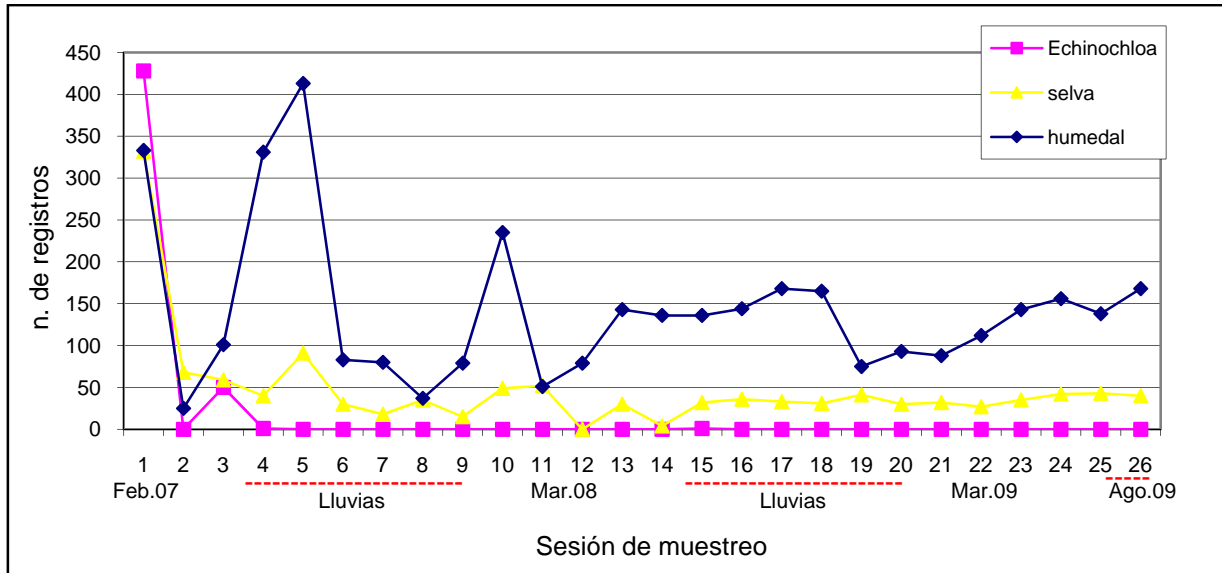
PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano



**Figura 28.** Diversidad (índice de Shannon-Wiener) de las especies de reptiles y anfibios en conjunto en el humedal en restauración entre febrero de 2007 y agosto de 2009.

Se obtuvieron en total 5, 437 registros de anfibios y reptiles durante todo el proceso de restauración. El mayor número de registros se obtuvo consistentemente en el área de humedal, en comparación con las zonas de selva y de pastizal de *E.pyramidalis* circundantes (Figura 29). La diferencia de abundancia entre estos tres ambientes fue estadísticamente significativa. Se observaron mas anfibios y reptiles en el humedal en comparación con la selva y las zonas invadidas por *E. pyramidalis* (Mann-Whitney  $U=2.19$ ,  $p=0.03$ ;  $U=3$ ,  $p=0.003$  respectivamente), y la herpetofauna en la zona invadida por este pasto fue menos abundante que en la selva (Mann-Whitney  $U=-2.54$ ,  $p=0.01$ ).

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 29.** Comparación de la abundancia de herpetofauna durante el proceso de restauración en el humedal y en ambientes aledaños de selva y áreas invadidas por *Echinochloa pyramidalis*. Todas las especies de reptiles y anfibios en conjunto.

Las especies más abundantes (en orden decreciente) fueron los anfibios *Leptodactylus melanonotus*, *Hypopachus variolosus*, *Trachycephalus venulosus*, *Scinax staufferi* y *Bolitoglossa platydactyla*, las lagartijas *Aspidoscelis guttatus*, *Sceloporus variabilis* y las tortugas *Kinosternon leucostomum* y *Staurotypus triporcatus*. Las especies más raramente encontradas fueron la lagartija *Aspidoscelis deppii* y las serpientes *Drymarchon corais*, *Ficimia olivacea* y *Ninia sebae*.

El índice de Sorensen mostró que la mayor similitud de anfibios y reptiles ocurre entre los ambientes de selva y humedal ( $S_s = 0.41$ ), seguidos por la vegetación introducida y la selva (0.35), y la vegetación introducida y el humedal (0.26). Estos valores de similitud sugieren que la herpetofauna de los humedales es afectada negativamente por la invasión de *E. pyramidalis* en el humedal- originalmente

---

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

constituido por popal y tular- ya que el ambiente de pastizal es utilizado por muy pocas especies. La mayor similitud de la selva con el humedal (y aun con una parte del humedal invadida por *E. pyramidalis* indica que la selva sirve como refugio de especies de anfibios y reptiles durante diferentes etapas del ciclo de vida de estos organismos, que se movilizan al humedal cuando este ofrece condiciones para que se reproduzcan.

En el humedal se observó la mayor diversidad ( $H'=2.41$ ) y riqueza específica ( $S=21$ ) de anfibios y reptiles, seguidas por el ambiente de selva ( $H'=1.43$ ,  $S=13$ ), mientras que, los menores valores fueron para las áreas invadidas por *E. pyramidalis* ( $H'=0.33$ ,  $S=10$ ).

Estos datos muestran que el humedal en proceso de restauración contiene más herpetofauna incluso que la selva y, que el pastizal introducido en los humedales, representa condiciones desfavorables para anfibios y reptiles que dependen directamente de la heterogeneidad de este ambiente.

De las 33 especies de herpetofauna registradas, 14 (42%) son de importancia para la conservación de acuerdo con la legislación ambiental. De éstas, dos especies de serpientes están amenazadas y el resto están en la categoría de protección especial (Cuadro 5).

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

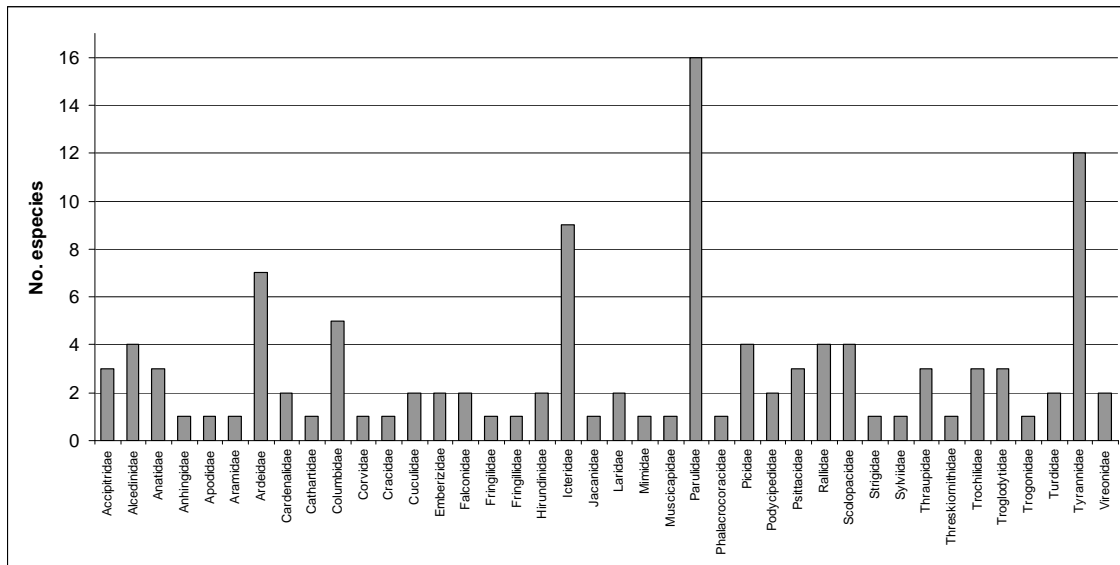
**Cuadro 5.** Especies de herpetofauna que ocurren en el humedal en restauración enlistadas en la NOM 059- ECOL 2001. El asterisco indica especies endémicas de México.

Herpetofauna	Nombre común	Categoría
<b>Anfibios</b>		
<i>Bolitoglossa platydactyla</i>	Tlaconete	Pr*
<i>Lithobates berlandieri</i>	Rana leopardo	Pr
<b>Reptiles</b>		
<i>Crocodylus moreleti</i>	Cocodrilo de pantano	Pr
<i>Chelydra serpentina</i>	Tortuga lagarto	Pr
<i>Kinosternon herrerae</i>	Tortuga casquito	Pr*
<i>Kinosternon leucostomum</i>	Chachagua	Pr
<i>Staurotypus triporcatus</i>	Tres lomos	Pr
<i>Trachemys venusta</i>	Tortuga pinta	Pr
<i>Ctenosaura acanthura</i>	Tilcampo	Pr*
<i>Iguana iguana</i>	Iguana verde	Pr
<i>Scincella gemmingeri</i>	Salamanquesa	Pr
<i>Leptodeira annulata</i>	Escombrera	Pr
<i>Leptophis mexicanus</i>	Bejuquilla	A
<i>Thamnophis proximus</i>	Culebra de agua	A

## 7.4 Avifauna

El estudio y monitoreo de la avifauna del popal en restauración en La Mancha, Ver., arrojó un total de 820 registros únicos. La riqueza encontrada es de 116 especies, pertenecientes a 17 órdenes y 40 familias (Figura 30)

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

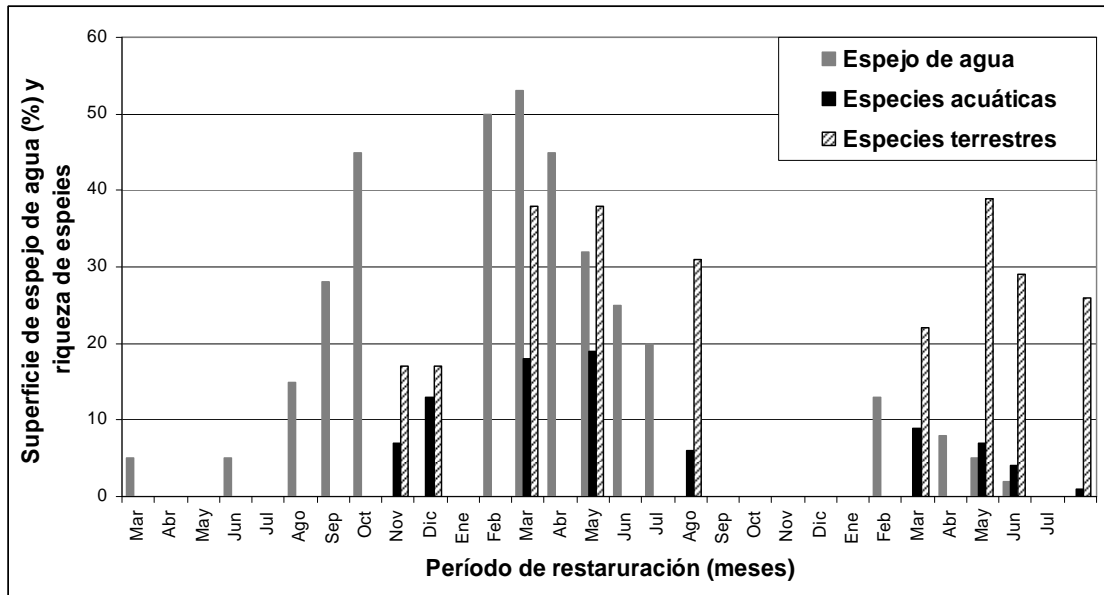


**Figura 30.** Número de especies de aves por familia.

Además de las 83 especies terrestres registradas, un componente importante fue el de las especies acuáticas, las cuales alcanzaron un total de 28, más otras cinco terrestres asociadas a este ambiente. Considerando la estacionalidad se registraron 75 especies residentes, 32 especies migratorias de invierno, una migratoria de verano, seis transitorias y dos accidentales. La riqueza por tipo de microambiente fue de 79 especies en árboles asociados al popal, 31 en el espejo de agua, 22 en la selva aledaña, diez directamente en el popal y tular, y 48 especies en sobrevuelo.

Considerando el recambio de especies a lo largo del año producto del manejo adaptativo del popal, no existe una relación entre la riqueza total con la superficie del espejo de agua; sin embargo, es notoria la correlación de la riqueza de especies de aves acuáticas con relación al incremento en la superficie del espejo de agua (Figura 31).

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 31.** Porcentaje de superficie del espejo de agua comparado con la riqueza total de especies y la riqueza de especies acuáticas (y asociadas a este ambiente) por mes de muestreo.

Con relación a las formas enlistadas bajo alguna categoría de riesgo según la NOM-SEMARNAT-059 (SEMARNAT, 2002), se encontraron seis especies enlistadas como “bajo protección especial” (*Psarocolius Montezuma*, *Tachybaptus dominicus*, *Campephylus guatemalensis*, *Aratinga nana*, *Ictinia mississippiensis* y *Buteogallus anthracinus*) y dos especies (*Oporornis tolmiei* y *Cairina moschata*) tuvieron la categoría de “amenazada” y “en peligro” respectivamente.

El manejo adaptativo que ha sufrido el popal en restauración, ha tenido implicaciones en la variación del número de especies registradas a lo largo de los muestreos, lo que aunado a las variaciones estacionales naturales de las especies (considerando que un elevado porcentaje son migratorias de invierno), ha



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

dificultado la correlación del registro de la presencia de especies con los cambios en el popal. A pesar de que la riqueza total es relativamente alta, resulta evidente que a partir del manejo adaptativo, el espejo de agua ha sufrido modificaciones por la desecación e inundación artificial a lo largo de la restauración, y esto ha generado una reducción y/o aumento de las especies de aves acuáticas, cuyo registro se han dado principalmente cuando el espejo de agua tuvo su mayor extensión y profundidad en marzo de 2008. A pesar de que el registro de las especies acuáticas ha sido intermitente, su número alcanzó un número relativamente elevado aún cuando el popal en restauración es relativamente pequeño (28 acuáticas y cinco terrestres asociadas a estos ambientes), lo que corresponde a un cuarto de la riqueza total registrada. Al respecto, es importante mencionar que la riqueza total del popal está fuertemente influida por la presencia de vegetación aledaña relativamente conservada de selva mediana, quizá la razón de la alta riqueza, aunque es también necesario señalar que la mayoría de estas especies, a pesar de que no forman parte del popal, han sido registradas en árboles inmersos en el popal y cuyo papel en la dinámica de la restauración podría estar influyendo a través de la dispersión de semillas o algún otro tipo de interacción ecológica.

Es necesario indicar que la estacionalidad para algunas especies es aún indeterminado en la zona de estudio, a pesar de que se tiene relativamente bien estudiadas las categorías estacionales para la avifauna del país; resaltando algunos ejemplos con *Icterus fuertesi*, cuya presencia en México es de finales de julio a principios de marzo, sin embargo en La Mancha se registró como muy abundante durante el mes de mayo, lo que implica que la especie está haciendo movimientos migratorios en la zona aún no bien entendidos. Por otro lado, resulta interesante el registro de especies cuyo intervalo de distribución conocido se amplía considerablemente, como es el caso del loro frente blanca (*Amazona*

*albifrons*) registrado el 2 y 4 de mayo de 2008 y la cual es una de las dos especies accidentales en la zona, junto con el pinzón mexicano (*Carpodacus mexicanus*).

De las ocho especies en listadas bajo alguna categoría de riesgo, vale la pena resaltar que la única que se encuentra en peligro de extinción es *Cairina moschata*, una especie cuyas poblaciones en México son muy reducidas y raras y cuyo registro en La Mancha fue único el 4 de marzo de 2009. Esto tiene dos implicaciones, por un lado, que el popal es hábitat para esta especie, y la segunda es que la especie es sensible a las modificaciones de los popales.

Es muy importante continuar con el monitoreo, particularmente de las especies asociadas a ambientes acuáticos, ya que representan la mejor opción para un análisis de cambio en la estructura y composición de aves en la restauración del popal, esto debido a varias razones: a) son las que interactúan directamente con el popal y sus condiciones bióticas y abióticas; b) responden directamente a las modificaciones del ambiente acuático; c) las especies acuáticas residentes son reproductivas potenciales en estos ambientes y finalmente, d) porque son más fácilmente detectadas y por lo tanto con menor sesgo de análisis. Sin embargo, las especies terrestres asociadas al popal (e.g. *Geothlypis trichas*, *Oporornis tolmiei*) son también sobresalientes, ya que su presencia como reproductivas podría estar indicando una buena salud del ambiente.

## 7.5 Macroinvertebrados

En el cuadro 6 y figura 32, se muestra el número de familias encontradas por fecha de muestreo, siendo el mes de noviembre de 2008 el que presento menos número de familias en un total de 18 muestras. Las muestras obtenidas variaron de 15 y 18 en un total de ocho muestreos, siendo un total de 138 muestras durante los períodos muestreados.

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 6.** Total de Familias encontradas por fecha en el humedal de La Mancha durante el período marzo 2007 – abril 2009, así como número de muestras que suman un total de 138.

Fecha	No. Familias	No. Muestras
24-III-07	16	15
11-V-7	17	18
18-VIII.07	18	18
18-XI-07	21	18
06-IV-08	25	18
21-V-8	17	18
16-XI-08	5	18
18-IV-09	10	15

## Riqueza

El número total de ejemplares colectado fue de 1, 760. Se obtuvieron seis órdenes de insectos con representantes acuáticos, siendo los Dípteros los que mayor número de familias (11) y abundancia (1071) presentaron, seguido de los Coleópteros con diez familias y abundancia 435, Hemíptera con ocho familias y una abundancia de 81, los Odonatos presentaron seis familias y una abundancia de 144, los Órdenes Efemerópteros y Lepidópteros presentaron una sola familia con 28 y un organismos respectivamente. Las abundancias por época se observan en el cuadro 7 y 8 y las figuras 32 -37. La riqueza total a nivel de familia ( $S_f$ ) es de  $S_f= 36$ .

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 7.** Número de familias encontradas por sitios y temporada de muestreo

Fecha	Sitio 1 <i>T. domingensis</i> - <i>E. pyramidalis</i>	Sitio 2 <i>T. domingensis</i>	Sitio 3 Inicio con <i>D. brownei</i> - <i>P. sagittaria</i>	Sitio 4 <i>E. pyramidalis</i>	Sitio 5 Popal de referencia <i>S. lancifolia</i>	Poza Popal de <i>P. sagittata</i> y <i>S. lancifolia</i>
24 marzo '07	10	8	8	1	7	0
11 mayo '07	8	0	11	3	3	7
18 agosto '07	12	9	6	9	6	6
18 noviembre '07	15	8	9	14	12	7
06 abril '08	6	8	11	4	15	13
21 mayo '08	7	0	12	3	6	3
16 noviembre '08	0	0	0	0	5	0
18 abril '09	3	0	0	0	0	7

**Cuadro 8.** Abundancias totales de familias encontradas por sitios y temporada de muestreo

Fecha	Sitio 1 <i>T. domingensis</i> - <i>E. pyramidalis</i>	Sitio 2 <i>T. domingensis</i>	Sitio 3 Inicio con <i>D. brownei</i> - <i>P. sagittaria</i>	Sitio 4 <i>E. pyramidalis</i>	Sitio 5 Popal de referencia <i>S. lancifolia</i>	Poza Popal de <i>P. sagittata</i> y <i>S. lancifolia</i>
24 marzo '07	128	28	27	1	19	0
11 mayo '07	32	0	41	4	33	21
18 agosto '07	67	25	42	21	11	8
18 noviembre '07	145	47	86	88	79	40
06 abril '08	76	112	35	56	185	208
21 mayo '08	22	0	39	5	12	3
16 noviembre '08	0	0	0	0	14	0
18 abril '09	7	0	0	0	0	23

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

## Estructura trófica.

Las familias registradas fueron asignadas a un grupo trófico funcional, como puede observarse en el cuadro 8. En general, el grupo trófico de los depredadores fluctúan entre el 20% y 50% en todos los muestreos. Los detritófagos corresponden entre el 25% y 50%. Por último, los herbívoros se encuentran entre el cero% y 40%.

**Cuadro 7.** Listado de familias encontradas en el humedal del CICOLMA, donde se indica en cuantos períodos aparece cada una de ellas, así como sus hábitos alimenticios y sus tolerancias a la contaminación orgánica.

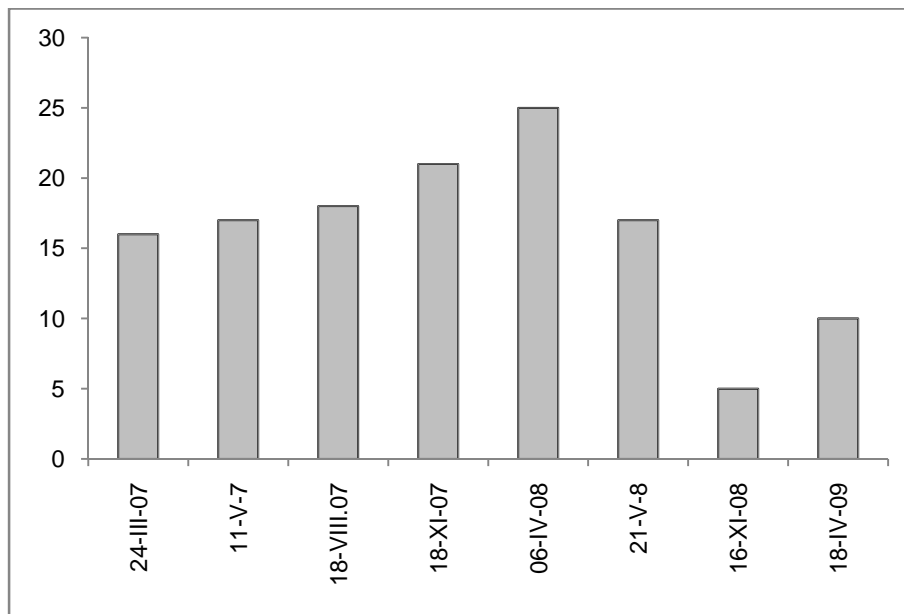
Orden	Familia	Temporadas			Hábitos	Tolerancias
		5 o 6	3 o 4	1 o 2		
Coleoptera	Curculionidae				herbívoros	Intolerantes a la contaminación orgánica.
Coleoptera	Dryopidae				colectores desmenuzadores	Intolerantes a la contaminación orgánica.
Coleoptera	Dytiscidae				predadores	Facultativos
Coleoptera	Elmidae				colectores desmenuzadores	Intolerantes a la contaminación orgánica.
Coleoptera	Hydrophilidae				larva=depredador, adulto=colector	Facultativos
Coleoptera	Hydroscaphidae				raspadores algas	Intolerantes a la contaminación orgánica.
Coleoptera	Lampyridae					
Coleoptera	Noteridae				predadores	Intolerantes a la contaminación orgánica.
Coleoptera	Scirtidae				herbívoros	
Coleoptera	Staphylinidae				predadores	
Diptera	Ceratopogonidae				predadores	Tolerantes a la contaminación orgánica.
Diptera	Culicidae				colectores-filtradores	Tolerantes a la contaminación orgánica.
Diptera	Chaoboridae				predador	Intolerantes a la contaminación

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

					orgánica.
Diptera	Chironomidae			predadores - colectores	Tolerantes a la contaminación orgánica e inorgánica (metales pesados)
Diptera	Ephydriidae			colectores - predadores	Tolerantes a la contaminación orgánica.
Diptera	Psychodidae			colectores desmenuzadores	- Tolerantes a la contaminación orgánica.
Diptera	Stratiomyiidae			colectores desmenuzadores	- Tolerantes a la contaminación orgánica.
Diptera	Sciomyzidae			predadores	
Diptera	Syrphidae			colectores	Tolerantes a la contaminación orgánica.
Diptera	Tabanidae			predadores	Tolerantes a la contaminación orgánica.
Diptera	Tipulidae			detritívoros - colectores	Intolerantes a la contaminación orgánica.
Ephemeroptera	Baetidae			colectores desmenuzadores	- Facultativos, más Intolerantes a la contaminación orgánica.
Hemiptera	Belostomatidae			predadores	Facultativos
Hemiptera	Corixidae			predadores	Intolerantes a la contaminación orgánica
Hemiptera	Naucoridae			predadores	Intolerantes a la contaminación orgánica.
Hemiptera	Nepidae			predadores	Facultativos.
Hemiptera	Notonectidae			predadores	Intolerantes a la contaminación orgánica.
Hemiptera	Pleidae			predadores	Intolerantes a la contaminación orgánica.
Hemiptera	Veliidae			predadores	Intolerantes a la contaminación orgánica.
Lepidoptera	Pyralidae			desmenuzadores herbívoros	-
Odonata	Aeshnidae			predadores	Facultativos
Odonata	Coenagrionidae			predadores	Facultativos

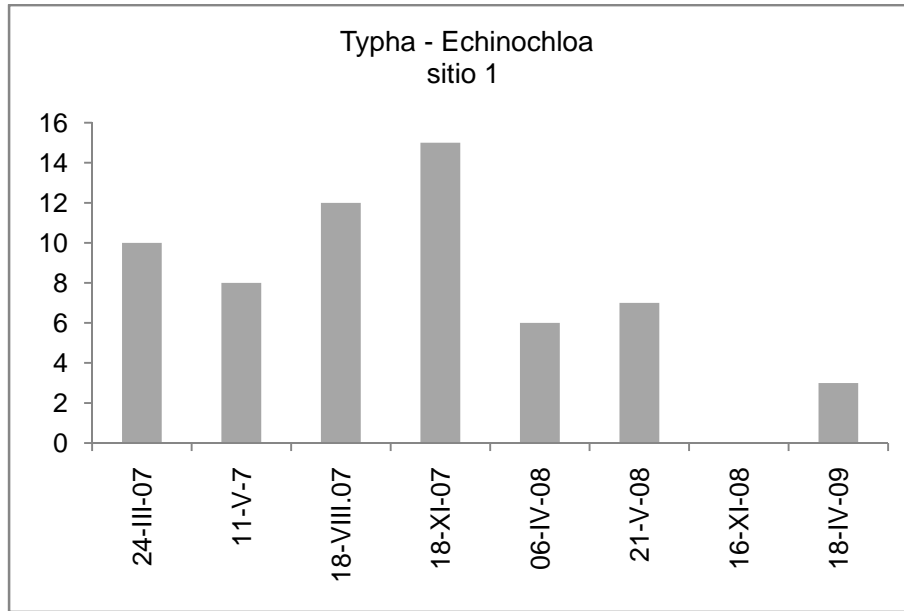
PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán  
(*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano

Odonata	Gomphidae				predadores	Tolerantes a la contaminación orgánica
Odonata	Lestidae				predadores	Facultativos
Odonata	Libellulidae				predadores	Intolerantes a la contaminación orgánica
Odonata	Protoneuridae				predadores	Facultativos

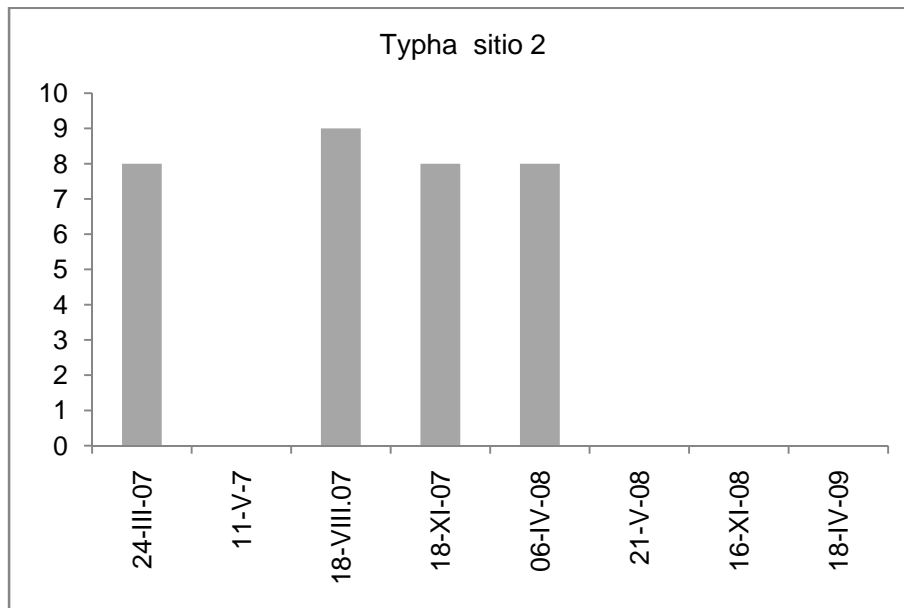


**Figura 32.** Número de familias encontradas en el humedal del CICOLMA durante el período de muestreo marzo 2007 – abril 2009.

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



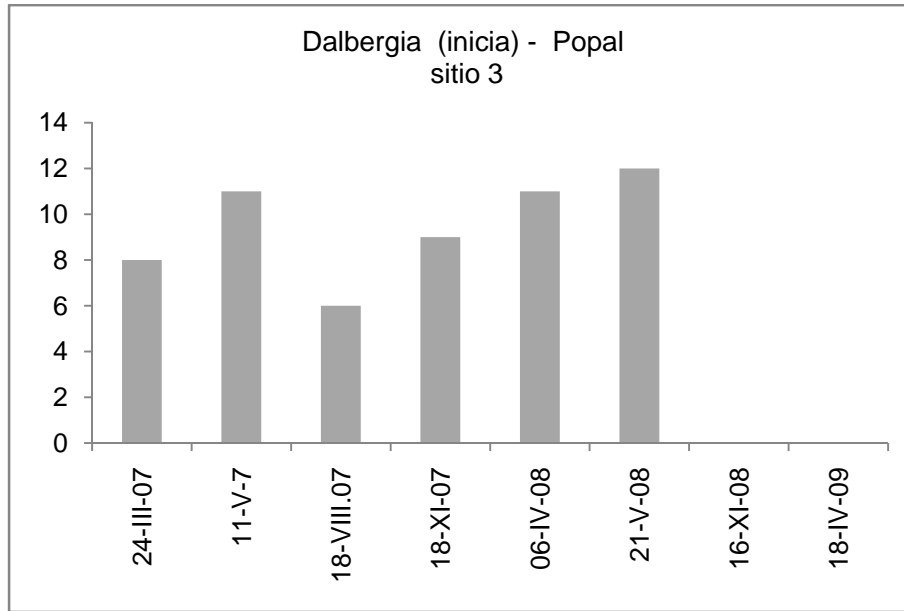
**Figura 33.** Número de familias encontradas en el sitio uno (*Typha – Echinochloa*).



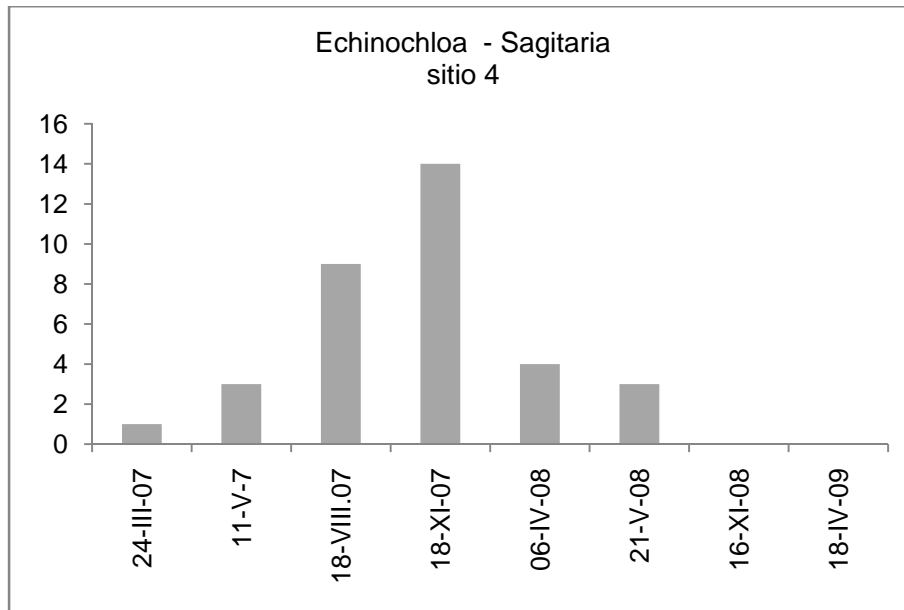
**Figura 34** Número de familias encontradas en el sitio dos (*Typha*).



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

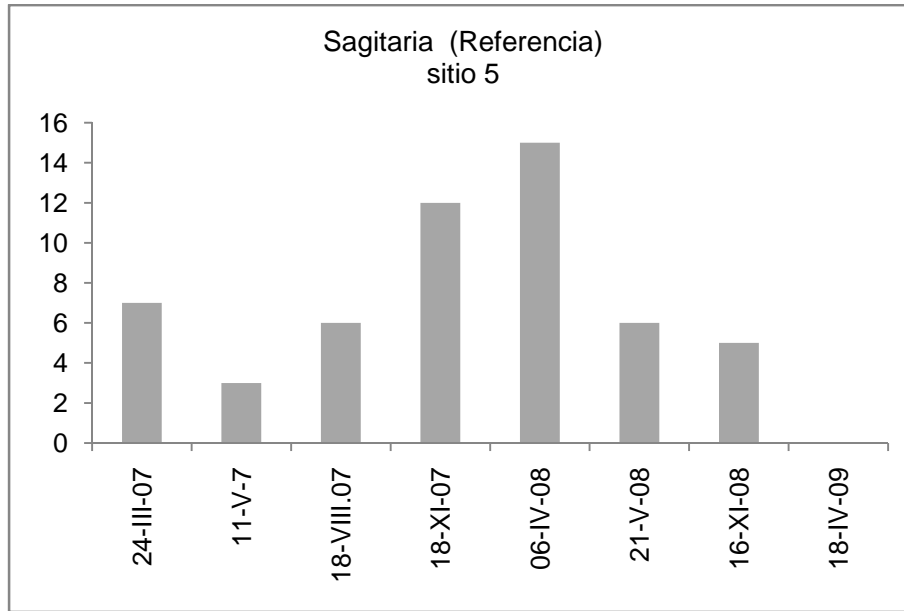


**Figura 35.** Número de familias encontradas en el sitio tres (*Dalbergia* Popal).

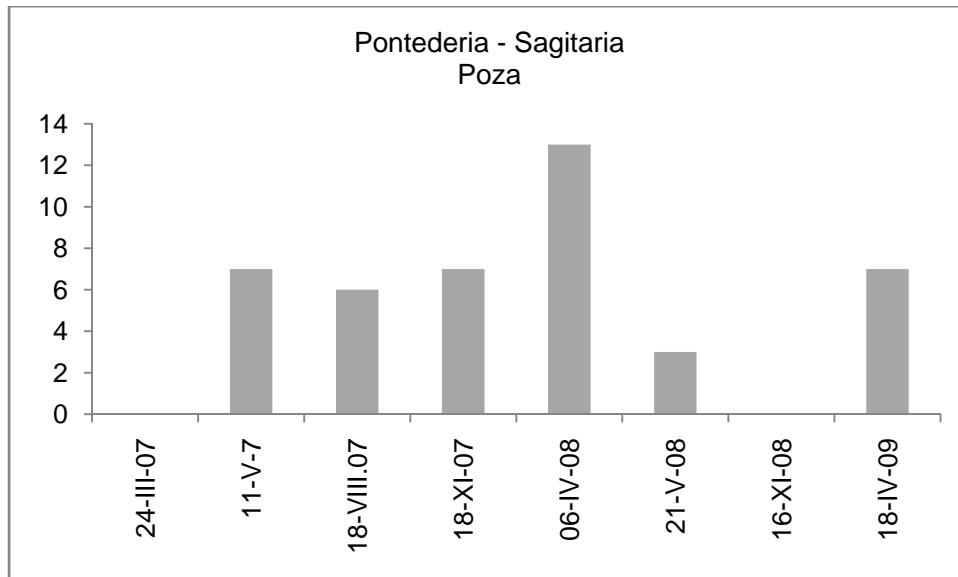


**Figura 36.** Número de familias encontradas en el sitio cuatro (*Echinochloa - Sagittaria*).

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 37.** Número de familias encontradas en el sitio cinco (Popal de referencia)



**Figura 38** Número de familias encontradas en el sitio Poza (*Pontederia-Sagittaria*).

Hasta el momento los resultados muestran una tendencia al incremento del número de familias (Figuras. 32 a la 38) después de iniciados los distintos tratamientos, lo cual concuerda con la hipótesis de disturbio intermedio, esto es, el número de mayor diversidad se presenta cuando se genera un disturbio que genera ambientes propicios para organismos que no se encontraban (en nuestro caso), antes de la aplicación de los tratamientos así como después de los mismos.

Es importante mencionar que en la literatura consultada se mencionan distintas tolerancias de especies (géneros o familias) a contaminación por materia orgánica. Como el objetivo del trabajo es determinar cuáles son las familias, géneros o especies que puedan ser utilizadas como indicadoras de la restauración del humedal, es necesario monitorizar en una serie de tiempo igual a la que se lleva hasta el momento o mínimo por un año más con el fin de identificar patrones, aparición de nuevas familias, géneros o especies, que permita identificar cuáles son los grupos que mejor indican que se han alcanzado las condiciones del hábitat para afirmar que la restauración va en un sentido positivo, o cuáles son los grupos de insectos acuáticos que permiten identificar cada etapa de la restauración.

## 7.6 Ictiofauna

Se obtuvo un total de 752 individuos de cinco especies de peces comprendidos en 3 familias y 5 géneros con un peso total de 6,335.86 gramos.

### **Familia Poeciliidae** (Topotes, Guayacones, mollys)

Es una de las familias dominantes del grupo de especies de agua dulce y salobre de las tierras baja de la porción media de América. Comprenden 22 géneros y 180

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

especies la mayoría de ellas de tamaño pequeño (30 a 70 mm de longitud patrón). Presentan fertilización interna por lo que los machos tienen gonopodio produciendo juveniles vivos. En el humedal restaurado se capturó la especie *Poecilia mexicana* Steindachner, con 86 individuos y 230.2 g de peso total. Se capturó todo el año de estudio siendo en octubre de 2008, el máximo número de individuos con 40 y, enero y febrero de 2009, el mínimo con un solo individuo capturado en cada mes. Esta especie es reportada para lagunas costeras, estuarios, estanque de tierras bajas y ríos, en la cuenca alta de los ríos al menos hasta los 600 m, en estanques pequeños y en aguas estancadas con salinidades por arriba de 32.4 ups, salobres y dulceacuícola. Ambientes muy variados desde rocosos hasta con lodo. Con la presencia de corrientes o sin ellas.

#### **Familia Cichlidae** (mojarras, guapotes)

Son una familia de perciformes avanzada y esencialmente dulceacuícola. Y comprenden más de 1000 especies que habitan sur y medio América, partes de África, sur de la India, Madagascar, Sir Lanka Siria y las Indias occidentales. Puesto que muchas especies toleran desde agua salobre a completamente agua de mar la familia se clasifica como un grupo dulceacuícola secundario. De esta familia se capturó un individuo del género *Herichthys* es un género de individuos pequeños de esta familia. Actualmente se han descrito formalmente 10 especies.

Las especies de estas dos familias aún se están definiendo, y se espera tener los resultados finales en marzo del 2010.

#### **Familia Elotridae** (guavinas, dormilones bocones)

Las especies de esta familia generalmente son individuos pequeños entre 11 y 30 cm de longitud patrón, aunque los individuos del género *Gobiomorus* pueden

---

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

alcanzar los 60 cm. Habitan en agua dulce, salobre y agua de mar, en la mayoría de las costas tropicales y subtropicales del mundo.

De esta familia se determinaron 3 especies:

*Dormitator maculatus* (Bloch): naca, constituye la mayor captura de organismos y peso (615 individuos y 5495 g de peso). Se encuentra desde agua dulce hasta agua marina, en arroyos, ríos, manantiales, lagunas, estanques lodosos, pantanos, manglares y charcas de marea. En agua clara hasta turbia y estancada. Es primeramente herbívoro, alimentándose de algas y otras plantas, pero se alimentará de las larvas de mosquito.

*Gobiomorus dormitor* Lacepede: Guavina bocón. Sólo se capturaron 12 individuos de esta especie con un peso total de 137 g. Se encuentra en ríos, arroyos, estanques, lagos, canales y lagunas costeras, asciende por los ríos hasta una altura de 700 m en aguas claras, turbias, dulces, salobres y marinas. Es una especie carnívora (alimentándose de poecilidos, atherinopsidos y ciclidos), cuyo éxito en la captura de la presa está en función de la penetración de la luz

*Guavina guavina* (Valenciennes): guavina. Se capturaron 38 individuos con un peso de 341.25 g. Se puede encontrar desde agua dulce hasta salobre en la boca de los ríos, esteros, corrientes de marea, en aguas abiertas, claras y lodosas, sin vegetación emergente. Entre las raíces de manglar es su hábitat preferido, por lo que escasean los registros en agua dulce. Es una especie poco estudiada restringida a las corrientes de marea.

## Comunidad

Para toda la comunidad el número de organismos capturados presenta el máximo pulso en octubre de 2008 y el mínimo en enero y febrero de 2009. Sólo se

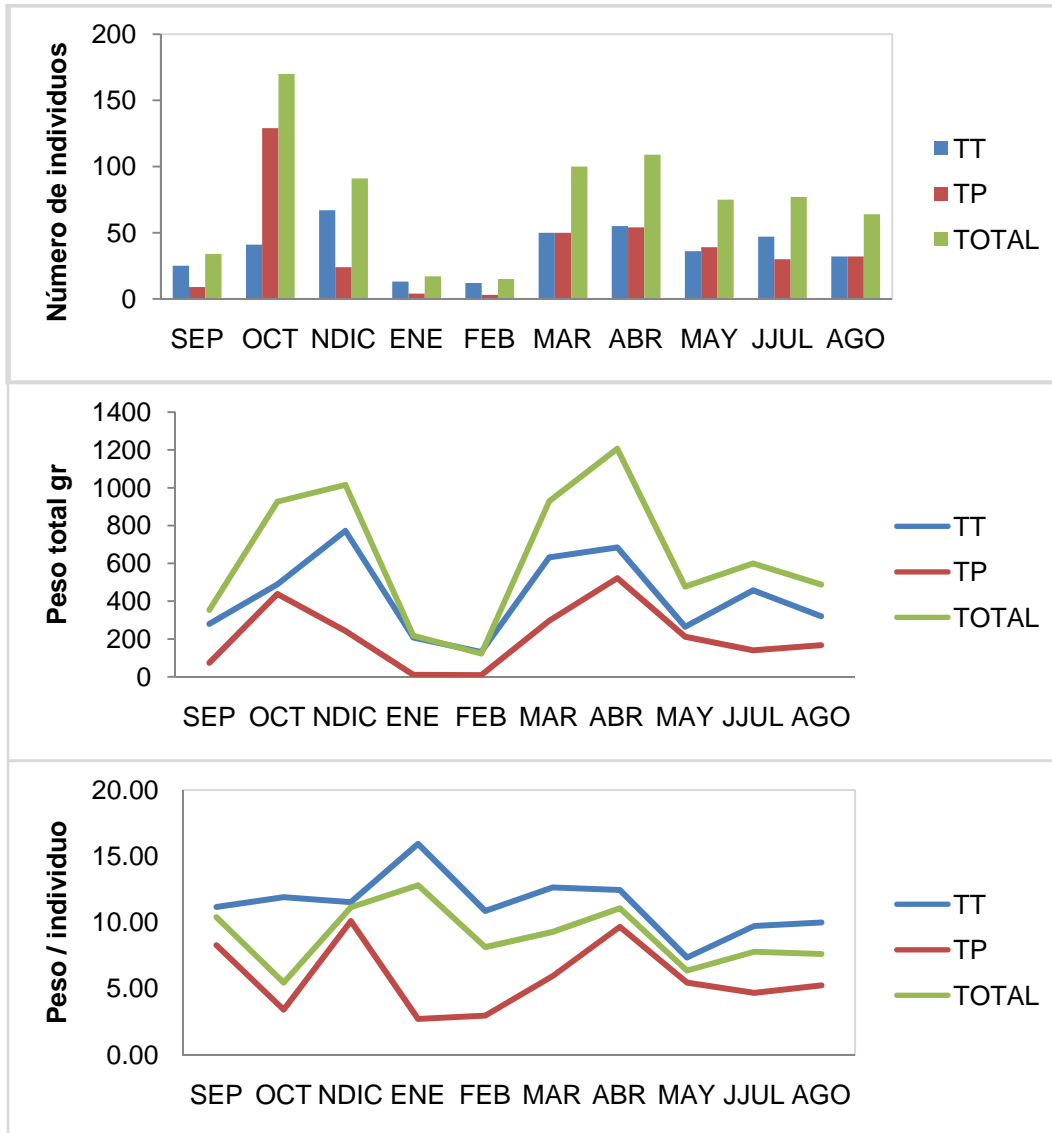
---

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

observan diferencias en las capturas con las artes de pesca en septiembre y noviembre-diciembre trabajando mejor la trampa Fyke-Net-Set que las tipo Frabil, mientras que en octubre el patrón es inverso. El resto de año parece que no hay diferencias en la captura. Este comportamiento es similar para el peso total capturado (Figura 39)

En los resultados sobre el tamaño promedio en peso se observa que sigue el patrón mensual tanto del comportamiento de la captura por número de individuos como en peso (Figura 1, 39). En general son tallas pequeñas en peso. La diferencia es que las trampas tipo Frabil la talla es más pequeña que los individuos capturados por las trampas tipo Fyke-Net-Set. Mientras que la captura total presenta los valores intermedios ya que sería el promedio entre las capturas de estos dos tipos de trampas. El pulso máximo se observa desfasado ya que con las trampas tipo Frabil se manifiesta en noviembre-diciembre de 2008 mientras que con la tipo Fyke-Net-Set se presenta en enero de 2009.

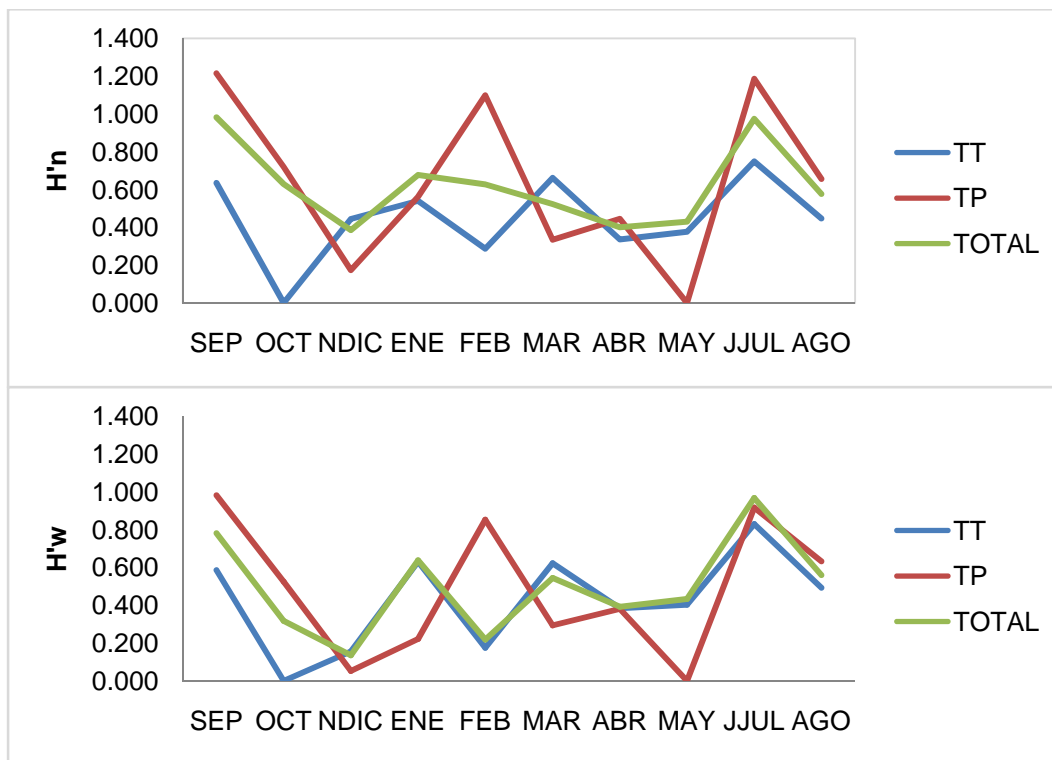
PROYECTO FH001 Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano



**Figura 39.** Distribución mensual de la captura de número de individuos, pesos total y talla promedio en peso total así como para cada arte de pesca (TP = Pyke-Net-Set; TP = tallas cilíndricas fabricadas con malla metálica).

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

En relación con la estructura de la comunidad en cuanto a los índices de diversidad de Shannon y su modificación con peso. El Índice de Shannon adquiere valores entre 0 cuando hay una sola especie como se observa en octubre de 2008 para las trampas tipo Fyke-Net-Set y en mayo de 2009 para las trampas tipo Frabil. Hasta el logaritmo de S (= número de especies) cuando todas las especies están representadas por el mismo número de organismos como se observa en febrero que son 3 se determinaron 3 especies cada una con un solo organismo (Figura 40).



**Figura 40.** Variación mensual del índice de diversidad de Shannon ( $H'n$ ) y su modificación para peso de Whilm ( $H'w$ ) (TP = Pyke-Net-Set; TP = trampas cilíndricas fabricadas con malla metálica).



Finalmente, los resultados de ambos índices de diversidad tanto en número de individuos como en peso presentan valores intermedios a lo largo de año (Figura 40). Por lo que ambas trampas son complementarias para el estudio de la estructura de la comunidad de peces en el humedal restaurado.

El índice de equidad de Pielou mide la proporción de la diversidad observada con relación con la máxima diversidad esperada y sus valores fluctúan entre 0 y 0.1, correspondiendo este último donde todas las especies son igualmente abundantes. Este índice presenta un comportamiento similar al de Shannon para número de individuos (Figura 41). Mientras que el índice de riqueza de Margalef da mayor importancia a las especies presentes en cada captura. Los valores más altos se observaron en junio-julio de 2008 en las trampas Fyke-Net-Set y, en febrero de 2009, para las trampas Frabil. Respecto a la captura total de ambas trampas, se observa el valor máximo en junio-julio de 2009 con cinco especies y el menor en octubre de 2008, con tres especies de peces. Es importante resaltar que en la figura 41, la captura total los valores de D son muy similares a lo largo del año.

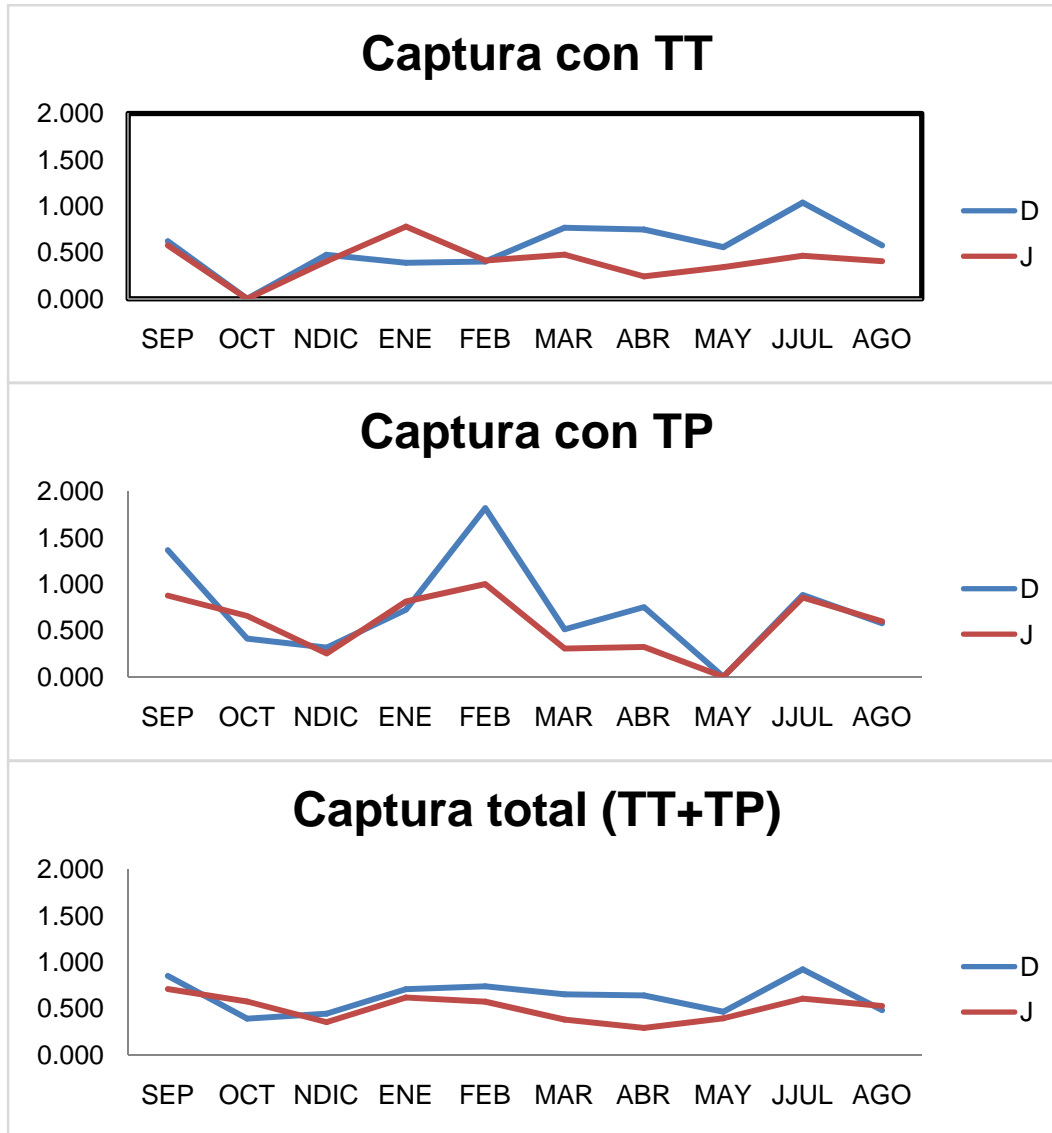
Estos resultados son importantes porque determinan que tanto se han restaurado las funciones ecológicas del humedal, recuperando sus valores de hábitat esencial para los especies de fauna que los utilizan. Sin embargo, para las aguas continentales del Estado de Veracruz se han reportado 11 especies de peces endémicas y 23 dulceacuícolas primarias para el estado y hasta el momento sólo se han encontrado cinco especies, de las cuales tres son periféricas y dos secundarias (las secundarias son aquellas que tienen origen dulceacuícola, pero toleran aumentos en la salinidad; finalmente las familias periféricas son aquellas que tienen origen en las aguas marinas y toleran disminución en la salinidad (Mercado Silva et al. 2009).

---

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

Por lo que es importante establecer un sitio similar de referencia (un humedal natural), para evaluar la equivalencia funcional del humedal restaurado cuantificando qué tanto está recuperándose y cuántas especies de peces de agua dulce puede albergar este tipo de sistemas en el estado de Veracruz con las características de vegetación y calidad del agua y sin sobrepasar su capacidad de carga o que no sea utilizada.

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

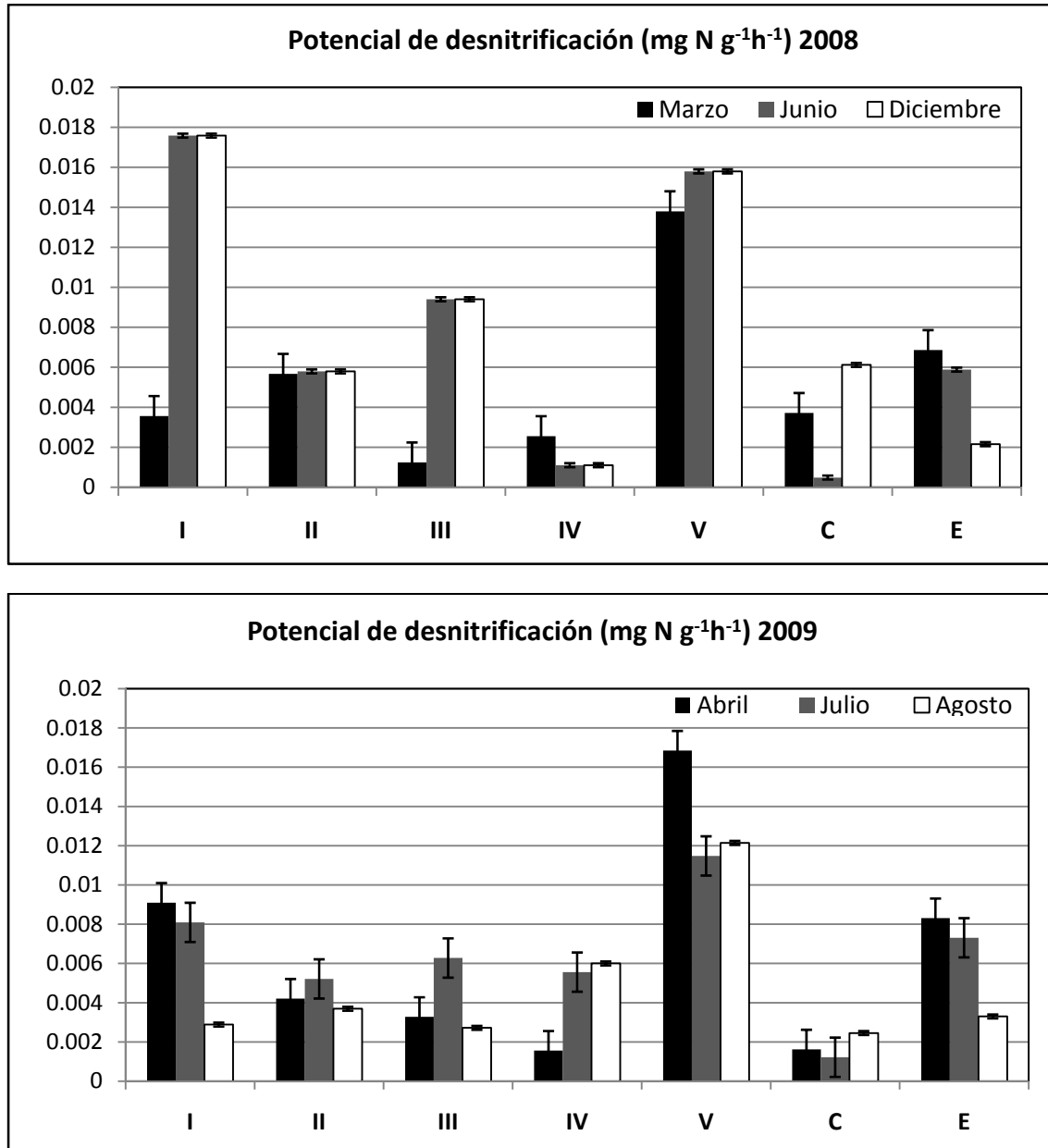


**Figura 41.** Variación mensual del índice de Equidad de Pielou (J') y de riqueza de Margalef (D) (TP = Pyke-Net-Set; TP = trampas cilíndricas fabricadas con malla metálica).

## 7.7 Potencial de nitrificación y desnitrificación

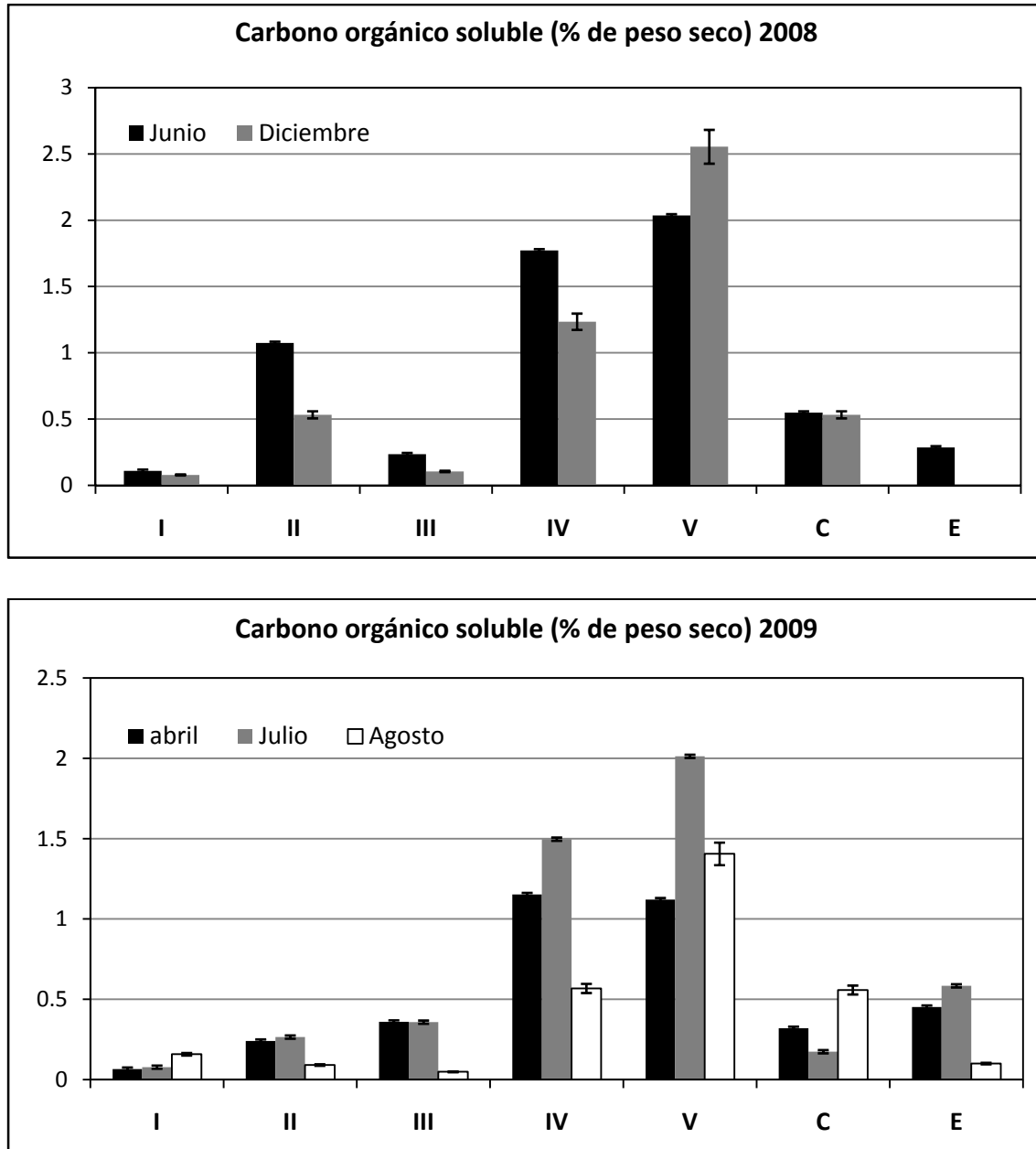
El potencial de desnitrificación en todos los muestreos mostró valores más altos en los cuadros V (0.012-0.018 mg N h<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup>), esto es, los cuadros control en donde prevalecen las especies nativas de popal o popal de referencia (Figura 42). Por el contrario, los suelos tomados en la zona en donde no se ha realizado ninguna actividad de restauración y en donde aún domina el pasto alemán (C), se encontraron potenciales bajos de desnitrificación (0.002-0.0006 mg N h<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup>). En los demás cuadros de manejo, se observaron potenciales de desnitrificación más bajos que en las zonas control de popal y no se observaron claros patrones estacionales.

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 42.** Potencial de desnitrificación en los diferentes cuadros de manejo del humedal en 2008 y 2009.

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



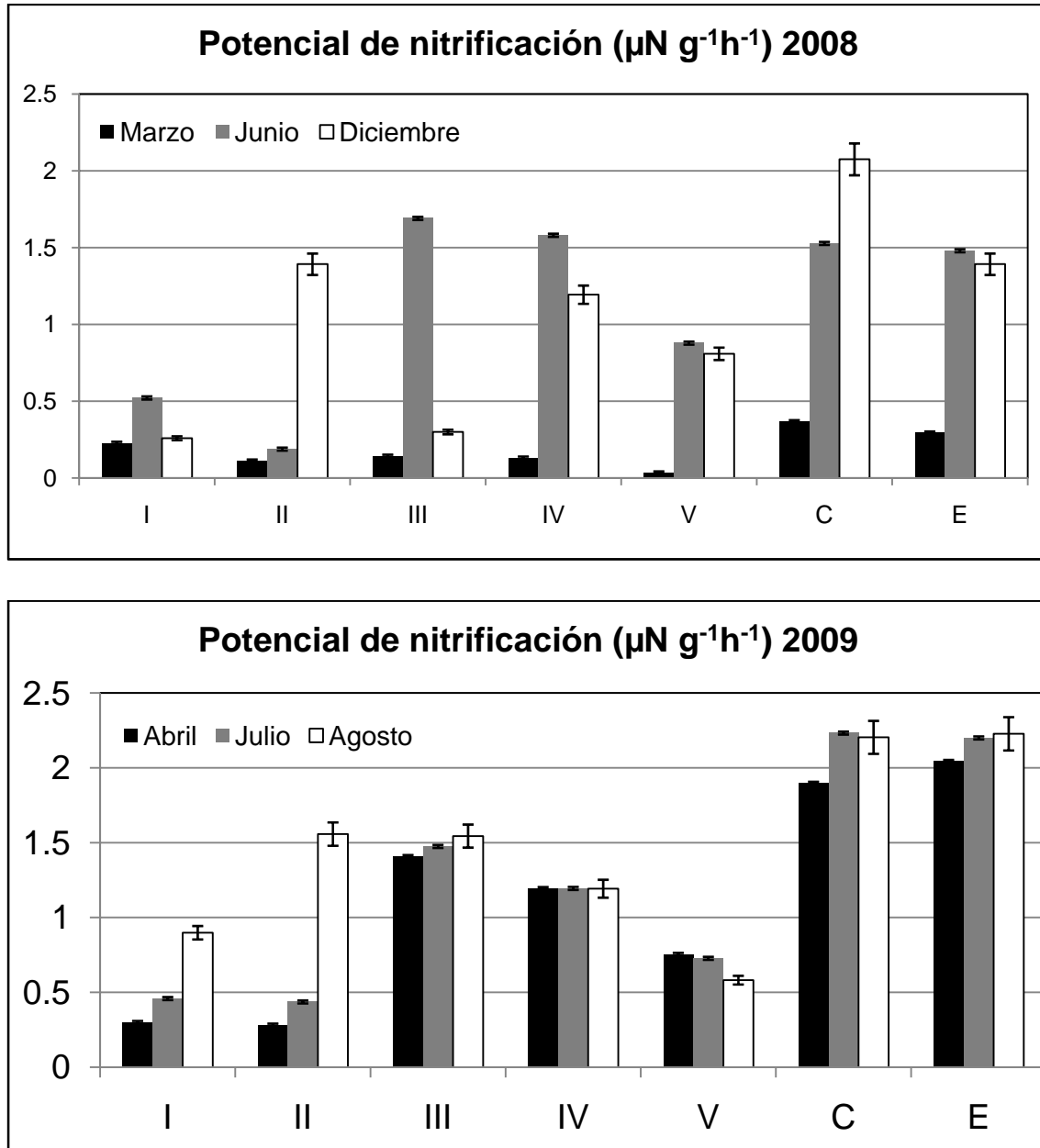
**Figura 43.**-Carbono orgánico soluble en los suelos de los diferentes cuadros de manejo del humedal en 2008 y 2009.

El potencial de nitrificación fue más alto en los cuadros C ( $1.8-2.3 \mu\text{g N h}^{-1} \text{g}^{-1}$ ), esto es en los cuadros donde no se han realizado actividades de restauración y en los cuadros E, esto es, aquellos cerca de la principal entrada de agua al humedal (Figura 44). Lo anterior pudiera deberse a que en los sitios donde no se ha restaurado, aun es dominante el pasto alemán y estudios anteriores han demostrado que esta especie ocasiona hidroperiodos más cortos y como consecuencia potenciales redox más altos (López-Rosas, *et al.*, 2005) lo cual pudiera favorecer la oxidación de amonio a nitratos en los suelos. En cuanto a los altos potenciales de nitrificación en la zona de entrada de aguas, pudiera deberse a las actividades de restauración que se han llevado en el humedal, ya que en esta zona se hizo nivelación del suelo e incluso hubo relleno con suelo terrestre, el cual pudiera tener flora microbiana con actividad aerobia, capaz de oxidar al amonio nitratos. En los demás cuadros de manejo, se observaron potenciales de desnitrificación más bajos, con variaciones estacionales.

En humedales, las especies invasivas exóticas cambian los procesos de ciclamiento de nutrientes como resultado de cambios en las comunidades microbianas del suelo, a su vez causados por las diferentes cantidades y tipos de materia orgánica que entra en los suelos (Ehrenfeld, 2003, Angeloni *et al.*, 2006). La dinámica de los nutrientes también puede ser alterada por cambios en las propiedades físicas del suelo ocasionadas por las especies invasivas (Windham and Ehrenfeld, 2003, Fickbohm and Zhu, 2006). Debido a lo anterior, es necesario monitorear varios ciclos de crecimiento de las plantas para poder apreciar cambios importantes en los procesos de ciclamiento de nutrientes. Específicamente, en el caso del ciclamiento de nitrógeno y de acuerdo a los resultados obtenidos, el potencial de nitrificación y desnitrificación no son buenos indicadores del éxito de la restauración del humedal a corto plazo. Sin embargo, se podrían utilizar como indicadores de éxito de la restauración a largo plazo, ya que se necesita tiempo

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 revertir los cambios en los suelos del humedal.



**Figura 44.** Potencial de nitrificación en los suelos de los diferentes cuadros de manejo del humedal.



---

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

En las zonas control donde inicialmente había vegetación nativa de popal se encontraron altos potenciales de desnitrificación y bajas potenciales de nitrificación; mientras que en las zonas invadidas por el pasto alemán sin restauración se encontraron bajos potenciales de desnitrificación y altos potenciales de nitrificación.

La invasión de humedales por pastos forrajeros, ocasionan cambios en sus funciones biogeoquímicas de ciclamiento de nitrógeno, lo cual podría tener repercusiones en su capacidad de purificación de agua.

## 8. Resultados del proyecto por objetivo planteado

Recuperar el régimen hidrológico, la composición de especies, la estructura y la función ecológica de un popal dominado por *Sagittaria lancifolia*, que ha sido invadido por la gramínea africana introducida *Echinochloa pyramidalis*. Este fue el objetivo general del presente proyecto y el mismo buscó desde un inicio no sólo recuperar la comunidad vegetal propia del mismo sino su funcionalidad como ecosistema y hábitat de otras especies. A continuación se detalla lo relacionado a los objetivos particulares.

### a. Recuperar el régimen hidrológico normalizando la topografía en la zona de popal invadido, hasta recuperar un suelo saturado en época de secas y una inundación promedio de 30 cm en época de lluvias.

Las zonas más elevadas dentro del popal correspondían a aquellas áreas en las que la especie invasora *E. pyramidalis* había generado un incremento de nivel del suelo con respecto al nivel original debido a la gran cantidad de biomasa que genera la especie.

El uso de la mano de obra para realizar la extracción del “exceso de suelo”, fue una técnica gran eficiencia y de bajo impacto que permitió la colonización inmediata por especies nativas en poco tiempo.

La recuperación del nivel de inundación como saturado en tiempo de “secas” y con una inundación promedio de 30 cm fue alcanzada casi en su totalidad. Las áreas invadidas originalmente con *D. brownei* son las que presentan un nivel de inundación más bajo en el tiempo de sequía. En estos casos, el nivel de saturación típico del popal difiere debido al tipo de suelo, pues estas zonas

presentan el suelo mineral contra el suelo orgánico presente en el resto del humedal. El proceso de restauración llevado a cabo en el área en cuestión ha favorecido con todas las acciones realizadas, el establecimiento de flora nativa lo que indica, que no es necesaria una nueva renivelación pero también que se requiere de mayor tiempo y monitoreo para apreciar la conversión de suelo mineral a suelo orgánico.

- b. Disminuir la cobertura de la especie invasora mediante el corte directo en toda el área y sombreado temporal en los bordes del sitio a restaurar que están colindantes con terrenos con actividades agropecuarias.**

Los resultados sobre la dominancia de las especies presentes en el popal en restauración, pone de manifiesto que el corte-chapeo (como actividad principal en este objetivo particular), fue eficiente facilitando la disminución de la cobertura de las especies invasoras a la vez de incrementar la misma en especies nativas.

En aquellas áreas en las que *E. pyramidalis* se encontraba muy entremezclado con especies nativas como *S. latifolia* y por tanto, el chapeo o la extracción selectiva de las nativas no era viable, el uso de la malla sombra fue exitoso, pudiendo con ello (en otras posibles experiencias de este tipo), cubrir mayores áreas y menores requerimientos de mano de obra cuando el sitio en cuestión los requiera. A diferencia del corte-chapeo, los resultados no son visibles en un plazo corto sino a mediano o largo plazo (seis a ocho meses) hasta lograr aprovechar al máximo la diferencia de fotosíntesis entre las especies.

En cualquiera de ambas acciones, la ocupación de los espacios ganados a las especies invasoras fue clara por parte de la flora nativa por lo que, dependiendo

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

de la situación de cada sitio de réplica del presente proyecto, una o ambas pueden ser llevadas a cabo (Figura 45).



**Figura 45.** De izquierda a derecha: antes del inicio de proyecto, a un año de iniciado y finalmente, la imagen actual y lo que se desea en el humedal.

- c. **Permitir el establecimiento de las principales especies nativas, reintroduciendo el banco de semillas y sembrando semillas y plántulas de estas especies con base en la composición de especies de un popal no invadido reportada por López Rosas *et al.*, (2006b).**

Para el establecimiento de las principales especies nativas no fue necesaria como tal una acción de reintroducción de banco de semillas. Durante el desarrollo del proyecto, se observó que con las acciones de chapeo y sobre todo durante y posterior al periodo de lluvias, la flora nativa presentó un crecimiento rápido cubriendo todo aquel espacio nuevo. Los trasplantes sólo se realizaron con los individuos de *S. lancifolia* que fueron rescatados al inicio del proyecto antes de la

aplicación de herbicida y para la forestación del borde del canal que actúa como barrera física contra la reintroducción del pasto alemán del terreno vecino.

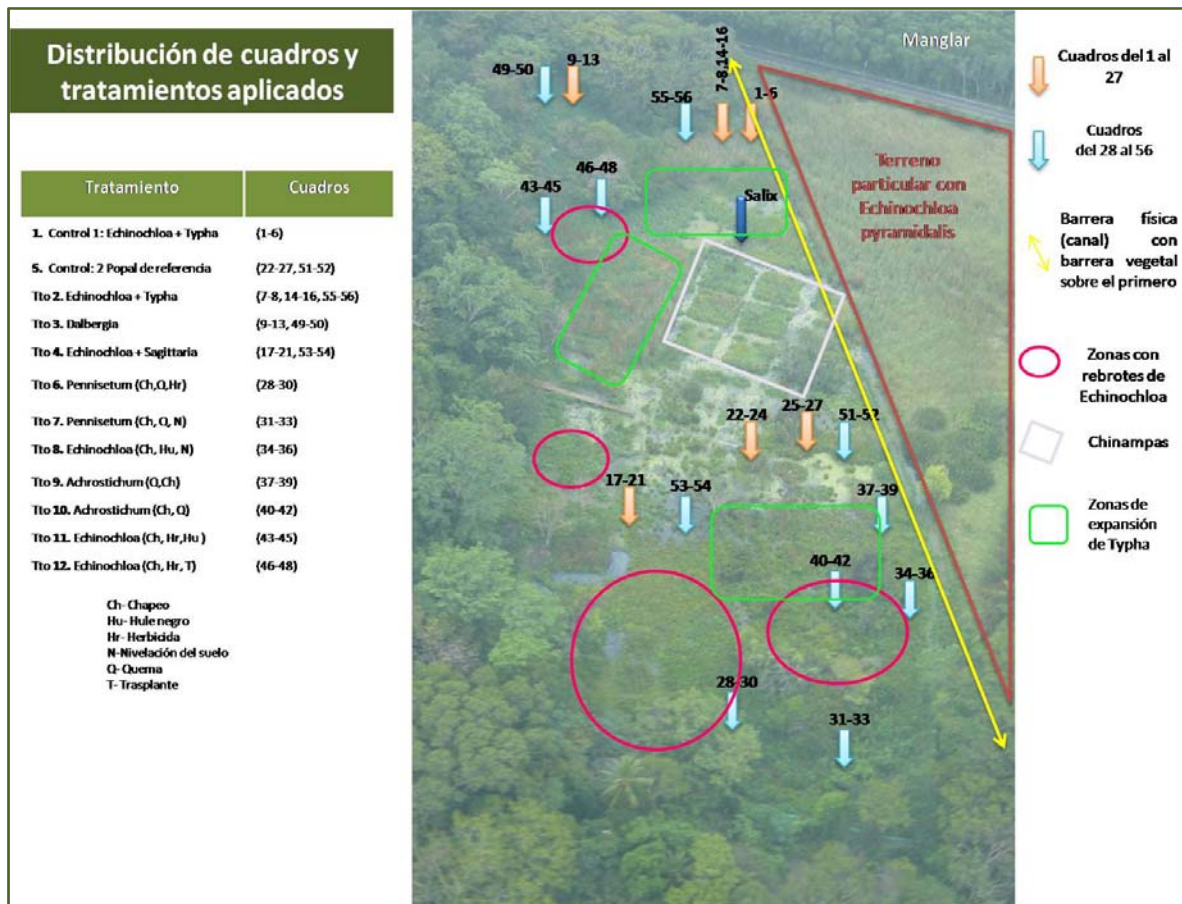
**d. Evitar una reinvasión del área manejada mediante erradicaciones puntuales de *E. pyramidalis*.**

Posterior al chapeo y a la renivelación del suelo en el popal, se mantuvo el monitoreo de la vegetación con el fin de establecer si existían o no rebrotes de *E. pyramidalis*. Sólo durante el tiempo de secas, cuando el nivel de inundación bajó fue posible identificar las áreas de rebrotes del pasto alemán. Se realizaron nuevamente acciones de chapeo y de colocación del plástico negro en las áreas donde fue requerido para lograr la erradicación de los rebrotes. En otros casos se realizó la extracción manual del rebrote junto con la parte subterránea que contenía el rizoma para evitar los rebrotes y se mantuvieron los monitoreos. Sin embargo aún con la repetición de las acciones, existen áreas que continúan presentando rebrotes aún cuando sus niveles de inundación corresponden a los deseados al inicio del proyecto. Ello nos indica la necesidad de realizar nuevamente una renivelación en las áreas de rebrotes para frenar definitivamente el crecimiento de *E. pyramidalis*.

Otra situación que se manejaron durante el desarrollo del proyecto fue incremento de cobertura de una de las especies nativas: *T. domingensis*. Esta especie presenta un crecimiento rápido, llegando a ganar espacios y pudiendo desplazar a otras especies nativas, disminuyendo la biodiversidad de flora en el sitio. Ello generó la necesidad de realizar acciones de manejo y control de *T. domingensis*, estas acciones fueron similares a las realizadas con *E. pyramidalis* (chapeo y extracción de rizomas) favoreciendo que otras especies nativas colonizaran estas

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

áreas. Sin embargo existe la necesidad de incrementar las acciones de control de esta especie y garantizar la biodiversidad del popal. En la figura 46 se presenta la imagen con las áreas de rebrotes.



**Figura 46.** Imagen del popal, se señalan las áreas que requieren trabajo para erradicar los rebrotes de *E. pyramidalis* y controlar el crecimiento de *T. domingensis*.

---

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

**e. Controlar el hidroperiodo del humedal construyendo una compuerta en la salida principal del agua del humedal hacia la laguna.**

La construcción de la compuerta hidráulica en la salida del efluente del humedal requirió en primer lugar el mantenimiento del tubo de conexión entre el manglar y el popal. Ello debido a que la construcción de la actual carretera en La Mancha, presenta los nuevos tubos por arriba del nivel deseado evitando la salida del agua por los mismos. El tubo original fue buscado, se le proporcionó mantenimiento y se le agregaron dos extensiones (una en cada extremo del tubo) para garantizar el correcto funcionamiento del mismo.

La compuerta fue construida y metalizada para garantizar un mayor tiempo de vida y se encuentra lista para ser empleada cuando es requerido.

**f. Monitoreo de los parámetros del suelo y del agua, cada 3 meses**

Todos los parámetros fueron monitoreados en tiempo y forma durante el desarrollo del proyecto. A excepción del suelo, por el cambio de equipo de análisis así como la política de uso del mismo, toda la base se encuentra completa. Por otra parte y con la experiencia obtenida durante el mismo, es posible disminuir el número de muestras y el de muestreos en función de que es conocido el sistema.

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

## **g. Determinación de indicadores y metodologías extrapolables a otros humedales con el mismo tipo de perturbación.**

El desarrollo del proyecto con la búsqueda de aquellos indicadores que sean de utilidad para conocer los cambios de su funcionalidad como ecosistema durante el proceso de restauración ha sido esencial en el proyecto. El comprender el humedal no sólo desde la comunidad vegetal sino la interacción entre las diferentes comunidades que en éste se encuentran ha sido vital para establecer si realmente se ha logrado la restauración del sitio. A este respecto es importante resaltar que el grupo de herpetofauna no sólo incremento el número de individuos, también presentó un incremento en el número de especies y sobre todo un mayor número de especies conforme a lo predicho estadísticamente. Ello nos lleva entender que la herpetofauna fue sensible tanto al cambio del popal a pastizal (negativamente), como lo fue de manera positiva a la recuperación a popal. El trabajo nos presenta también que las tortugas (las especies en conjunto), pueden ser usadas como bioindicadores durante procesos de restauración de humedales. Así también de parte de los anfibios *B. platydactyla*, resultó ser una especie muy sensible a la presencia de popal, especialmente de *S. lancifolia*, lo que la hace una candidata ideal como bioindicador en humedales tipo popal.

Otros grupos como los macroinvertebrados presentaron resultados interesantes sobre todo en el incremento de individuos y especies pero todavía se requiere de mayor monitoreo para establecer aquellas especies potencialmente utilizables como bioindicadoras. Por su parte la avifauna fue también sensible a los cambios realizados en el humedal aunque en este caso en particular, la presencia los espejos de agua es fundamental para que la misma haga uso del sitio. Por lo tanto es de contemplar en futuras acciones de restauración de humedales, la creación y/o mantenimiento de áreas exclusivamente para espejo de agua y favorecer con ello la diversidad de avifauna,



especialmente en sitios como La Mancha que es un corredor importante de aves migratorias y que requieren de estos espacios para alimentación y descanso.

## 8.1 Consideraciones finales

La restauración en general, es un proceso complicado y muy dinámico con las características muy particulares de cada lugar. La restauración de humedales herbáceos de agua dulce como es el caso del popal de La Mancha, precisamente por poseer una gran cantidad de atributos muy particulares incluyendo su localización privilegiada, rodeada de la gran variedad de ecosistemas como donde se encuentra, ha permitido que todas las acciones llevadas a cabo durante la duración del presente proyecto, puedan ser desarrolladas en otros sitio y repetir la experiencia de éxito en la extrapolación.

Si bien es cierto que la erradicación de *E. pyramidalis* no ha sido definitiva, la drástica disminución de su cobertura y dominancia así como el incremento en las mismas variables en especies nativas, indican que el trabajo desarrollado es el correcto por lo que la repetición de este proceso puede ser aplicable en otros humedales con problemas de invasión particularmente de gramíneas africanas.

Nuevamente es necesario recalcar la importancia del hidroperiodo en estos ecosistemas puesto que es la base de trabajo para la restauración de los mismos. Al igual que en el caso de los manglares, los humedales de agua dulce requieren en primer lugar mantener o recuperar su hidroperiodo. Lo anterior fue reflejado en esta experiencia de restauración que, al empezar a realizar los trabajos de renivelación en el popal, la vegetación nativa empezó a presentar una recuperación inmediata.

---

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

Como se mencionaba anteriormente, el monitoreo exclusivo de variables ambientales y/o vegetación, no presentan una idea fiel a la realidad del ecosistema. La búsqueda y reconocimiento de grupos indicadores durante este proyecto, permitió no sólo testificar la recuperación de la composición florística del sitio, sino que permitió entender “desde adentro” el funcionamiento del popal como hábitat de una gran cantidad de seres vivos, como una comunidad que vive, se alimenta, se refugia en el humedal, con los roles de cada organismo presente.

El proyecto termina con el logro de los objetivos planteados y en el tiempo previsto. Éstos fueron desarrollados en el corto tiempo, el preservar el éxito de ello requiere la planificación de acciones de mantenimiento a mediano y largo plazo así como el monitoreo para entender el proceso de estabilización y autosuficiencia del sistema.

Los costos de restauración pueden ser relativamente bajos si tomamos en consideración que en caso de extrapolarse la experiencia, se partiría de actividades básicas comprobadas en su eficiencia como son la recuperación del hidroperiodo y la creación y mantenimiento de las barreras físicas y vegetales, por lo tanto parte de los costos que se reducirían.

Los trabajos de investigación anteriores en la zona fueron fundamentales para poseer las herramientas básicas del cómo lograr la restauración. Otros sitios quizá no cuenten con la información de base tan desarrollada, empero la experiencia del grupo de trabajo en humedales, permite desarrollar o al menos cimentar las bases para otros trabajos en otras zonas de humedales potenciales de restaurar en México.

## 9. Referencias

- Álvarez del Villar, J. 1970. Peces Mexicanos (claves) Sria. De Industria y Comercio. Instituto Nacional de Investigaciones Biológico Pesqueras. Comisión Nacional Consultiva de Pesca. 166 pp.
- Ambus, P. 1998. Nitrous oxide production by denitrification and nitrification in temperate forest, grassland and agricultural soils. *European Journal of Soil Science* 49: 495-502
- American Ornithologists' Union (AOU). 1998. Check list of North American Birds. 7<sup>th</sup> ed. American Ornithologist's Union, Washington, D.C.
- Angeloni, N.L., J. K. Jankowski, N.C. Tucman, y J.J. Kelly, 2006 .Effect of an invasive cattail species (*Typha x glauca*) on sediment nitrogen and microbial community composition in a
- Blom CWPM, LACJ, Voesenek. 1996. Flooding: the survival strategies of plants. *Trends in Ecology and Evolution* 11:290-295.
- Bohn, H. L. 1971. Redox potential. *Soil Science* 112:39-45.
- Borror DJ, White RE. 1970. A field guide to Insects. Boston. 404p.
- Borror DJ, C.A. Triplehorn, N.F. Johnson. 1989. An introduction of the study of insects. Sixth edition. United States. 875 p.
- Carpenter, K.E. (ed.) 2002. The Living Marine Resources of the Wetern Central Atlantic. FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Hepetologists Special Publications No. 5: 1-60.

---

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

- Carrera CM y M.F. Ferrer. 1962-63. Producción de carne de ganado Cebú con seis especies de zacates tropicales. Agricultura Técnica en México 2: 81-86.
- Castro Aguirre, J.L. 1978. Catálogo Sistemático de los Peces Marinos que Penetran a las Aguas Continentales de México con Aspectos Zoogeográficos y Ecológicos. Departamento de Pesca. Dir. Gral. INP Ser. Cient. 9: 300 pp.
- Contreras-Ramos, A. 1997. Clave para la determinación de los Megaloptera (Neuropterida) de México. Degusiana 4(2): 51-61.
- COTECOCA. 1987. Las gramíneas de México. T. II. México, DF: SARH.
- COTECOCA. 1991. Las gramíneas de México. T. III. México, DF: SARH.
- COTECOCA. 1995. Las gramíneas de México. T. IV. México, DF: SAGAR.
- D'Antonio C.M. y P.M. Vitousek. 1992. Biological invasions by exotic grasses, the grass/fire cycle, and global change. Annual Review of Ecology and Systematics 23:63-87.
- de La Lanza Espino, G., S. P. Hernández y P. J. L. Carvajal. 2000. Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores). Comisión Nacional del Agua. SEMARNAP, UNAM, Plaza & Valdes. México. 633 p.
- del Ángel PAL. 1993. La ganadería bovina entre ejidatarios: ¿sistema de producción o mecanismo de sobrevivencia? En: Barrera N, Rodríguez H, editores. Desarrollo y medio ambiente en Veracruz, México, DF: Fundación Friedrich Ebert. p 289-297.

---

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

- Edwards, R., W.P.A. y B. Johnson, 1983. Water and waste water analysis for nitrate via nitration of salicylic acid. *Comm. Soil Science. Analysis*. 14(12); 1207-1215.
- Ehrenfeld, J.G. 2003. Effects of exotic plant invasions on soil nutrient cycling. *Ecosystems* 6:503-523
- Fickbohm, S. y W.X. Zhu, 2006. Exotic purple loosestrife invasion of native cattail freshwater wetlands: Effects on organic matter distribution and soil nitrogen cycling. *Applied Soil Ecology*. 32: 123-131
- Froese, R. And D. Pauly, eds., Fishbase. International Center for Living Aquatic Resources (ICLARM), 21 Aug 2004, Manila, Philippines, Version: Fishbase2000, database, <http://www.fishbase.org>
- García, J. y M.I. Ballesteros. 2005. Evaluación de parámetros de calidad para la determinación de carbono orgánico en suelos. *Revista Colombiana de Química* 34:2-7
- Gómez-Pompa, A. y N. Barrero Gámiz,.1982. Índice de proyectos en desarrollo en ecología tropical. Vol. III. Xalapa: Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos.
- Gordon, D.R. 1998. Effects of invasive, non-indigenous plant species on ecosystem processes: lessons from Florida. *Ecological Applications* 8(4): 975-989.
- Groves, R.H. 1989. Ecological control of invasive terrestrial plants. En: Drake, J.A., H.A. Mooney, F. di Castri, R.H. Groves, F.J. Kruger, M. Rejmánek, M. Williamson, editores. *Biological invasions: a global perspective*. Reino Unido: John Wiley & Sons Ltd. p 437-462.

---

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

- Hernández, M.E. y W.J. Mitsch. 2007. Denitrification potential and organic matter as affected by vegetation community, wetland age, and plant introduction in created wetlands. *Journal of Environmental Quality*. 36: 333-342.
- Howard-Williams C., B.H. Walker. 1974. The vegetation of a tropical African lake: classification and ordination of the vegetation of Lake Chilwa (Malawi). *Journal of Ecology* 62:831-854.
- Howell, S. N. G. y S. Webb. 1995. A guide to the birds of Mexico and northern Central America. Oxford University Press. Oxford.
- Huston M.A. 1994. Biological diversity: the coexistence of species on changing landscapes. Cambridge: Cambridge University Press.
- Instituto Nacional de la Pesca (INP) 1976. Catálogo de Peces Marinos Mexicanos. Sria. Ind. Comer. Subsecretaria de Pesca, 480 pp.
- López Martínez A. 1985. Estudios de productividad en áreas de chinampas: El caso de la Estación de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, "El Morro de La Mancha" Mpio. de Actopan, Ver. [Tesis de Licenciatura]. H. Cárdenas, Tabasco: Colegio Superior de Agricultura Tropical. 186 p.
- López-Rosas, H., P. Moreno y I. Meldenssohn. 2005. Effects of an African grass invasion on vegetation, soil and interstitial water characteristics in a tropical freshwater marsh in La Mancha, Veracruz (México). *Journal of plant interactions* 1(3):187-195
- López Rosas H, P. Moreno-Casasola, I.A. Mendelssohn. 2006a. Effects of experimental disturbances on a tropical freshwater marsh invaded by the African grass *Echinochloa pyramidalis*. *Wetlands* 26(2): 593-604.

---

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

- López Rosas H, P. Moreno-Casasola, I.A. Mendelssohn I.A. 2006b. Effects of an African grass invasion on vegetation, soil and interstitial water characteristics in a tropical freshwater marsh in La Mancha, Veracruz (Mexico). *Journal of Plant Interactions*.
- Magurran, A. E. 1988. *Ecological Diversity and its Measurements*. Princenton New Jersey. 180 pp.
- Margalef, R. 1969. Diversity and stability in ecological systems. *Brookhaven Symposium, Biology* 22: 25-37.
- McCafferty C., R. Lugo-Ortíz, A.V. Provosha, y T.Q. Wang. 1997. Los Efemerópteros de México: I. Clasificación superior, diagnosis de familias y composición. *Degusiana* 4(2): 1-29.
- Melgarejo Vivanco J.L. 1980. *Historia de la ganadería en Veracruz*. Xalapa-Enríquez: Ediciones del Gobierno de Veracruz.
- Mercado-Silva, N., E. Diaz Pardo, A. Gutiérrez Hernández y E. Soto Galera 2009. Los peces dulceacuícolas de Veracruz. *In: La Biodiversidad en Veracruz, estudio de estado* Gob. Edo. Veracruz, CONABIO, UV, INECOL
- Merritt, R.W. y K.W. Cummins. 1996. *An introduction to the aquatic insects of North America*. Kendall/Hunt Publishing Company. Iowa. 862p
- Miller, R. R., W.L. Minckley y S.R. Norris. 2005. *Freshwater fishes of Mexico*. The University of Chicago Press. Chicago. 652 pp.
- Moreno, C.E. 2001. *Métodos para Medir La Biodiversidad*. M&T - Manuales y Tesis, Zaragoza, España, 1: 84 pp.

---

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

- Novelo A. 1978. La vegetación de la estación biológica El Morro de la Mancha, Veracruz. *Biotica* 3(1): 9-23.
- Novelo-Gutierrez, R. 1997a. Clave para la separación de familias y géneros de las náyades de Odonata de México, parte I. Zygoptera. *Degusiana* 4(1): 1-10.
- Novelo-Gutierrez, R. 1997b. Clave para la separación de familias y géneros de las náyades de Odonata de México, parte II. Anisoptera. *Degusiana* 4(2): 31-40.
- Olguín-Palacios C. 1993. La productividad biológica de las zonas bajas tropicales como base de nuevos sistemas de producción ganadera-intensiva. En: Barrera N, Rodríguez H, editores. *Desarrollo y medio ambiente en Veracruz, México*, DF: Fundación Friedrich Ebert. p 299-310.
- Olson, D., E. Dinerstein, P. Canevari, I. Davidson, G. Castro, V. Mosisset, R. Abell, y Toledo (eds) 1998. *Fresh-water biodiversity of Latin America and the Caribbean: A conservation assessment*. Biodiversity Support Program. Washington, DC.
- Parson J.J. 1972. Spread of African pasture grasses to the American tropics. *Journal of Range Management* 25(1): 12-17.
- Pielou, E.C. 1969. *An Introduction of Mathematical Ecology*. Wiley New York
- Ponce, S. J. 1997. *Colecta e identificación de los grupos mayores de artrópodos*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Biología-Laboratorio de Entomología. Morelia, Michoacán, México. 95p.
- Priego-Santander, A.G., P. Moreno-Casasola, J.L. Palacio-Prieto, J.A. López-Portillo, D. Geissert-Kientz. 2003. Relación entre la heterogeneidad del paisaje y la riqueza de especies de flora en cuencas costeras del estado 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

- Veracruz, México. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, México 52: 31-52.
- Reséndez-Medina, A. 1981a. Biótica Estudio de los peces de la Laguna de Términos, Campeche, México. I. 6 (3): 239-291.
- Reséndez-Medina, A. 1981b. Biótica Estudio de los peces de la Laguna de Términos, Campeche, México. II. Última parte. 6 (4) 345-430.
- Revenge, C., J. Brunner, N. Henninger, K. Kassem, and R. Payne. 2000. *Pilot Analysis of Freshwater Ecosystems: Freshwater Systems*. Washington, DC, USA: World Resources Institute.
- Sandoval J.C. y A.I. Molina. 2000, Insectos. pp. 405-551. *In de La Lanza Espino G., S. P. Hernández. y P. J. L. Carvajal. (eds.) Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores). Comisión Nacional del Agua. SEMARNAP, UNAM, Plaza y Valdés editores. México. 633p.*
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001, Protección Ambiental-Especies Nativas de México de Flora y Fauna Silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio, lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, México, D.F., México.
- Shannon, E.C. 1949. The Mathematical Theory of Communication , pags. 19-27, 82-83, 104-107. The University of Illinois Press. Urbana IL.
- Silk, N. y K, Ciruna,. 2005. A practitioner's guide to Freshwater Biodiversity Conservation. Washigton, DC. Island Press. 393 p.
- Skerman, P.J., F. Riveros. 1990. Tropical grasses. Roma: FAO.

---

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

- Tapia, C.J., C.M. Carrera, R.E. Buller. 1962. Zacate Alemán para terrenos inundables del trópico. Circular CIASE N° 6, 7. México, DF: Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, S. A. G.
- Travieso-Bello, A.C. 2000. Biodiversidad del paisaje costero de La Mancha, Actopan, Ver. [Tesis de Maestría]. Xalapa, Veracruz: Instituto de Ecología, A. C.
- Travieso-Bello, A.C. 2005. Evaluación de indicadores de sustentabilidad de la ganadería bovina en la costa de Veracruz central, México. Doctorado en Ecología y Manejo de Recursos. Tesis Doctoral. Instituto de Ecología A.C., Xalapa. Ver
- Travieso-Bello, A.C, P. Moreno-Casasola, A. Campos A. 2005. Efecto de diferentes manejos pecuarios sobre el suelo y la vegetación en humedales transformados a pastizales. *Interciencia* 30:12-18.
- Wheeler, B.D., R.P. MONEY y S.C. SHAW. 2002. Freshwater wetlands. *In*: M:R: Perrow y A.J. Davy (Ed.). *Handbook of ecological restoration. Vol 2. Restoration in practice*. Cambridge University Press. Londres. 325-353.
- Westhoff, V y E. van der Maarel. 1978. The Braun Blanquet approach. *En*: R. H. Whittaker (ed.), *Classification of Plant Communities*, Junk, La Haya, pp. 287-399
- Whilm , J.L. 1968. Use of biomass units in Shannon's formula. *Ecology*, 49: 153-156.
- Williamson M. 1996. *Biological invasions*. Londres: Chapman & Hall.

---

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

Windham, L. y J.G. Ehrenfeld. 2003. Net impact of an invasion on nitrogen cycling process within a brackish tidal marsh. 13(4):883-897

Yetter JC. 2004. Hydrology and geochemistry of freshwater wetlands on the Gulf coast of Veracruz, Mexico [Tesis de Maestria]. Waterloo, Ontario: University of Waterloo. 168 p.