

Informe final* del Proyecto HH024

Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar no 1336 La Mancha y El Llano, Veracruz

Responsable:	Dra. Patricia Moreno Casasola Barceló
Institución:	Instituto de Ecología A.C. División de Vegetación y Flora Departamento de Ecología Vegetal
Dirección:	Carretera antigua a Coatepec # 351, El Haya, Xalapa, Ver, 91070 , México
Correo electrónico:	patricmo@ecologia.edu.mx
Teléfono/Fax:	01-228-842-1800 ext. 4204, Fax: 228-842-1800 ext. 422
Fecha de inicio:	Julio 30, 2010.
Fecha de término:	Febrero 11, 2015.
Principales resultados:	Informe final, fotografías.
Forma de citar** el informe final y otros resultados:	Moreno-Barceló, P. y H. López Rosas. 2015. Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (<i>Echinochloa pyramidalis</i> , POACEAE) en el sitio Ramsar no 1336 La Mancha y El Llano, Veracruz. Instituto de Ecología A.C. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. HH024. Ciudad de México.

Resumen:

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 ocurre básicamente por el asolvamiento de las lagunas costeras por la introducción de un ducto de PEMEX en la boca de las mismas, y por la introducción e invasión por gramíneas africanas asociadas con la ganadería extensiva. La invasión por gramíneas, particularmente por zacate africano invasor *Echinochloa pyramidalis*, es un problema que requiere atención. En un proyecto previo se eliminó gran parte del zacate africano invasor, se restauró el hidropereodo y se construyó una barrera para separarlo del potrero vecino. En esta nueva fase surgen tres nuevas situaciones la expansión de *Typha domingensis*, que está incrementando su área de cobertura y podría llegar a invadir el popal, que la existencia de un espejo de agua incrementaba la presencia de aves y que debido a la fuerte sequía, en las zonas de menor inundación el zacate volvió a aparecer por lo que se plantea remover el suelo en estas zonas. La conservación de este humedal se vuelve prioritaria ya que recorridos hechos por el grupo de trabajo a lo largo de Veracruz para buscar popales similares, mostraron que la gran mayoría han sido transformados en potreros quedando sólo pequeños remanentes. En este proyecto se plantea como parte de la restauración remover el suelo en las partes de inundación más somera para incrementar el tiempo de inundación y eliminar el zacate, remover suelo para ampliar el espejo de agua y asegurar que se mantiene inundado todo el año, determinar las zonas de eliminación de *Typha* y cortar a nivel de suelo previo a la inundación para reducir su crecimiento y reforzar la barrera haciendo el canal más profundo y sembrando árboles para crear sombra para el zacate C4. También se plantea continuar el monitoreo y ampliar los estudios a varios otros grupos de fauna y al suelo. Estas acciones tienen como objetivo comprender los mecanismos de estructuración de comunidades, el incremento en la presencia de hábitats y su relación con la diversidad de especies y grupos, la recuperación de cadenas tróficas, y los cambios en el suelo.

-
- * 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
 - ** 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.



INFORME FINAL

Proyecto HH024

**Consolidación de la restauración y monitoreo 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

Integrantes:

Dra. Fabiola López Barrera. Restauración

M. en C. Gustavo Aguirre León. Herpetofauna

Biol. Erasmo Cázares Hernández. Herpetofauna

Dr. Octavio Rojas Soto. Avifauna

Dr. Luis Alberto Peralta Peláez. Macroinvertebrados

Dra. Ana Laura Lara Domínguez. Ictiofauna

Dra. María Elizabeth Hernández Alarcón. Desnitrificación- Nitrificación

Dr. Adolfo Campos Cascaredo. Estabilidad de agregados

Judith Vázquez Benavides. Técnico

Octubre de 2014

Contenido

INTRODUCCIÓN.....	3
1 ANTECEDENTES	4
1.1 Humedales de agua dulce, popales y tulares.....	4
1.2 Problemáticas en humedales : ganadería, introducción de especies exóticas, contaminación.....	4
1.3 Recuperación de humedales.....	6
1.4 Problemática económica y social en el contexto de la cuenca	10
2 SITIO DE ESTUDIO Y PROBLEMÁTICA	12
2.1 Localización geográfica	12
2.2 Características y problemática	12
2.3 Proceso de restauración.....	14
3 OBJETIVOS	15
3.1 Objetivo general.....	15
3.2 Objetivos particulares	16
4 METODOLOGÍA.....	16
4.1 Caracterización de la estructura y composición florística de la vegetación	16
4.2 Caracterización de propiedades fisicoquímicas de suelo y agua	19
4.3 Anfibios y reptiles.....	19
4.4 Avifauna	20
4.5 Ictiofauna	20
4.6 Macroinvertebrados.....	21
4.7 Estabilidad de agregados.....	21
4.8 Procesos de nitrificación y desnitrificación	22
5 RESULTADOS	23
5.1 Acciones de manejo	23
5.1.1 Control de <i>Typha domingensis</i>	23
5.1.2 Limpieza de canales y espejo de agua.....	23
5.1.3 Eliminación y control de <i>Echinochloa pyramidalis</i>	24
5.1.4 Andadores de trabajo.....	24
5.2 Vegetación.....	27
5.3 Parámetros fisicoquímicos	31

5.3.1	Nivel de agua	31
5.3.2	Salinidad, conductividad y pH del agua.....	32
5.3.3	Potencial rédox , densidad aparente y humedad volumétrica del suelo.....	34
5.3.4	Nutrientes agua y suelo.....	36
5.4	Anfibios y reptiles.....	40
5.5	Avifauna	43
5.6	Ictiofauna	45
5.7	Macroinvertebrados.....	54
5.8	Potencial de nitrificación y desnitrificación	62
5.9	Estabilidad de agregados	65
6	CONCLUSIONES	67
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

Índice de figuras

Figura 1.	Ubicación del polígono del humedal en restauración con referencia a las instalaciones de CICOLMA. Imagen de satélite IKONOS.....	12
Figura 2.	Área de monitoreo en el humedal en restauración La Mancha.....	18
Figura 3.	Eliminación de <i>Typha domingensis</i> en el área destinada para espejo de agua en el humedal en restauración.	25
Figura 4.	Áreas del humedal en donde se presentaba <i>Typha domingensis</i> en el 2010. Se muestran las mismas áreas después del control y eliminación de esta especie, dos años después.	26
Figura 5.	Zona norte del humedal con rebrotes de <i>Echinochloa pyramidalis</i> (izquierda) y después de la renivelación de la zona (centro y derecha).	27
Figura 6.	Dominancia de las diez especies principales en el humedal en restauración en el período de 2010 a 2014.....	30
Figura 7.	Cobertura relativa de las principales especies por su valor de importancia y de las especies invasoras a través del tiempo.....	30
Figura 8.	Nivel de agua por tratamiento durante el proceso de restauración del humedal.	32
Figura 9.	Salinidad por tratamiento durante el proceso de restauración.....	33
Figura 10.	Conductividad por tratamiento durante el proceso de restauración.....	33
Figura 11.	Valores de pH por tratamiento obtenidos durante el proceso de restauración.....	34
Figura 12.	Potencial de óxido- reducción por tratamiento durante el proceso de restauración.	35
Figura 13.	Densidad aparente por tratamiento durante el proceso de restauración.....	35
Figura 14.	Humedad volumétrica por tratamiento durante el proceso de restauración.	36
Figura 15.	Concentración de nitrógeno amoniacal en agua intersticial por tratamiento durante el proceso de restauración.....	37

Figura 16. Concentración de fósforo de fosfatos en agua intersticial por tratamiento durante el proceso de restauración.....	37
Figura 17. Concentración de nitratos en agua intersticial por tratamiento durante el proceso de restauración.	38
Figura 18. Concentración de nitrógeno amoniacal en el suelo, por tratamiento durante el proceso de restauración.	39
Figura 19. Concentración de fósforo de fosfatos en el suelo por tratamiento durante el proceso de restauración.	39
Figura 21. Curva de acumulación de especies (anfibios y reptiles) en el humedal en restauración.	41
Figura 22. Número de registros por cada sesión de muestreo en el humedal en restauración.	42
Figura 23. Abundancia de especies de anfibios y reptiles registrados en el humedal en restauración.	43
Figura 33. Número de especies de aves por familia, registradas en el humedal en restauración. ..	44
Figura 34. Riqueza avifaunística, a través del tiempo en el humedal en restauración.	44
Figura 35. Riqueza de especies con hábitos acuáticos y semiacuáticos representados por familia.	45
Figura 36. Riqueza estacional de las aves acuáticas residentes.	45
Figura 24. Variación mensual del número de especies, número de individuos y peso total durante el desarrollo del proyecto.	46
Figura 25. Distribución del número de individuos capturados por mes durante el periodo de muestreo.	47
Figura 26. Distribución de frecuencia de tallas y relación longitud total y peso de la especie <i>Dormitator maculatus</i> en el humedal restaurado.	48
Figura 27. Distribución de frecuencia de tallas y relación longitud total y peso de la especie <i>Poecilia mexicana</i> en el humedal restaurado.....	49
Figura 28. Distribución de frecuencia de tallas y relación longitud total y peso de la especie <i>Eleotris amblyopsis</i> en el humedal restaurado en CICOLMA.	50
Figura 29. Distribución de frecuencia de tallas y relación longitud total y peso de la especie <i>Poecilia sphenops</i> en el humedal restaurado en CICOLMA.....	51
Figura 30. Distribución de frecuencia de tallas y relación longitud total y peso de la especie <i>Gobiomorus dormitor</i> en el humedal restaurado en CICOLMA.	52
Figura 31. Grado de llenado de los estómagos analizados de las diferentes especies de peces capturadas en el humedal restaurado de CICOLMA.	53
Figura 32. Tipo de alimento registrado en los estómagos analizados de las especies de peces en el humedal restaurado de CICOLMA.....	54
Figura 37. Número de familias y abundancia de macroinvertebrados registrados por muestreo..	55
Figura 38. Número de familias encontradas en el sitio uno (Typha- Echinochloa).....	56
Figura 40. Número de familias encontradas en el sitio 3 (Inicio con Dalbergia- Pontederia).	57
Figura 41. Número de familias encontradas en el sitio 4. (Echinochloa).	57
Figura 43. Número de familias encontradas en el sitio 6 (Pastizal).	58

Figura 44. Variaciones estacionales de las tasas de desnitrificación en los suelos del humedal de La Mancha y Cansaburros, Ver.	62
Figura 45. Promedios de la tasa de desnitrificación en los suelos del humedal de La Mancha y Cansaburros, Ver.	63
Figura 47. Promedios de la tasa de nitrificación en los suelos del humedal de La Mancha y Cansaburros, Ver.	65
Figura 48. Proporción de agregados de los humedales de selva y el popal en restauración La Mancha.....	66
Figura 50. Proporción de agregados de los humedales de tular de Boca Andrea y el popal del sitio Cansaburros.	67

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

RESUMEN

En el 2007 se inició la restauración de un popal en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y el Llano, que había sido invadido por un pasto exótico, con el proyecto titulado “Restauración experimental de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEA), el cual fue una de las primeras experiencias de restauración en este tipo de humedales en México, terminó en 2009 con muy buenos resultados ya que se logró la recuperación del hidropedimento y la eliminación del pasto invasor, se presentaron cambios favorables en la biodiversidad de flora nativa así como un aumento de la biodiversidad de fauna.

En esta segunda fase de la restauración los objetivos planteados fueron encaminados a dar seguimiento al proceso de restauración mediante acciones para controlar los rebrotes del pasto invasor en zonas específicas, el control de la nativa *Typha domingensis* que había logrado expandirse en gran parte del humedal, así como el monitoreo de variables ambientales y grupos de flora y fauna a fin de evaluar el proceso y éxito de la restauración.

Los principales resultados muestran una disminución de la cobertura del pasto invasor que había logrado rebrotar en zonas altas del humedal cuando se presentó un período de secas. Se removió suelo en tres zonas a fin de lograr la permanencia de inundación y evitar los rebrotes. Así también se controló y delimitó *Typha domingensis*, extrayéndose manualmente creando un espejo de agua. Esta especie bajó su dominancia en el humedal y al mismo tiempo se observó un aumento de la diversidad de especies nativas como *Sagittaria lancifolia* y *Pontederia sagittata*, presentándose con alto valor de importancia.

La biodiversidad de fauna en lo que respecta a anfibios y reptiles al cuarto año de muestreo, presentó un total de 26 especies nueve de anfibios y 17 de reptiles. No se registraron más especies que las predichas por el modelo de Clench, lo que significa que el muestreo fue exhaustivo para representar la herpetofauna del humedal. En particular los anfibios mostraron gran actividad en todos los muestreos y con alta abundancia se registró la salamandra *Bolitoglossa platydactyla* (tlaconete) que resultó ser la mejor especie que sirve como bioindicador de la recuperación del humedal ya que está estrechamente relacionada con las especies de *Sagittaria lancifolia* y *Pontederia sagittata*, las tortugas dulceacuícolas se registraron de manera constante. Dentro de los reptiles se observó una disminución de especies de serpientes principalmente, pero se registró un considerable número de individuos jóvenes de iguana verde (*Iguana iguana*) lo que significa una recuperación del hábitat para estas especies, así también se registraron mayormente individuos jóvenes de cocodrilos.

La avifauna presentó un total de 181 especies distribuidas en 40 familias entre ellas un número considerable corresponde a aves acuáticas, así también se registró un 35% de especies migratorias de invierno, lo cual indica que el humedal está siendo usado como hábitat para especies residentes y como lugar de alimentación y resguardo para especies migratorias, así mismo se

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

registraron las especies que utilizan directamente el popal mediante el muestreo con redes de niebla.

Con respecto a la ictifauna, se presentaron solo cinco especies en el periodo de 2008 a 2011 con mayor frecuencia de dos especies *Dormitator maculatus* y *Poecilia mexicana* de ésta última se observó que el tamaño de los individuos se relaciona con la temporada ya que se registraron individuos pequeños en la época de secas y las tallas grandes se registraron en lluvias.

En el grupo de los macroinvertebrados se registró un total de 3, 478 ejemplares siendo los dípteros los que presentaron el mayor número de familias, la familia Chironomidae fue la más abundante.

En cuanto al potencial de desnitrificación que es el proceso biogeoquímico que transforma los nitratos en nitrógeno atmosférico, el humedal en restauración presentó una alta tasa en agosto de 2011, lo que indica que tiene la capacidad para remover nitrógeno de la columna de agua y funcionar como filtro natural para mitigar la contaminación por nitrógeno en las aguas costeras; en los demás muestreos se encontraron valores similares con el humedal potrero de Cansaburras por lo que a pesar de ser un humedal con actividad antropogénica conserva la capacidad de remover nitrógeno. El potencial de nitrificación en el humedal en restauración mostró una menor tasa que el humedal de Cansaburras debido a que éste tiene una mayor entrada de amonio por parte del ganado.

El humedal en restauración presentó una proporción de agregados estables y se observó un incremento de los agregados en el tiempo, en comparación con los otros sitios la estabilidad fue menor que el humedal de selva de La Mancha, sin embargo fue mucho más alta que el humedal de Cansaburras el cual es utilizado como potrero.

La presencia del humedal del terreno vecino que todavía mantiene el pasto invasor será siempre una amenaza de reinvasión del pasto al humedal, por lo que mientras esto permanezca así será necesario el mantenimiento mínimo para evitar una posible reinvasión. Además se presentó un aumento de cobertura de un pasto nativo *Leersia ligularis* en la zona norte del humedal así como un aumento importante del helecho *Achrostichum aureum*, el cual es muy dominante y de rápido crecimiento.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

INTRODUCCIÓN

Los humedales son ecosistemas de gran importancia a nivel mundial y nacional debido principalmente a las funciones ecosistémicas que desempeñan, tales como la recarga y descarga de acuíferos, control de inundaciones, estabilización de la línea de costa, control de la erosión, retención de sedimentos, depuración de contaminantes entre otros.

Los humedales en México han sido muy degradados y aún desecados. Se ha estimado que cerca del 62 % se han perdido (Landgrave y Moreno Casasola, 2012). Entre las causas de pérdida y degradación están el cambio de uso de suelo para la realización de otras actividades como la ganadera o agrícola, con lo cual el ecosistema queda sometido a diversos disturbios y manejos que causan su deterioro y degradación y que puede llegar hasta a perder sus funciones.

En respuesta a las pérdidas de superficie y a la importancia de los humedales en términos ecológicos y sociales, su restauración es una prioridad en muchos países (Streever, 1999; SER, 2002). En los últimos años ha tomado gran importancia. En general, cuando se habla de restauración la meta es lograr un humedal con la misma composición de especies y función que el original (que pueden ser, por ejemplo, las condiciones prevalecientes antes de la colonización europea de América) o que un humedal de referencia, y se limita a aquellos casos en los que se trabaja en un sitio en donde existía tal ecosistema (Lindig- Cisneros y Zedler, 2005). Por lo tanto frecuentemente la meta es recuperar una composición florística de hidrófitas y las principales funciones de los humedales.

Específicamente en la región de La Mancha y el Llano, en el sitio Ramsar No. 1336, esta zona se caracteriza por la diversidad de paisajes entre los cuales se encuentran diferentes tipos de humedales (Moreno-Casasola e Infante, 2010); entre ellos se localiza un popal dominado por *Pontederia sagittata* y *Sagittaria lancifolia*, que fue invadido por el pasto alemán *Echinochloa pyramidalis* introducido en la década de los 80's y utilizado como forraje para ganado. La invasión de dicha especie fue muy agresiva ya que casi por completo el popal había sido transformado en pastizal; es así que en el 2007 se inició la restauración del popal mediante un proyecto financiado por CONABIO. Este es el primer intento en México de restauración de un popal invadido por una especie exótica, en donde al cabo de siete años, se logró eliminar el pasto casi en su totalidad, se recuperó la hidrología y se incrementó la diversidad de especies de flora y fauna.

En los proyectos de restauración es muy importante el seguimiento a corto, mediano y largo plazo por lo que fue importante el seguimiento de la consolidación de la restauración mediante el monitoreo de los grupos indicadores de flora y fauna así como las variables ambientales para tener bases de datos que muestren los patrones que permitan evaluar el éxito de la recuperación y poder decidir en el largo plazo si se logró la restauración. En este reporte se presenta la segunda fase de la restauración mediante el proyecto financiado por CONABIO titulado "Consolidación de la restauración y monitoreo de la restauración de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEA) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y el Llano".

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

1 ANTECEDENTES

1.1 Humedales de agua dulce, popales y tulares

El estado de Veracruz a lo largo de sus 745 km de litoral alberga numerosos tipos de humedales costeros como manglares, selvas inundables, tulares, popales, marismas, praderas de pastos marinos, lagos, lagunas, producto de condiciones ambientales, físicas y bióticas únicas (Moreno Casasola e Infante 2010). La importancia de los manglares ha sido reconocida a nivel mundial, pero también se considera que los humedales de agua dulce tienen importancia ecológica, económica, social y cultural, (Weller 1994, Mitsch y Gosselink 2000). Sin embargo en México es muy poca la información sobre estos humedales.

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.

Los popales son humedales herbáceos de agua dulce. Esta comunidad, según Kushlan (1990), se localiza en zonas donde el manto freático tiene una profundidad entre 0.3 y 1 m durante la estación de lluvias y el hidroperiodo se extiende mas de 200 días. Requiere de un periodo de secas y la inundación prolongada produce la muerte de las plantas (Travieso- Bello y Moreno- Casasola, 2006). 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.

1.2 Problemáticas en humedales : ganadería, introducción de especies exóticas, contaminación

En las últimas décadas estos ecosistemas costeros han ido desapareciendo o deteriorándose, debido entre otras cosas, al aumento de la ganadería extensiva que pasta en los humedales (Melgarejo Vivanco 1980, Del Ángel Pérez 1993). De la superficie del estado de Veracruz el 42.6% es ganadera y en 13. 4% esta actividad se combina con la agricultura (SAGARPA 2002). 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 en las cuencas bajas, en los pastizales donde se practica la ganadería extensiva, hay una gran variedad de humedales característicos de estas zonas bajas, como lagunas permanentes y temporales, esteros, pantanos y ciénagas (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 agrícolamente; esta actividad en las zonas inundables se llevaba 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), aunque hoy en día se usa casi todo el año, excepto en las zonas donde sube mucho el nivel del agua como en el Papalaopan. 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

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

último siglo es hacia la desaparición gradual de esos cuerpos de agua dando paso a pastizales con una productividad ganadera baja (Olguín Palacios 1993).

En la zona de la región de la Mancha, hace más de treinta años, se introdujeron dos pastos exóticos de origen africano, *Echinochloa pyramidalis* en zonas donde el suelo permanece inundado por un largo periodo de tiempo y el pasto *Cynodon plectostachyus* en suelos con periodos de inundación cortos (Travieso- Bello et al. 2005), aunque este último probablemente sea más antiguo. Hoy en día los humedales se encuentran bajo distintos grados de transformación, desde humedales en los que se introdujo ganado pero no hubo mayor modificación hasta los drenados o invadidos por especies exóticas (Moreno-Casasola et al 2012). En varias regiones del Trópico americano el pasto alemán se ha convertido en una especie invasora de humedales. La invasión ocurre cuando las especies naturalizadas logran reproducirse y desplazar a las especies nativas en zonas distantes al sitio de introducción (Richardson et al. 2000).

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 (López Rosas et al. 2006), junto con cambios en funciones de los ecosistemas como la capacidad de retención del agua y los ciclos biogeoquímicos (López Rosas et al. 2005, Travieso-Bello et al. 2005). La extensión de este problema es aproximadamente de 883 hectáreas, que equivale al 93.8% del total de humedales de agua dulce de la zona. 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.

La invasión de gramíneas, particularmente por *Echinochloa pyramidalis* es una de las que ha ocasionado mayores daños a los humedales principalmente popales en gran parte de Veracruz (López Rosas et al, 2007). *E. pyramidalis* es una gramínea con fotosíntesis C4, resistente al forrajeo, con alta capacidad de reproducción vegetativa por rizomas y cañas, la cual crece en zonas inundables con tolerancia a sequías moderadas (Howard- Williams y Walker 1974). Es una especie altamente productiva que acumula biomasa seca rápidamente y de esa manera va elevando el terreno (López-Rosas et al. 2007). De acuerdo con Melgarejo-Vivanco (1980), en las zonas inundables de Veracruz el principal pasto forrajero que se introdujo fue el zacate pará (*Brachiaria 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”. Los trabajos realizados por López-Rosas (2007) muestran la capacidad invasora de esta especie hacia humedales colindantes.

Al mismo tiempo, los humedales costeros son la parte terminal de las cuencas y a estas partes bajas llega toda el agua que se capta en éstas, tanto por escurrimiento superficial como por flujos subterráneos. Esta agua es el reflejo del uso del suelo de la cuenca, por ejemplo si es una cuenca conservada la calidad del agua que será vertida en los humedales mantendrá al ecosistema en equilibrio, sin embargo este tipo de cuencas ya es difícil de encontrar. Lo que actualmente encontramos son cuencas con diversos usos de suelo por ejemplo en la planicie costera central del Golfo de México se observan zonas de potrero, cultivos de caña y mango. Estas actividades incorporan dentro de su manejo el uso de fertilizantes y herbicidas, los cuales son arrastrados por el agua hasta los cuerpos de agua. El efecto en los humedales es un enriquecimiento del agua por

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

nutrientes, por ejemplo, los niveles de fósforo en el agua de los Ríos Pantla, Río Ixtapa y Laguna Las Salinas en el estado de Guerrero son de 1 mgL^{-1} (Infante et al. 2008); por el contrario, el agua que escurre de un cultivo de caña en el estado de Veracruz, en el Municipio de Actopan, es de 8.5 mgL^{-1} (Sánchez-Higueredo 2007). Expertos en cambio climático han determinado para México que los principales problemas asociados a estos efectos, son la contaminación del agua (ríos, lagos, mantos acuíferos) por actividades agrícolas e industriales, la invasión de especies animales y vegetales que han sido introducidas a nuestro país con fines de explotación y la invasión de los cuerpos de agua por especies de plantas que son capaces de expandirse en aguas ricas en nutrientes (Sala et al. 2000).

El exceso de fósforo en el agua dulce o salobre de los humedales hace que plantas como por ejemplo *Pistia stratiotes* (lechuga de agua), *Eichhornia crassipes* (lirio de agua) y *Typha domingensis* (nea, enea, espadaña) invadan el espejo de agua desplazando a otras especies de plantas, provocando una simplificación del funcionamiento del humedal, alterando las características fisicoquímicas del agua, reduciendo el hábitat para otras especies nativas y teniendo como punto final la eutrofización del sistema (Middleton 1999, Mitsch y Gosselink 2000, Travieso et al. 2005, López et al. 2006). Si bien estas plantas son capaces de almacenar y transformar en biomasa el exceso de nutrientes, sin un manejo adecuado para retirar el exceso de estas plantas el sistema del humedal está en riesgo de colapsar (Sánchez-Higueredo 2007).

T. domingensis es una planta con propagación vegetativa (rizomas) y por semilla, lo que incrementa su capacidad de invasión en los humedales. Además de que en humedales con concentraciones altas de fósforo la producción de biomasa de *T. domingensis* se incrementa hasta en seis veces llegando a 1537 g m^{-2} (Sánchez-Higueredo 2007). En el estado de Veracruz se ha observado que existen lagunas interdunarias invadidas por *T. domingensis* como las Conchas y San Julián, y casi cualquier cuerpo de agua que se encuentre cerca de los cultivos de caña.

Estudios realizados con *Typha* spp. mostraron un comportamiento similar a las especies de hábitats ricos en nutrientes al presentar un alto grado de flexibilidad en el crecimiento, en la distribución de la biomasa, y la acumulación de nutrientes en función de la disponibilidad de fósforo. *Typha* tuvo una mayor capacidad de absorción de P y fue más competitiva que *Cladium* en las concentraciones de P aplicado (Lorenzen et al. 2001). Por otro lado Brix et al. (2002) encontraron una inhibición del crecimiento en condiciones de pH bajo, debido probablemente a que ocurre una reducción en la absorción de nutrientes (estrés de nutrientes) y consecuentemente una limitación del crecimiento. Al parecer las especies de *Typha* son consideradas especies pioneras con una alta plasticidad fisiológica que les permite ser muy competitivas (Inoue y Tsuchiya 2006).

1.3 Recuperación de humedales

Ante la alarmante degradación, fragmentación y desaparición de los ecosistemas y los servicios que brindan, la restauración ecológica ha tomado gran importancia en los ámbitos académicos, políticos, sociales y culturales. La restauración ecológica se define como: el proceso de asistir la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido o una actividad intencional que incentiva o acelera la recuperación de un ecosistema con respecto a su salud, integridad y sustentabilidad. La intención de la restauración es regresar un ecosistema a su

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

trayectoria histórica (pero probablemente no a su estado inicial) basándose en información histórica, de sitios de referencia, ecosistemas comparables y otras fuentes de información (SER 2004). Diversos conceptos controvertidos se han relacionado a la restauración ecológica, como rehabilitación, reemplazo, creación, etc. Todos estos se utilizan diferencialmente de acuerdo a la condición en la que se encuentra el ecosistema degradado y los objetivos de la intervención. Así mismo, existen diversas aproximaciones o escalas tanto temporales como espaciales en los proyectos de restauración ecológica.

En México, la restauración de humedales es un tema que se ha abordado recientemente y está todavía poco explorado. Hay muchos ejemplos en manglares, pero pocos en humedales de agua dulce. Algunos ejemplos son los proyectos de restauración ecológica de los canales de Xochimilco y de los humedales del Lago de Pátzcuaro. Particularmente en el estado de Veracruz, los esfuerzos de restauración de humedales apenas se han iniciado. Un primer aspecto de gran importancia en la restauración de humedales son los procesos físicos y químicos que se llevan a cabo y su interacción con los niveles y temporalidad de la inundación. Son comunidades que dependen fundamentalmente de la inundación y del hidropериodo.

La interacción de factores ambientales y biológicos afecta la condición física del suelo, particularmente la evolución de la estructura del suelo. La organización de las partículas del suelo (orgánicas y minerales) en agregados controla funciones importantes en el ecosistema como el ciclo de nutrientes y las relaciones entre agua y suelo. Hay evidencias que señalan que la estructura del suelo está constantemente cambiando y ese comportamiento regula en un alto grado el reciclaje de la materia orgánica (Abiven et al. 2009). En muchos casos la incorporación de materia orgánica y su descomposición mejora la estabilidad de agregados del suelo, con una intensidad y duración que depende de la naturaleza del residuo orgánico y su relación de descomposición (Zibilske et al. 2007). La mejora de la estructura se traduce en un suelo que presenta alta proporción de agregados estables al agua y una alta porosidad. Estas condiciones le otorgan al suelo propiedades físicas favorables para el establecimiento y crecimiento de las plantas, incluyendo una alta capacidad para retener agua (Yang et al. 2007). Además de que una estructura favorable incrementa la resistencia del suelo a su degradación.

El tamaño de los agregados está estrechamente relacionado a la cantidad de nutrientes y con su reciclado. Algunas investigaciones han encontrado altas concentraciones de carbono, nitrógeno y fósforo en macroagregados, mientras que otras reportan altas concentraciones de esos elementos en los microagregados (Yang et al. 2007). Además, la relación del reciclaje del carbono orgánico del suelo es mayor en los macroagregados que en los microagregados (Yang et al. 2007). Por lo que monitorear la dinámica de la estabilidad de agregados en suelos de humedal es fundamental para entender también la dinámica de la materia orgánica del suelo.

Los humedales naturales, restaurados y creados, juegan un papel importante en la disminución de la carga de nitrógeno de los escurrimientos urbanos y agrícolas (Mitsch et al. 2001, Fink y Mitsch 2007). Este tipo de ecosistemas tienen la capacidad de transformar y por lo tanto remover nitrógeno de la columna de agua. En los humedales, el nitrógeno orgánico puede ser mineralizado y convertido a amonio, el cual a su vez puede ser asimilado por plantas y microorganismos del suelo, puede ser oxidado a nitratos o puede ser removido del suelo y del agua a través de su oxidación anaerobia, convirtiéndose a N₂ a través del proceso llamado ANAMMOX (Van de Graaf et al. 1997). Los nitratos pueden ser removidos completamente del agua y suelo a través del

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

proceso anaerobio de desnitrificación, en el cual son reducidos a N₂O y N₂ que son gases que escapan a la atmósfera (Beauchamp et al. 1989). La dinámica de las transformaciones de nitrógeno en los humedales es compleja y es influenciada por varios factores abióticos y bióticos del ecosistema como el tipo de vegetación, las condiciones físicas y biológicas del suelo, así como la hidrología (Mitsch y Gosselink 2007). Consecuentemente, cualquier cambio en la hidrología y vegetación pueden causar cambios dramáticos en la producción y consumo de nitratos dentro de los humedales (Groffman y Crawford 2003). Se ha reportado que en los suelos de humedales riparios donde el manto freático estaba muy profundo, la concentración de nitratos fue alta debido a las condiciones aerobias que prevalecieron en ellos y que estimularon la actividad nitrificante. Por el contrario, en esos suelos, el consumo de nitratos fue bajo debido a que la actividad desnitrificante fue muy escasa por la ausencia de condiciones anóxicas (Groffman et al. 2002). Dichos cambios en las transformaciones de nitrógeno representan un riesgo, ya que en lugar que los humedales funcionen como filtros purificadores de nitratos, éstos se pueden convertir en exportadores de nitratos a los cuerpos de agua contiguos.

Por otro lado, recientemente se ha reportado que existe una fuerte correlación entre la actividad desnitrificante y la vegetación de los humedales. Lo anterior se debe a que el carbono estructural y la productividad de las diversas especies de macrófitas es diferente, por lo tanto el detritus formado a partir de los restos vegetales también difiere en cantidad y calidad (Hernández y Mitsch 2007).

En la restauración de humedales, muchas variables ambientales cambian durante la transición de un estado a otro (Zohary et al. 1998). En particular son afectadas la productividad primaria, la diversidad de especies y la calidad del agua. Entre los productores primarios que se encuentran en los humedales, las algas y las plantas son uno de los grupos más afectados por la restauración, por lo que han sido usadas como indicadores ecológicos en humedales (Stevenson 1996).

La vegetación, junto con la hidrología y el suelo, es un componente principal de los humedales. Las plantas son los productores primarios más importantes de los popales y tulares. De manera general, el tipo de vegetación dominante de un humedal refleja las condiciones hidrológicas y edáficas prevalentes en éste (Mitsch y Gosselink 2007). Por ejemplo, los humedales con columnas de agua de más de dos metros de profundidad pueden estar libres de vegetación o bien dominados por plantas libres flotantes o enraizadas flotantes; mientras que conforme disminuye la profundidad de la inundación, la vegetación dominante pasa a ser herbácea emergente (popales-tulares) o arbustivo-arbórea en los ecotonos con tierra firme (Lot-Helgueras 1991). El tipo de vegetación determina en gran medida las características del suelo de los humedales. Si la tasa de productividad de la vegetación es mayor a la de la descomposición, entonces hay acumulación progresiva de materia orgánica en el suelo y posiblemente se genere acreción vertical (Chambers et al. 1999). Tasas de descomposición lentas se asocian con la calidad de la materia orgánica, con periodos prolongados de inundación y, por lo tanto, de condiciones anóxicas; y con temperaturas por debajo del punto de congelación, las cuales no se presentan en humedales tropicales (Brinson et al. 1981). Otras características de los suelos asociadas con la vegetación son la tasa de sedimentación y la concentración de nutrientes. Las altas coberturas de vegetación emergente funcionan como trampas de sedimentos en las épocas de inundación, principalmente en los humedales de las planicies de inundación. Por otro lado, la vegetación emergente genera una rizósfera rica en asociaciones con microorganismos descomponedores aeróbios y anaeróbios (Johnston 1991). Estas asociaciones son las responsables de la mayoría de los procesos

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

biogeoquímicos importantes para mantener la integridad del humedal, como son la nitrificación-denitrificación, la reducción-oxidación de fósforo, azufre, potasio, magnesio y la metanogénesis, entre otros (Bowden 1987, Roden y Wetzel 1996). Este breve panorama resalta la importancia de estudiar la estructura, composición y distribución de la vegetación en un humedal, así como su diversidad, productividad, proporción de especies exóticas en relación con las nativas, banco de semillas y estado de desarrollo de las comunidades. Todos estos atributos deben evaluarse en asociación con características fisicoquímicas de suelo y agua, como son el nivel topográfico, humedad, grado de compactación y concentración de materia orgánica del suelo, concentración de nutrientes suelo y agua intersticial, pH, conductividad eléctrica y nivel del agua intersticial.

Una de las alteraciones más importantes en el proceso de restauración es el incremento en las concentraciones de nutrimentos (N y P) como resultado de los procesos biogeoquímicos que se dan en los humedales en las diferentes etapas de la restauración (Zheng y Stevenson 2006). Los cambios de nutrimentos influyen en la composición de las comunidades algales, como el perifiton que es uno de los componentes más abundantes y ecológicamente más importantes, ya que juegan un papel crucial en los ciclos biogeoquímicos (McCormick y Stevenson 1998).

Además de los elementos físicos y las comunidades de plantas que les dan su aspecto macroscópico, el ecosistema de un humedal integra toda una variedad de animales que contribuyen a su dinámica estructural y que participan en sus cadenas tróficas y flujos de energía y nutrientes. Como elementos integrales del ecosistema, estos organismos deben considerarse en cualquier proyecto de restauración que pretenda recuperar la funcionalidad ecológica de un humedal.

En épocas recientes se ha venido empleando a los odonatos y a los macroinvertebrados (tanto de grupos de insectos como de moluscos, anélidos, etc.) en general como modelos de estudio para la conservación del hábitat en diferentes partes del mundo (Moore 1984, Samways 1989; Stewart y Samways 1998) y como bioindicadores (Hilsenhoff 1988, Sahlén 1999, Peralta et al. 2007) a distintos niveles de precisión taxonómica. Así mismo, en programas a largo plazo de restauración de humedales en Europa, los odonatos han jugado un papel preponderante como sujetos de estudio (Chovanec y Raab 1997) y en los humedales de Veracruz se han probado indicadores de macroinvertebrados de insectos (Peralta et al. 2007). En México hay pocos estudios ecológicos que involucren a los odonatos, y los que existen se han realizado en ambientes lóticos (Novelo-Gutiérrez et al. 2002). En ambientes lénticos sólo hay una evaluación reciente en humedales interdunarios pero a nivel de familia de insectos acuáticos (Peralta et al. 2007).

La invasión por plantas exóticas ha provocado el desplazamiento de las comunidades de plantas nativas asociadas con la vida silvestre (Fletcher 2003). En especial, las hierbas y pastos introducidos suelen tomar parte de las tierras bajas, que son lugares críticos de alimentación para las aves migratorias, ocasionando cambios en la población de especies de aves acuáticas y decrecimiento de habitats para aves migratorias neotropicales y otras especies residentes (Bildstein et al. 1991). El gran impacto sobre las poblaciones naturales de aves fue ejemplificado por el Gorrión Costero (*Ammodramus maritimus mirabilis*) y la cigüeña americana (*Mycteria americana*), ambas especies en peligro de extinción y presentes en el estado de Florida, EUA, donde sus poblaciones fueron eliminadas de diversas áreas a lo largo de la península debido principalmente a la presencia e invasión de pastos introducidos (Langeland y Meisenburg 2005). Además, el mayor impacto negativo de los pastos invasores puede darse sobre las aves

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

migratorias, las cuales dependen de plantas nativas que brindan semillas, frutas e insectos y de los ambientes acuáticos que les proporcionan peces e invertebrados durante su migración (Saab y Petit 1992).

La reducción por plantas invasoras de los diferentes tipos de vegetación de humedales, como popales y tulares, ha provocado efectos en la abundancia y el uso de hábitat por parte de muchas especies acuáticas, por ejemplo, algunas especies (*Chlidonias niger*, *Ammodramus maritimus*) pueden no utilizar a los humedales pequeños o pueden ocurrir en densidades más bajas que en humedales más grandes (Naugle et al. 1999, Benoit y Askins 2002). Los humedales que se encuentran relativamente aislados de otros humedales o que han sido fragmentados por la invasión de especies exóticas, pueden también poseer menos especies. Otro índice de la cantidad relativa de fragmentación del hábitat es la cantidad de perímetro (o borde) del humedal con relación a su extensión, ya que las especies ocurren en bajas densidades en los humedales con más borde relativo a su área (Fairbairn y Dinsmore 2001). Por otro lado, se sabe que el éxito reproductivo de algunas especies puede ser menor cerca del perímetro (o borde) de los humedales que en las partes centrales del mismo, debido a que muchos depredadores de nidos no pueden ganar acceso a los hábitats de agua profunda dentro de los humedales; esto implica un menor éxito reproductivo en humedales de menor tamaño (Picman et al. 1993). Además, la pérdida de humedales puede hacer que los humedales restantes en el área sean menos adecuados para algunas especies (Bethke y Nudds 1995). Como parte del manejo y conservación de humedales y debido a su gran dependencia de estos ambientes, se ha recurrido a especies de anfibios y reptiles como indicadores medioambientales del progreso y éxito de la restauración (Pechmann et al. 2001, Petranka et al. 2003a, b). Esto ha permitido evaluar a escala local los efectos de la restauración del hábitat sobre el tamaño poblacional, salud, comportamiento y reproducción de ensambles de especies de herpetofauna (Welsh y Olivier 1998, Vasconcelos y Calhoun 2004).

El uso de indicadores ecológicos ha ganado importancia al tener como propósito principal mostrar relaciones entre condiciones bióticas y abióticas. Los indicadores ecológicos son taxa o grupos de organismos que muestran signos de que son afectados por la presión ambiental a causa de actividades humanas y por la modificación de los sistemas bióticos. En este proyecto, diversos grupos de flora y fauna serán utilizados como indicadores ecológicos para evaluar la restauración de un humedal con vegetación de popal, poniendo a prueba que estos organismos muestran evidencias de que se ven beneficiados con este proceso.

1.4 Problemática económica y social en el contexto de la 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 km². 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 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.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

Como parte de las actividades realizadas en el Plan de Manejo la Mancha El Llano, del cual forma parte el sitio Ramsar 1336, se aplicaron una serie de encuestas sobre la situación social y económica en las poblaciones costeras de la zona. Los resultados más detallados aparecen en [Ruelas \(2004\)](#). De manera particular se trabajó con ganaderos y los resultados aparecen en [Travieso Bello \(2005\)](#). El Plan de Manejo y sus acciones se describen en [Moreno-Casasola et al. \(2006 a y b\)](#).

A la fecha, se ha encontrado que la región contiene el 15% de la población del municipio, que las ocupaciones principales 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. 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 es 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.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

2 SITIO DE ESTUDIO Y PROBLEMÁTICA

2.1 Localización geográfica

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 fábrico (Priego-Santander et al. 2003). El clima es cálido subhúmedo con lluvias de verano.

El área abarca aproximadamente 2.6 ha (Figura 1) 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. Se localiza en la región hidrológica centro subcuenca Río Actopan.

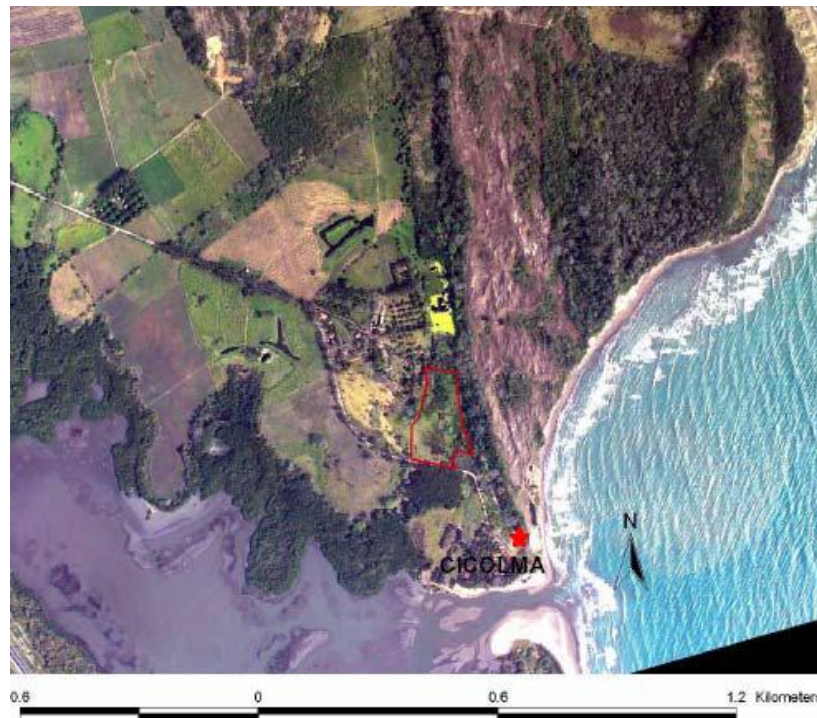


Figura 1. Ubicación del polígono del humedal en restauración con referencia a las instalaciones de CICOLMA. Imagen de satélite IKONOS.

2.2 Características y problemática

El popal en restauración se ubica entre un lago de agua dulce bordeado de vegetación arbórea (selva baja inundable) y potreros, en una depresión en un sistema de dunas costeras, y una laguna salobre bordeada por manglar. Esta situación hace que el popal normalmente funcione como espacio de flujo de agua hacia la laguna y 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

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

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. 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.

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 hidropérido 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 la restauración en 2007, 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*) ([López Rosas et al. \(2006b\)](#)).

Entre las investigaciones realizadas en este sitio antes del inicio de la restauración se encuentran la caracterización de la hidrología que demostró que las entradas de agua al humedal es fundamentalmente por manto freático (76%), y en menor grado por 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, realizada previa a la restauración, 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.](#)

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

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 (López Rosas et al. 2012).

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 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 sagittata* (López Rosas 2007).

Las investigaciones anteriores permitieron conocer la biología de la especie y su capacidad invasora. Ello ayudó a ver que si se dejaba, el humedal pronto quedaría invadido totalmente, demostrando que para su erradicación y recuperación era necesario la intervención con acciones de restauración.

2.3 Proceso de restauración

Se inició en 2007 el proyecto de restauración financiado por CONABIO, en su primera fase, titulado “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 principales objetivos del proyecto fueron recuperar el régimen hidrológico mediante la nivelación de la topografía, la disminución de la especie invasora mediante el corte directo, el establecimiento de las especies nativas y el monitoreo de parámetros de suelo y agua y la determinación de indicadores de éxito.

Una vez que se empezó a trabajar, se encontró que el humedal además de estar invadido por el pasto alemán, presentaba en algunas zonas elevadas la dominancia casi monoespecífica de otras especies tales como *Dalbergia brownei* que había formado parches casi impenetrables en la zona sur, así como el pasto *Pennisetum purpureum* en la zona norte. Mediante el chapeo manual, aplicación de herbicida, quema y colocación de malla sombra se eliminaron o redujeron poblaciones de estas especies. Se construyó junto al terreno invadido un canal que sirviera como barrera física y siembra de árboles que proporcionen sombra a fin de evitar la reinvasión del pasto.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

Los resultados de estas acciones fueron muy satisfactorios, pues se logró eliminar casi por completo el pasto invasor así como las otras especies monodominantes y se logró la recuperación de la comunidad vegetal nativa aumentando la diversidad de especies propias del popal. Las especies dominantes al término de la primera fase eran *T. domingensis*, *P. sagitatta* y *S. Lancifolia*; el pasto invasor bajó su importancia después que al inicio era la especie dominante. Así mismo cada tratamiento presentó resultados positivos durante el proceso de restauración (ver anexo).

En lo correspondiente al muestreo de herpetofauna, conforme avanzaba el proyecto aumentó también la diversidad de especies ajustándose a lo predicho en la curva de acumulación. Los muestreos se hicieron en el humedal en restauración y en ambientes aledaños de selva y áreas invadidas por el pasto, registrándose un mayor número de especies en el humedal. Cabe destacar que un 42% de las especies registradas fueron de importancia para la conservación de acuerdo a la legislación ambiental (ver anexo).

El muestreo de avifauna mostró gran actividad de especies que usan el humedal, incrementándose el número de aves acuáticas cuando se aumentó la superficie del espejo de agua. Se registraron tanto especies residentes como migratorias y algunas de las especies se encuentran en alguna categoría de riesgo según la legislación.

Se presentaron diversas especies de macroinvertebrados (en total seis órdenes de insectos) así como cinco especies de peces registrándose el mayor número de especies en temporada de lluvias.

Los resultados del potencial de nitrificación y desnitrificación mostraron que en donde prevalece el pasto es mas alta la nitrificación y mas baja la desnitrificación comparado con los cuadros donde prevalecen las especies nativas.

Al final del proyecto se observó el rápido crecimiento y expansión de *Typha domingensis* en distintas áreas del humedal, además, después de un año muy seco, del restablecimiento de *Echinochloa pyramidalis* en zonas altas y con menor inundación. Además se vió necesario ampliar la superficie de espejo de agua para crear hábitats para especies como aves, peces, anfibios y reptiles. Resultó importante para el seguimiento del proceso de la restauración llevar a cabo acciones para evitar la dominancia monoespecífica de *T. domingensis* y evitar la reinvasión del pasto invasor así como continuar monitoreando los factores bióticos y abióticos. Por ello se planteó una segunda etapa cuyos resultados finales aparecen en el presente informe.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Continuar el proceso de restauración con énfasis no solamente en los rebrotes del pasto invasor (*Echinochloa pyramidalis*), sino también de la expansión e invasión de *Typha domingensis*, y ampliar el monitoreo de organismos y variables ambientales.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

3.2 Objetivos particulares

1. Refuerzo, mantenimiento y monitoreo de las barreras vegetales (plantas y árboles de humedal que producen sombra para impedir el crecimiento del pasto invasor C4) y física (mantenimiento del canal) para control de la invasión del pasto exótico (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el humedal.
2. Bajar el nivel del suelo en las zonas donde durante este año de sequía aún se estableció el pasto mencionado
3. Control de la expansión de la nativa *Typha domingensis*, que está ocupando espacios de *Sagittaria lancifolia* y *Pontederia sagittata*, las especies deseadas y que conformaban el resto del humedal que quedaba.
4. Ampliación de la superficie de espejo de agua para favorecer la presencia de aves y peces.
5. Monitoreo de los grupos indicadores de vegetación, ictiofauna, herpetofauna, avifauna, macroinvertebrados, así como las variables abióticas (parámetros fisicoquímicos del agua, nutrientes del suelo e hidroperiodo) en el humedal restaurado, con el fin de evaluar la trayectoria y éxito de la restauración, las especies o grupos que pueden funcionar como especies indicadoras de degradación y de éxito de la restauración, los mecanismos de estructuración de comunidades, el incremento en la presencia de hábitats y su relación con la diversidad de especies y grupos, y la recuperación de cadenas tróficas.
6. Monitoreo del suelo para comprender las transformaciones que la restauración trae en un componente fundamental de los humedales, a través de los cambios en los agregados, en la densidad aparente, en el contenido de carbono y en los procesos de nitrificación y desnitrificación.
7. Señalización de un sendero para estudiantes, personas de las comunidades vecinas y turistas.
8. Documentación, transferencia y sistematización de las bases de datos biológicas, fotográficas y de información, para la elaboración de un video de todo el proceso de restauración para su difusión en medios académicos y no académicos.

4 METODOLOGÍA

4.1 Caracterización de la estructura y composición florística de la vegetación

Se realizó el muestreo de vegetación de los 56 cuadros permanentes, así como otros cuadros que se aumentaron en 2010. Se situaron en áreas que se encontraban lejos de otras baterías con el fin de comparar con los cuadros antiguos e identificar los cambios en la vegetación. En 2011 se colocaron nuevos cuadros en las zonas de renivelación para monitorear el establecimiento de especies; el número de cuadros total es de 91. En cada cuadro se identificó la vegetación, y se tomaron los valores de cobertura-abundancia de cada especie usando la escala ordinal del 1 al 9 (Westhoff y van der Maarel 1978). Con los valores de cobertura y frecuencia se obtuvo el valor de importancia de las especies en cada monitoreo.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

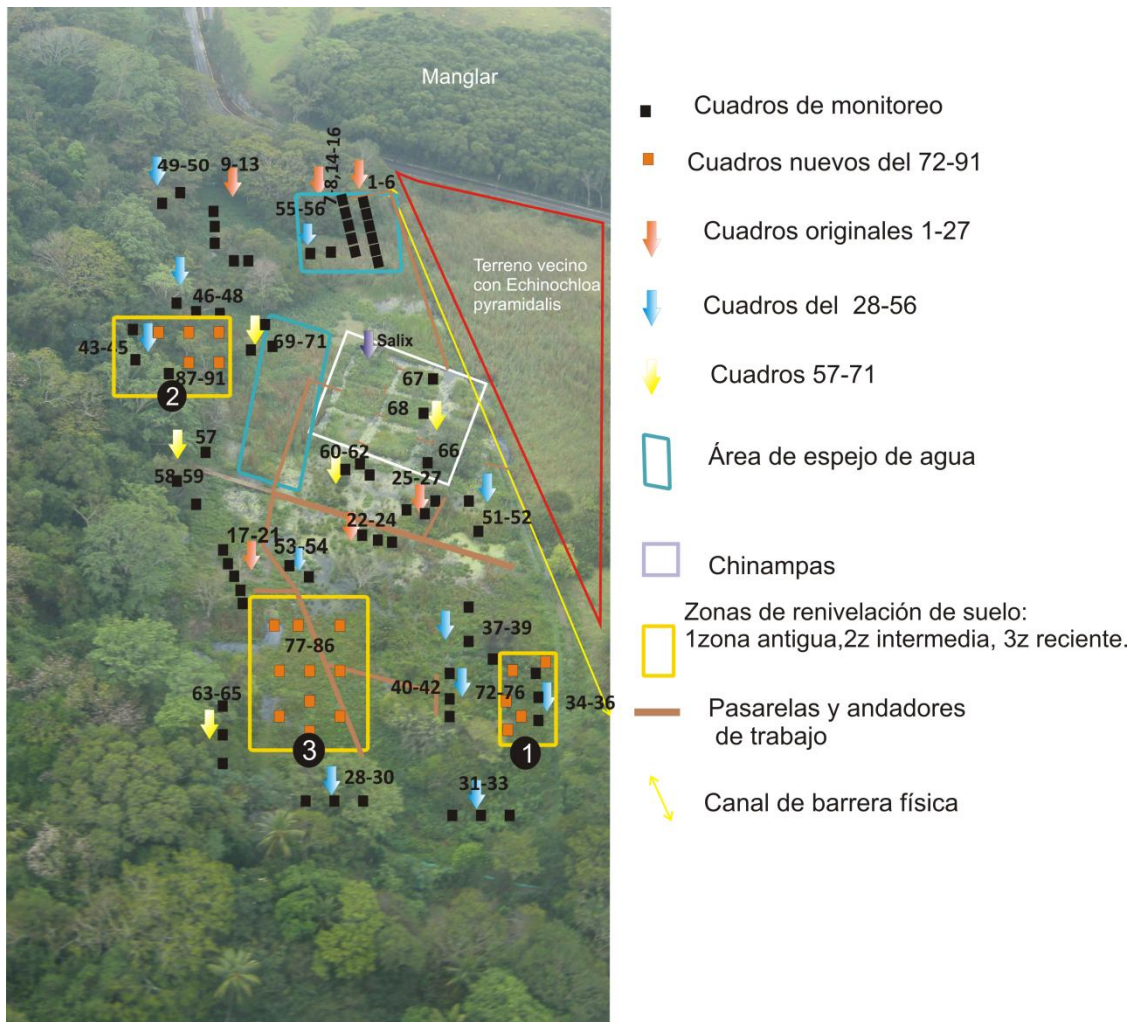
Cuadro 1. Cuadros permanentes marcados y estudiados en el área en restauración. Se indica el tratamiento al que fue sometido y las características de los mismos.

Cuadros	Características
1 Control (Echinochloa + Typha) 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> .
2 Echinochloa + Typha Cuadros: 7, 8, 14 al 16, 55 y 56	Áreas de intervención,, establecidos en un parche dominado por <i>E. pyramidalis</i> y en menor proporción <i>T. domingensis</i> .
3 Dalbergia Cuadros: 9 al 13, 49 y 50	Áreas de intervención, establecidos en un parche dominado por <i>Dalbergia browni</i> .
4 Echinochloa +Sagittaria Cuadros: 17 al 21, 53 y 54	Áreas de intervención, establecidos en un parche dominado por <i>E. pyramidalis</i> , <i>S. lancifolia</i> y <i>T. domingensis</i> .
5 Control Popal referencia Cuadros: 22 al 27, 51 y 52	Áreas de no intervención establecidas en el área dominada por vegetación de popal.
6 Pennisetum Cuadros 28 al 30	Área de intervención, parche dominado por <i>Pennisetum purpureum</i> .
7 Pennisetum Cuadros 31 al 33	Vegetación originalmente dominada por la gramínea <i>Pennisetum purpureum</i> . Área manejada con chapeo, fuego, aplicación de herbicida, extracción manual de rebrotes, disminución del nivel topográfico y trasplante de nativas.
8 Echinochloa 1 (norte) Cuadros: 34 al 36	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> .
9 Achrostichum 37 al 39 y 40 al 42	Vegetación originalmente dominada por <i>Achrostichum aureum</i> , <i>D. browni</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.
10 Echinochloa 2 (centro) Cuadros: 43 al 45	Vegetación originalmente dominada por <i>D. browni</i> <i>E. pyramidalis</i> . Área manejada con chapeo, aplicación de herbicida, fuego y cubierta temporal (11 meses) con hule negro.
11 Echinochloa 3 (centro) Cuadros: 46 al 48	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> .
12 Sagittaria (pozas) Cuadros: 57 al 59	Cuadros con vegetación de <i>S. lancifolia</i> , instalados en 2010 para cubrir áreas en el humedal.
13 Sagittaria (cerca de chinampas) Cuadros: 60 al 62	Cuadros con vegetación de <i>S. lancifolia</i> , instalados en 2010 para cubrir áreas del humedal.
14 Chinampas Cuadros: 66 al 68	Cuadros en chinampas, instalados en 2010.
15 Borde selva	Cuadros en el norte ubicados junto al borde, instalados en

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

Cuadros: 63-65	2010.
16 Tifal/Pontederia (espejo de agua) Cuadros: 69 al 71	Cuadros dominados con <i>P. sagittata</i> y <i>T. domingensis</i> en área de espejo de agua, instalados en 2010.
17 Renivelación 1 Cuadros: 72 al 76	Cuadros instalados en 2011 en zona de renivelación antigua.
18 Renivelación 3 Cuadros: 77 al 86	Cuadros instalados en 2011 en zona de renivelación reciente.
19 Renivelación 2 Cuadros: 87 al 91	Cuadros instalados en 2011 en zona de renivelación intermedia.



INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

4.2 Caracterización de propiedades fisicoquímicas de suelo y agua

Periódicamente, junto con el muestreo de la vegetación se obtuvieron los parámetros fisicoquímicos de suelo y agua en cada cuadro. Se midió el nivel del agua, la conductividad eléctrica, la salinidad y el pH del agua intersticial, así como el potencial de óxido-reducción (Eh) del suelo, la humedad del suelo y la densidad aparente del suelo. Se tomaron muestras de agua y suelo para su análisis posterior en laboratorio (amonio, fosfatos, nitratos) con técnicas estándar para suelos inundables. El nivel de agua se midió directamente con regla. Cuando el nivel de agua estuvo por debajo del suelo se hizo un orificio y se introdujo la regla para medir el nivel de agua bajo el suelo.

La conductividad, salinidad y pH se midieron en muestras de agua intersticial colectadas 15-20 cm debajo de la superficie del suelo aproximadamente a la mitad de la zona de raíces mediante un multiparamétrico (Ultrameter II 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 476406) y un voltímetro digital. 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 con tubo de cobre de un volumen conocido (176.71 cm³ y 214.49 cm³) 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), restando el valor de la caja. La densidad aparente se calculó dividiendo el peso seco (g) entre el volumen conocido. Para obtener la humedad volumétrica se obtuvo primero la humedad gravimétrica (%) y después se multiplicó por la densidad aparente.

$$\text{Humedad gravimétrica (\%)} = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{peso seco}}{\text{Peso seco}} * 100$$

$$\text{Humedad volumétrica (\%)} = \text{Humedad gravimétrica} * \text{densidad aparente}$$

4.3 Anfibios y reptiles

Para tener representada la variabilidad ambiental se seleccionaron 8 puntos de muestreo para recorridos y de 6 a 9 sitios para colocar trampas sumergidas, de acuerdo con la variación de la profundidad del agua en el humedal. Se realizaron registros visuales directos y registros fotográficos, registros de vocalizaciones de anuros y trampeo para la captura, marcado y liberación inmediata de organismos. Los avistamientos de anfibios, lacertilios y ofidios se hicieron en recorridos aleatorios diurnos y nocturnos en un radio de 30 m alrededor de los puntos de muestreo seleccionados, revisando los lugares que proporcionan cobertura a los organismos (envés de hojas, ramas, corteza, troncos y acumulación de vegetación, etc.). Para la captura se emplearon trampas tipo nasa (de 0.5 m y de 1 m de diámetro) acopladas a redes de desvío colocándolas en zonas con 0.3 a 1.5 m de profundidad del agua en los sitios seleccionados. Las

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

trampas permanecieron en un mismo sitio durante cada sesión de trampeo, y fueron revisadas en la mañana y en la tarde.

Para cada organismo capturado se registró: fecha, hora y sitio de avistamiento/captura, especie, sexo, peso, clase tamaño/edad y variables morfológicas de acuerdo con el tipo de organismo. Las tortugas fueron marcadas con una clave única por medio de pequeñas incisiones en las escamas marginales del caparazón y los cocodrilos fueron marcados con un pequeño corte en las crestas caudales. Esta técnica permite identificar a los individuos cuando son recapturados. Todos los organismos capturados se liberaron en el mismo sitio en donde fueron encontrados.

4.4 Avifauna

Se realizaron visitas con 4 puntos permanentes de muestreo a lo largo del humedal. El método utilizado para el registro de las especies fue la observación directa de las especies durante las horas de mayor actividad de las aves; (6:30 a 11:30 a.m y de 3:30 a 6 p.m). Las observaciones se realizaron mediante el uso de binoculares 10 x 50 y un telescopio de 30 x 70. La identificación se realizó con la ayuda de guías especializadas para asegurar la correcta identificación ([National Geographic 1987](#), [Peterson y Chalif 1989](#), [Howell y Webb 1995](#), [Sibley 2000](#)). Se analizó el popal por especies residentes y migratorias, a través de la identificación de las especies que están usando de manera directa el popal, ya sea como sitios de alimentación, anidación o pernocte. La obtención de estos datos se llevó a cabo mediante el uso de redes de niebla (4 en total, de 9 y 12 metros de largo por 2.10 de alto) en zonas caracterizadas por la presencia de aves en él.

4.5 Ictiofauna

Para el muestreo de ictiofauna se empleó una metodología pasiva de muestreo 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. Como las elaboradas con malla metálica (que es aquel 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 3 días. Además se tomaron parámetros ambientales como oxígeno disuelto, temperatura, conductividad con una sonda multiparamétrica YSI085, profundidad con una regla graduada en cm cuando las trampas tenían peces.

En el laboratorio se realizó la determinación taxonómica de las especies de peces empleando literatura específica para peces de agua dulce y salobre particularmente el trabajo de [Miller \(2005\)](#), así como la Base de datos digitales FishBase ([Froese y Pauly 2010](#)). Una vez determinada la especie, a cada individuo se le midió la longitud total y se pesó en una balanza digital Ohaus 3100 g X 0.01 g.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

4.6 Macroinvertebrados

Se ubicaron en el humedal seis sitios de muestreo, en lugares representativos del mismo y que coinciden con los cuadros de vegetación acuática considerada como representativa al inicio de la restauración y al final de la misma. Se estableció un sitio de referencia con *Echinochloa pyramidalis*, dentro en el borde del humedal (Cuadro 2).

Se establecieron tres períodos de muestreo (secas, lluvias y nortes), tomándose las muestras la mitad de cada temporada.

Las muestras de macroinvertebrados se colectaron con una red tipo "D" de 350 cm² aproximadamente y una abertura de malla de nylon de 500 micras (Merritt et al. 1996). La profundidad de la toma de muestras varió entre 10cm y 50cm. Las muestras se fijaron *in situ* con etanol al 96° y en laboratorio se limpiaron 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.

Cuadro 2. Sitio de muestreo de macroinvertebrados y tipos de vegetación en cada uno de ellos, al iniciar y al finalizar el proyecto.

Clave	Vegetación inicial	Vegetación final
Sitio 1	<i>Typha- Echinochloa</i>	<i>Typha domingensis</i>
Sitio 2	<i>Typha domingensis</i>	<i>Typha domingensis, Pontederia sagitatta</i>
Sitio 3	Inicio con <i>Dalbergia- Pontederia</i>	<i>Pontederia sagitatta</i>
Sitio 4	<i>Echinochloa pyramidalis, Typha domingensis</i>	<i>Sagittaria lancifolia, Elocharis insterstinca, Pontederia sagitatta.</i>
Sitio 5	<i>Sagittaria</i> (popal de referencia)	<i>Sagittaria lancifolia</i> (popal de referencia)
Sitio 6	Pastizal <i>Echinochloa pyramidalis</i>	<i>Echinochloa pyramidalis</i>

Para la identificación de los ejemplares colectados se utilizaron las claves propuestas por Borror et al. (1989), Merritt y Cummins (1996), Novelo-Gutiérrez (1997a, 1997b), McCafferty et al. (1997) y Contreras-Ramos (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) y Sandoval y Molina (2000), de la Lanza et al. (2000).

4.7 Estabilidad de agregados

El estudio de la dinámica de agregados se realizó en dos épocas del año (cálida y fría) para seis sitios de humedales (el humedal en restauración y otros cinco tipos de humedales tres conservados y dos perturbados). En cada sitio se tomaron entre cuatro a seis muestras de suelo de los primeros 20 cm de profundidad. Al mismo tiempo se tomaron muestras de suelo no alteradas para la determinación de la densidad aparente. Aproximadamente 1000 g de suelo fueron secados al aire y posteriormente se les determinó la estabilidad de agregados en laboratorio para las

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

siguientes fracciones de tamaños de agregados: 6.36-4.76, 4.76-3.36, 3.36-2.00, 2.00-1.00, 1.00-0.50, 0.50-0.25 y < 0.25. En cada fracción de agregados se determinó el contenido de carbono y nitrógeno.

4.8 Procesos de nitrificación y desnitrificación

En esta segunda etapa del proyecto se planteó medir las velocidades reales de nitrificación y desnitrificación que ocurren en campo. Se realizaron 12 muestreos de febrero de 2011 a diciembre de 2012, cada dos meses y se calcularon las velocidades de desnitrificación y las de nitrificación.

Para determinar la tasa de desnitrificación en los suelos de humedales, se tomaron 6 perfiles de suelos intactos en cada sitio de muestreo con tubos de PVC de 1" de ancho y 25 cm de alto, los cuales fueron insertados en el suelo del humedal a 10 cm de profundidad, posteriormente se utilizó la técnica de bloqueo de acetileno descrita por Tiedje (1982). Este método consiste en inyectar acetileno al suelo para bloquear la conversión bacteriana de N_2O (Óxido nitroso) a N_2 (Nitrógeno atmosférico) durante la desnitrificación. Los tubos de PVC, se sellaron en su parte inferior con tapas de hule y silicón, y en la parte superior, con una tapa de PVC y un septo y silicón. Cabe mencionar que se tomaron los datos de campo y si los suelos estaban inundados en el momento del muestreo, se tomó agua del humedal y se inundaron los perfiles intactos en el laboratorio; si no estaban inundados se dejaron de esa manera. Una vez sellados los tubos se reemplazó 10% del volumen de los mismos, por acetileno y se pusieron a incubar en la oscuridad a la temperatura que se registró en el suelo durante el muestreo. Posteriormente, se tomaron muestras de gas en viales herméticamente cerrados y previamente evacuados a diferentes tiempos (0, 8, 12, 16, 20, 24, 28 y 32 horas) y se analizó N_2O por cromatografía de gases. La desnitrificación se calcula a partir del aumento de N_2O con acetileno y sin acetileno, por lo que también se corrieron tubos bajo las mismas condiciones sin la inyección de acetileno. Las concentraciones de óxido nitroso se miden mediante un cromatógrafo de gases (Clarus 500 gas Perkin Elmer), equipado con un detector de captura de electrones y una columna Porapak de 1 m de longitud. El cual opera mediante las siguientes condiciones: Temperatura del horno=55°C, temperatura de inyector=95°C, temperatura detector=360°C a un, utilizando nitrógeno como gas acarreador, flujo de 25ml/min.

Para determinar la tasa de nitrificación en los humedales, se tomaron 6 muestras de suelo intacto a 10 cm de profundidad, en cada uno de los humedales. Para ello se utilizaron tubos de 20 cm de PVC de 4", los cuales después de ser extraídos se taparon de la parte inferior. Las muestras se colocaron en una hielera y se transportaron al laboratorio y almacenaron a 4 °C hasta que se montó el experimento (menos de 1 semana). Los perfiles se ponen a incubar por 30 días a la temperatura que se registró en el suelo durante el muestreo. Se toman muestras de suelo al día cero y al día 30. Posteriormente se extraen muestras de suelo, con agua para determinarles concentraciones de NO_3 y NH_4 mediante un cromatógrafo de iones modelo DIONEX ICS-1100, operando bajo las siguientes condiciones: temperatura=30°C, amperaje=7mA, presión=1800-1967psi y un volumen de inyección de 5µL. Utilizando como efluente para aniones 4.5mM Na_2CO_3 /0.8mM $NaHCO_3$ y para cationes ácido metasulfónico.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

Después de 30 días, se tomaron muestras de los perfiles intactos incubados y se extrajeron nuevamente para analizar NO_3^- y NH_4^+ . Las tasas de nitrificación se calcularon como el cambio neto en NH_4^+ y NO_3^- , en comparación con los datos iniciales (Lavoie y Bradley 2003, Bai et al. 2011):

$$\text{Nitrificación} = \frac{\text{NO}_3^- - \text{N}}{\text{NO}_3^- - \text{N} + \text{NH}_4^+ - \text{N}}$$

5 RESULTADOS

5.1 Acciones de manejo

Antes de presentar los resultados generales obtenidos del monitoreo, se describirán los resultados de algunas de las acciones de manejo aplicadas en la restauración del humedal, abordadas durante este periodo de trabajo.

5.1.1 Control de *Typha domingensis*

Debido al incremento de cobertura y expansión de *Typha domingensis* en el humedal, el control de esta especie fue uno de los objetivos de este proyecto, ya que se encontraba dominando superficies cada vez más grandes y distribuida en puntos en todo el humedal. En el primer semestre se dio la tarea de definir las zonas donde permanecería la especie, en los extremos del humedal (y en el terreno del ganadero vecino) y las zonas para su eliminación. Se procedió a eliminarla primero en la zona sur en donde están los tratamientos de Control Typha + Echinochloa, quedando solo en los cuadros de monitoreo, luego en la zona norte (junto a los cuadros 28-30 y 31-33, tratamiento Pennisetum) y al final en el centro para lograr la creación de un espejo de agua que fue otro de los objetivos. Se logró eliminar esta especie en gran parte del humedal y crear un gran espejo de agua al lado de la pasarela principal hasta la zona sur junto a la compuerta (Figuras 3 y 4).

5.1.2 Limpieza de canales y espejo de agua

Una de las actividades constantes que se llevó a cabo fue dar mantenimiento al espejo de agua que ya se había construido así como a los canales junto a las chinampas y el canal de barrera física, mediante la limpieza de especies flotadoras. El espejo de agua permitió el crecimiento de la enraizada emergente *Nymphae ampla* así como la utilización del espejo de agua por las aves, reptiles y peces. Con los cambios estacionales como es el periodo de secas, el espejo de agua se secó y durante este periodo (en mayo del 2011 y junio 2012) se aprovechó para excavar una parte del espejo de agua para asegurar su permanencia, mientras que en la zona que no se excavó empezaron a crecer las especies pioneras en la sucesión como Cyperaceas. Es así como solo quedó el espejo de agua de la zona sur y otro junto a la pasarela principal. En la zona entre estos dos espejos, se dejó que la vegetación se estableciera de acuerdo a la sucesión de especies, ya que el esfuerzo que se tendría que hacer para dar suficiente profundidad es muy grande para hacerlo con mano de obra. A la fecha las especies que se encuentran establecidas en la mayor parte de la zona

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

son las nativas *Sagittaria* y *Pontederia* y la cyperacea *Eleocharis mutata*. Cabe destacar que aunque se dejó a que crecieran las especies, se extraía regularmente rebrotes de *T. domingensis*.

5.1.3 Eliminación y control de *Echinochloa pyramidalis*

En algunas áreas del humedal que resultó que todavía el nivel del suelo era alto, en la época de secas el pasto invasor *Echinochloa pyramidalis* tuvo rebrotes y logró su expansión en algunas zonas, principalmente en la zona norte del humedal, así que otro de los objetivos fue la remoción de suelo en tres zonas para bajar el nivel del mismo y así lograr tener mas inundación y evitar la expansión del pasto.

En la zona norte donde el pasto reinvasió mas, lo primero que se hizo fue chapear, se colocó un hule negro para matar el rizoma; después de unos meses se quitó el hule se removió el suelo 30-40 cm y se dejó que rebrotaran las plantas. En las otras dos zonas sólo se chapeó antes de la remoción. De acuerdo a la fecha en que se hizo la remoción se les denominó zona de renivelación 1, 2 y 3 o zona antigua, intermedia y reciente respectivamente (figura 5). A la fecha se logró la eliminación del pasto en las zonas, después solo hubo rebrotes puntuales que se extraían manualmente. Así mismo se instalaron cuadros de monitoreo en las tres zonas de renivelación los cuales se estuvieron monitoreando junto con los demás cuadros.

Para controlar la reinvasión del terreno vecino, se dió mantenimiento a la barrera física y vegetal con diversas actividades como el chapeo del pasto en la orilla del canal, la excavación del canal para dar mayor profundidad, la limpieza de los canales, la siembra de *Pachira aquatica* para lograr una barrera de sombra contra el pasto.

5.1.4 Andadores de trabajo

La pasarela de trabajo que se construyó en el 2009, funciona como pasarela ecoturística. En el presente proyecto se le dio mantenimiento, además que se construyeron nuevos andadores de trabajo para conectar puntos de muestreo y evitar dañar la vegetación mediante el pisoteo.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.



Figura 3. Eliminación de *Typha domingensis* en el área destinada para espejo de agua en el humedal en restauración.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

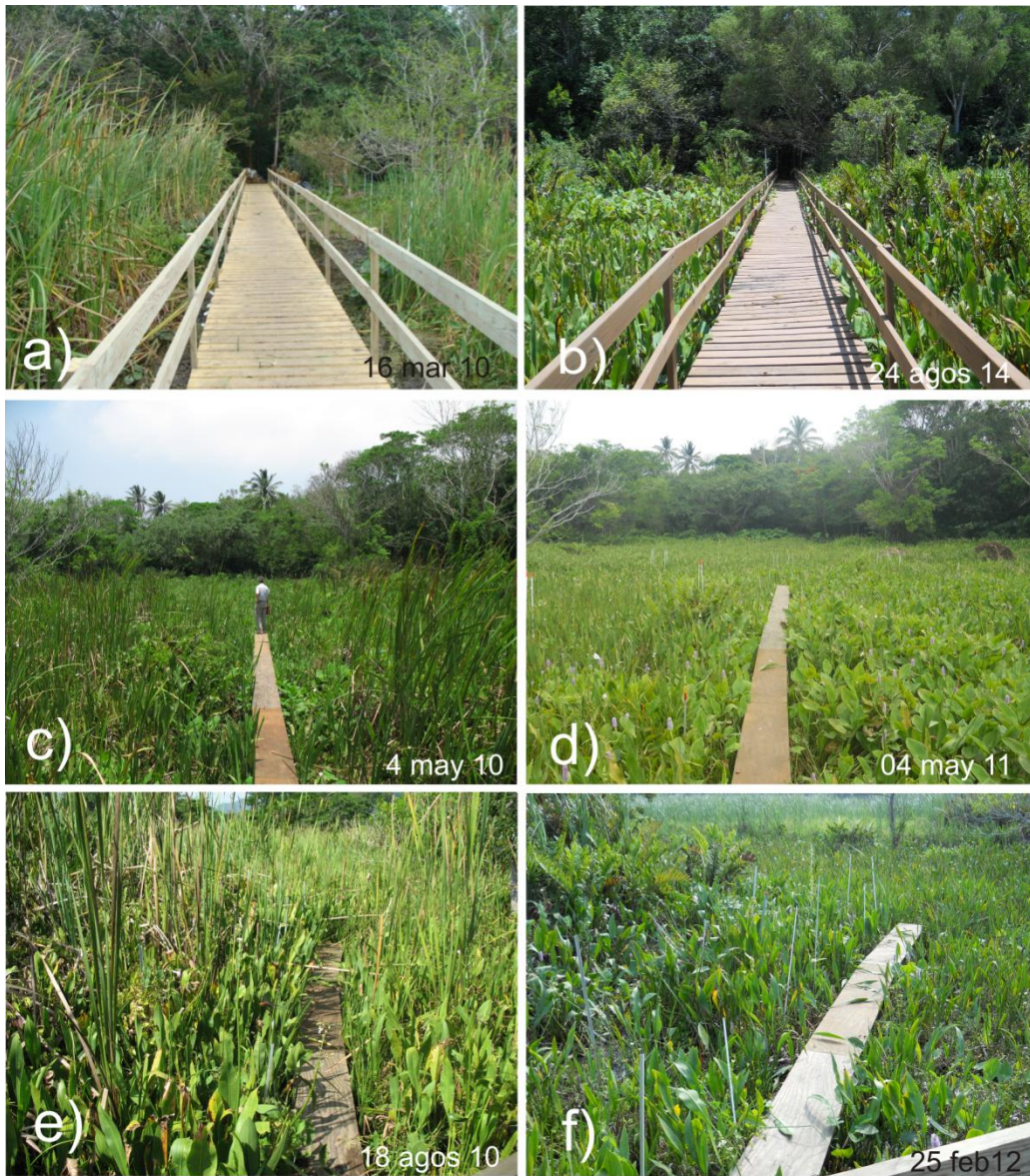


Figura 4. Áreas del humedal en donde se presentaba *Typha domingensis* en el 2010. Se muestran las mismas áreas después del control y eliminación de esta especie, dos años después.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.



Figura 5. Zona norte del humedal con rebrotes de *Echinochloa pyramidalis* (izquierda) y después de la renivelación de la zona (centro y derecha).

5.2 Vegetación

Durante el proceso de restauración se observa un incremento en el número de especies registradas en los cuadros. Comparado con el número de especies al inicio en 2007 aumentó más del 50% (cuadro 3).

La dominancia de especies ha variado a lo largo del año. A inicios del 2010, si bien las especies características de popales como *Sagittaria* y *Pontederia* ya se encontraban dentro de las primeras más importantes, *Typha domingensis*, la cual había logrado extenderse en todo el humedal, se encontraba en febrero de 2010 como la segunda más importante. Poco a poco fue bajando su dominancia hasta agosto 2014, cuando se encuentra en el séptimo lugar (Figura 6).

En lo correspondiente al pasto invasor *Echinochloa pyramidalis*, en febrero de 2010 estaba en el último lugar de las primeras diez especies dominantes, y en octubre de ese mismo año vuelve a aparecer en el mismo lugar. Sin embargo en todos los siguientes monitoreos ya no se observa entre las primeras diez. Su valor de importancia en febrero de 2010 fue de 5.7 mientras que en agosto de 2014 bajó a 3.68. *Sagittaria lancifolia* se ha mantenido dentro de los tres primeros lugares, mientras que *Pontederia sagittata* en algunos años bajó al sexto lugar, y en agosto de 2014 se encuentra como la tercera en importancia. Se puede observar la disminución de cobertura del pasto invasor y de *Typha domingensis* y el aumento de cobertura de *Sagittaria lancifolia* y *Pontederia sagittata* (Figura 7). En el caso de *Dalbergia brownei* y *Pennisetum purpureum*, otras de las especies invasoras al inicio del proyecto, se han mantenido erradicadas a todo lo largo de los siete años.

Sin embargo en los últimos muestreos se observó un aumento de cobertura del pasto nativo *Leersia ligularis*, principalmente en la zona norte del humedal en el terraplén que colinda con el terreno vecino y en las zonas de renivelación antigua e intermedia. Otra de las especies que ha incrementado su cobertura del 2010 a la fecha es el helecho *Achrostichum aureum*, también nativa. Se ha observado su rápido crecimiento y expansión en algunos cuadros del norte principalmente.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

Cuadro 3. Lista de especies presentes en los cuadros de monitoreo en el humedal en restauración.

No.	Nombre científico	Familia
1	<i>Achrostichum aureum</i> L.	Pteridaceae
2	<i>Annona glabra</i> L.	Annonaceae
3	<i>Asclepias curassavica</i> L.	Asclepidaceae
4	<i>Azolla</i> sp.	Salvinaceae
5	<i>Boehmeria cylindrica</i> L.	Urticaceae
6	<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	Burseraceae
7	<i>Calopogonium caeruleum</i> (Benth.) Hemsley	Fabaceae
8	<i>Cedrella odorata</i> L.	Meliaceae
9	<i>Centrosema pubescens</i> Benth.	Fabaceae
10	<i>Chara</i> sp.	Characeae
11	<i>Commelina</i> sp.	Commelinaceae
12	<i>Cyperus articulatus</i> L.	Cyperaceae
13	<i>Cyperus digitatus</i> Roxb.	Cyperaceae
14	<i>Cyperus ochraceus</i> Vahl	Cyperaceae
15	<i>Dalbergia brownei</i> (Jacq.) Schinz	Fabaceae
16	<i>Echinochloa pyramidalis</i> (Lam.) Hitchc. & A. Chase	Poaceae
17	<i>Eclipta prostrata</i> (L.) L.	Asteraceae
18	<i>Eleocharis geniculata</i> (L.) Roemer & Schultes	Cyperaceae
19	<i>Eleocharis interstincta</i> (L.) Roem & Schult.	Cyperaceae
20	<i>Eleocharis mutata</i> (L.) Roem & Schult.	Cyperaceae
21	<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb	Fabaceae
22	<i>Eupatorium odoratum</i> L.	Asteraceae
23	<i>Ficus</i> sp.	Moraceae
24	<i>Fuirena simplex</i> Vahl	Cyperaceae
25	<i>Hydrocotyle bonariensis</i> Lam.	Araliaceae
26	<i>Hydrocotyle</i> sp.	Araliaceae
27	<i>Hymenocallis littoralis</i> (Jacq.) Salisb.	Amaryllaceae
28	<i>Ipomoea tiliacea</i> (Willd.) Choisy	Convolvulaceae
29	<i>Kosteletzkya depressa</i> (L.) O.J. Blanch., Fryxell & D.M. Bates	Malvaceae
30	<i>Leersia ligularis</i> Trin.	Poaceae
31	<i>Lemna</i> aff. <i>minor</i> *	Lemnaceae
32	<i>Limnocharis flava</i> (L.) Buchenau	Alismataceae
33	<i>Lippia nodiflora</i> (L.) Michaux	Verbenaceae
34	<i>Lobelia cardinalis</i> (L.)	Campanulaceae
35	<i>Ludwigia octovalvis</i> (Jacq.) Raven	Onagraceae
36	<i>Malachra capitata</i> (L.) L.	Malvaceae
37	<i>Melothria pendula</i> L.	Cucurbitaceae

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

38	<i>Merremia umbellata</i> (L.) Hallier f.	Convolvulaceae
39	<i>Mikania micrantha</i> Kunth	Asteraceae
40	<i>Mitreola petiolata</i> (Walter ex J.F. Gmel.) Torr. & A. Gray	Loganiaceae
41	<i>Momordica charantia</i> L.	Cucurbitaceae
42	<i>Nectandra salicifolia</i> (Kunth) Nees	Lauraceae
43	<i>Neptunia plena</i> L.	Mimosaceae
44	<i>Neurolaena lobata</i> (L.) R. Br exCass.	Asteraceae
45	<i>Nymphaea ampla</i> (Salisb.) DC.	Nymphaeaceae
46	<i>Oxycaryum cubense</i> (Poepp. & Kunth) Lye	Cyperaceae
47	<i>Pachira aquatica</i> Aubl.	Malvaceae
48	<i>Paspalum conjugatum</i> P.J. Bergius	Poaceae
49	<i>Passiflora biflora</i> Lam.	Passifloraceae
50	<i>Piper</i> sp.	Piperaceae
51	<i>Pistia stratiotes</i> L.*	Araceae
52	<i>Pluchea carolinensis</i> (Jacq.)G.Don	Asteraceae
53	<i>Pluchea odorata</i> (L.) Cass.	Asteraceae
54	<i>Pontederia sagittata</i> C. Presl	Pontederiaceae
55	<i>Portulaca oleracea</i> L.	Portulacaceae
56	<i>Rhynchospora colorata</i> (L.) H. Pfeiff	Cyperaceae
57	<i>Sagittaria lancifolia</i> L. subsp. <i>media</i> (Michelin) Bogin	Alismataceae
58	<i>Salvinia</i> aff. <i>molesta</i> *	Salvinaceae
59	<i>Solanum rudepannum</i> Dunal	Solanaceae
60	<i>Spirodela</i> aff. <i>polyrhiza</i> *	Araceae
61	<i>Stemmadenia obovata</i> K. Schum.	Apocynaceae
62	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC.	Bignoniaceae
63	<i>Thalia geniculata</i> L.	Marantaceae
64	<i>Typha domingensis</i> Pers.	Typhaceae
65	<i>Utricularia</i> sp.	Utriculariaceae
66	<i>Xanthosoma robustum</i> Schott	Araceae

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

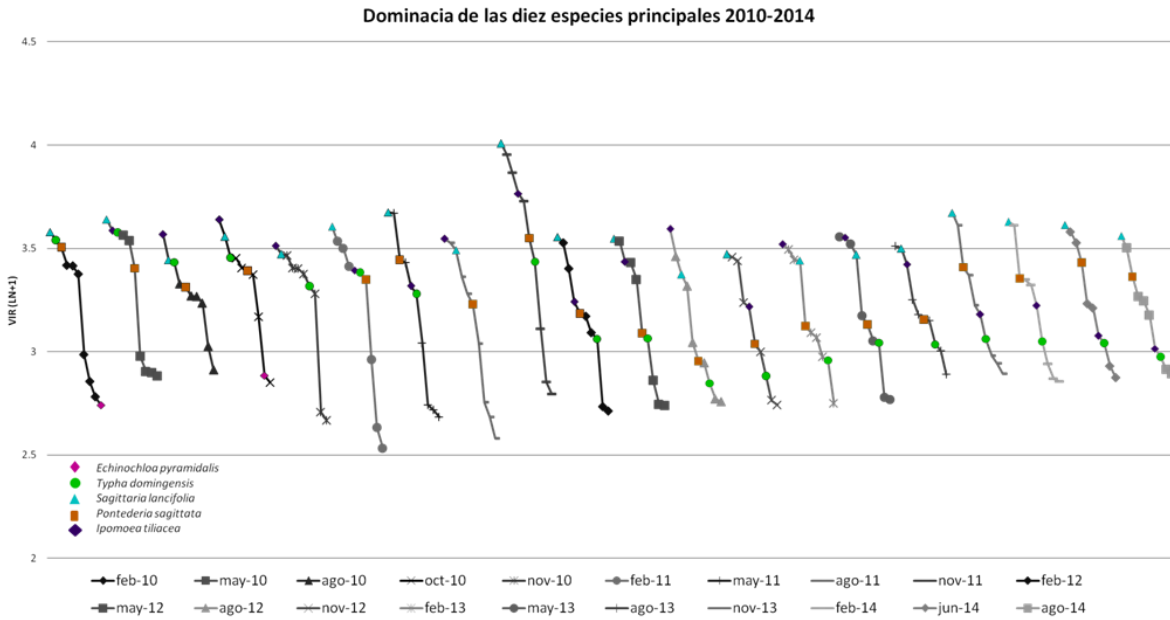


Figura 6. Dominancia de las diez especies principales en el humedal en restauración en el período de 2010 a 2014.

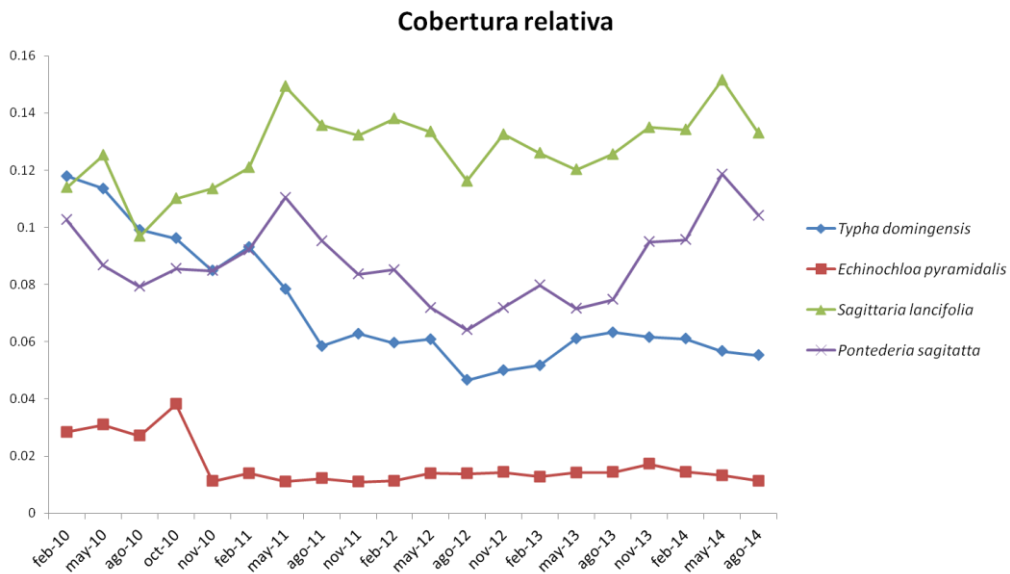


Figura 7. Cobertura relativa de las principales especies por su valor de importancia y de las especies invasoras a través del tiempo.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

5.3 Parámetros fisicoquímicos

Se tomaron los parámetros fisicoquímicos del suelo y del agua intersticial, en cada cuadro de monitoreo de los diferentes tratamientos, así como en los cuadros colocados después en diferentes zonas del humedal. Ello tuvo como objeto tratar de cubrir todas las zonas y sus posibles diferencias, así como las variaciones a través del tiempo. Los cuadros se acomodaron de acuerdo al tratamiento como se muestra en el siguiente cuadro (cuadro 4).

Cuadro 4. Cuadros de monitoreo y tratamiento aplicado para los análisis de los parámetros fisicoquímicos.

Tratamiento	Cuadros
1 Control (Typha + Echinochloa)	1 a 6
2 Typha + Echinochloa	7, 8, 14-16, 55, 56
3 Dalbergia	9-13, 49, 50
4 Echinochloa +Sagittaria	17-21, 53, 54
5 Control Popal referencia	22-27, 51, 52
6 Pennisetum	28-30, 31-33
7 Echinochloa 1 (norte)	34-36
8 Achrostichum	37-39, 40-42
9 Echinochloa 2 (centro)	43-45, 46-48
10 Sagittaria (pozas)	57-59
11 Sagittaria (cerca de chinampas)	60-62
12 Chinampas	66-68
13 Borde selva	63-65
14 Tifal/Pontederia (espejo de agua)	69-71
15 Renivelacion 1	72-76
16 Renivelación 3	77-86
17 Renivelación 2	87-91

5.3.1 Nivel de agua

El nivel de agua mostró cambios entre las temporadas, principalmente con respecto a la estación de secas, ya que éstas se presentaron fuertemente en mayo de 2011 y mayo de 2012 mientras que en los demás meses se ha mantenido inundado o saturado. Estas fluctuaciones permiten identificar el hidropereodo que presenta el humedal.

Así mismo, en el humedal hay algunas variaciones entre los tratamientos. Los que mayormente se encuentran inundados corresponden a los que se encuentran en el espejo de agua de la zona sur (1 Control Typha + Echinochloa y el 2. Typha + Echinochloa) y los que encuentran con menor inundación en todas las temporadas son los tratamientos de 6. Pennisetum y 13. Borde selva, que se localizan en la zona norte, hacia el este junto a la duna (Figura 8).

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

Cabe destacar que en algunas temporadas y debido a las actividades realizadas en ese momento fue necesario regular la compuerta. En el caso de secas se abrió para asegurar que se mantuviera seco y poder realizar la renivelación de las zonas y del espejo de agua; también se cerró en lluvias para asegurar la permanencia de la inundación en el caso de la extracción del pasto invasor, de *Typha* y en el último periodo del pasto nativo *Leersia ligularis*, para asegurar la reducción de su población.

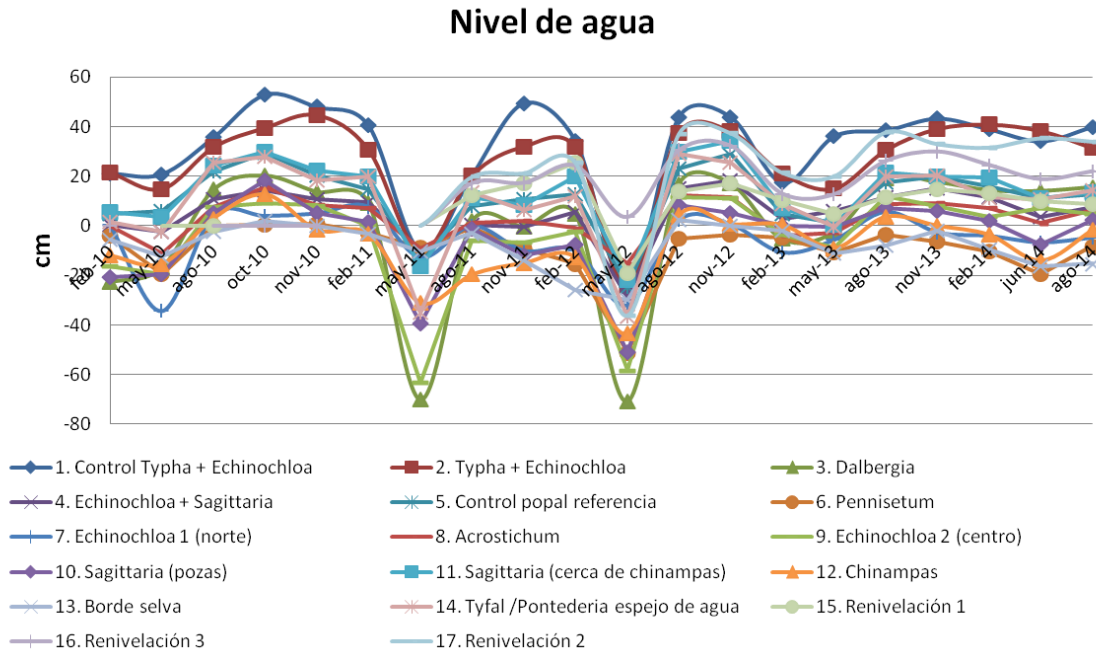


Figura 8. Nivel de agua por tratamiento durante el proceso de restauración del humedal.

5.3.2 Salinidad, conductividad y pH del agua

La salinidad se mantiene en rangos de agua dulce. Los valores relativamente más altos se registraron en el tratamiento 1. Control Typha + Echinochloa y el 2. Typha + Echinochloa, los cuales se localizan en la zona sur junto a la compuerta y se encuentran comunicados con el manglar por lo que esto puede explicar la variación de la salinidad, debido a que hay entrada de agua del manglar al popal (Figura 9).

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

Salinidad

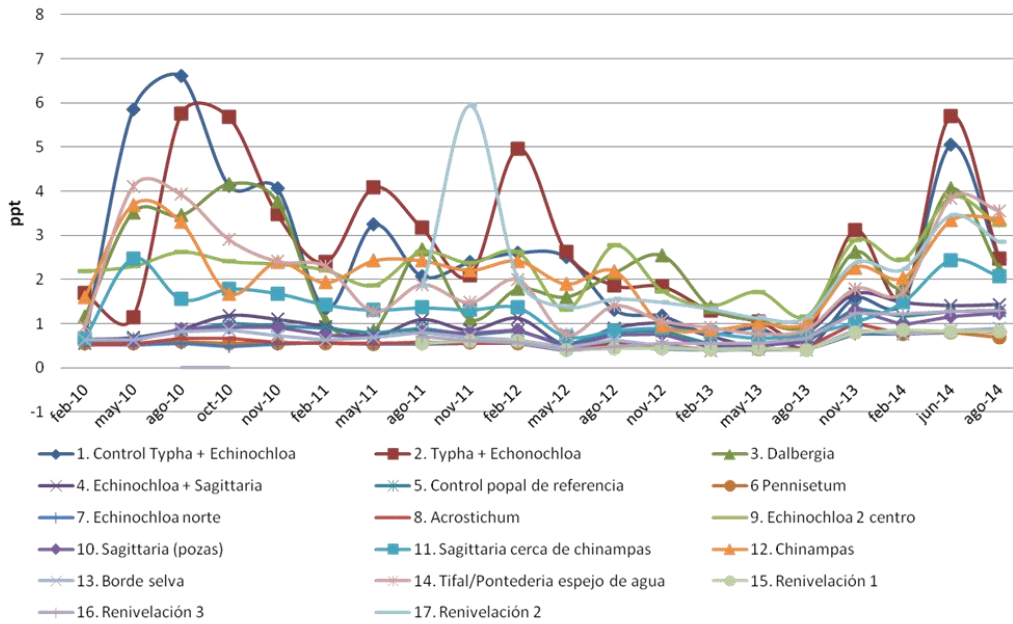


Figura 9. Salinidad por tratamiento durante el proceso de restauración.

La conductividad no varió mucho solamente se presentan algunos picos en tres de los tratamientos, los cuales se encuentran cerca de la compuerta, que al igual que la salinidad puede deberse a la comunicación que hay con el manglar (Figura 10).

Conductividad

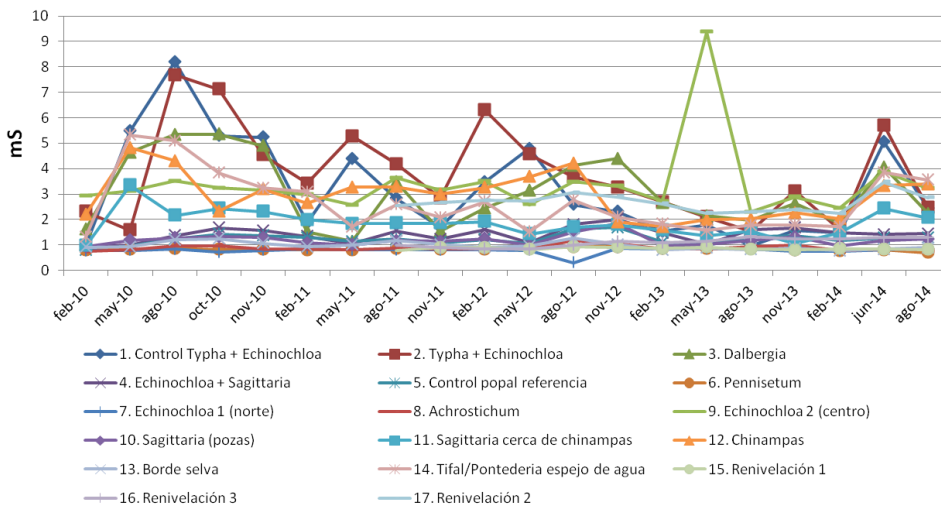


Figura 10. Conductividad por tratamiento durante el proceso de restauración.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

El pH se mantiene en valores neutros en general en todos los tratamientos. Se muestra un ligero incremento en los meses de 2013 y vuelve a bajar en 2014 (Figura 11).

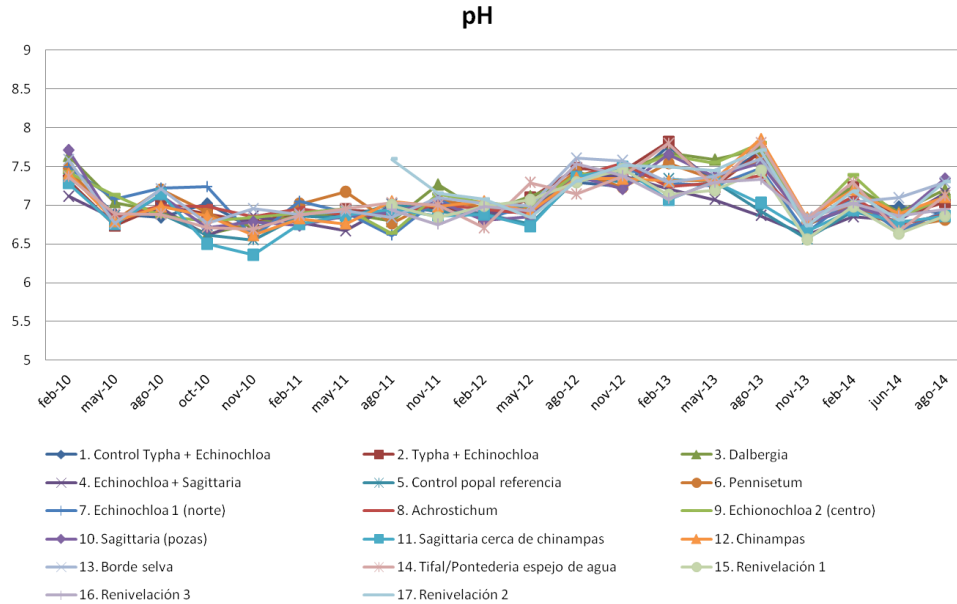


Figura 11. Valores de pH por tratamiento obtenidos durante el proceso de restauración.

5.3.3 Potencial rédox , densidad aparente y humedad volumétrica del suelo

Los valores de potencial rédox muestran algunas variaciones entre los monitoreos. Entre los más notables se presentaron en los meses de mayo 2011, mayo 2013 y agosto 2014. Entre los tratamientos los valores más bajos son los que localizan en la zona sur del espejo de agua (Control 1. Echinochloa+ Typha y Typha + Echinochloa) y los más altos en los tratamientos de Dalbergia y Pennisetum (Figura 12).

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

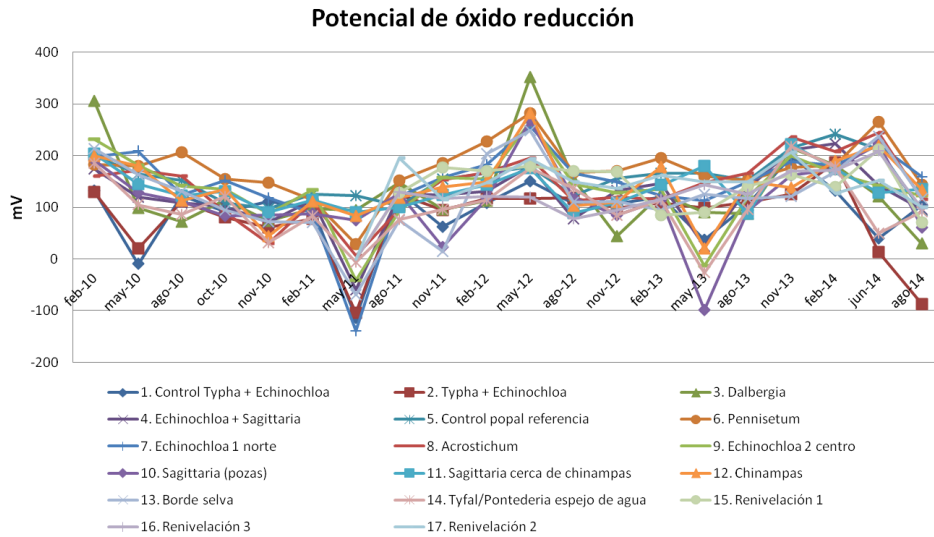


Figura 12. Potencial de óxido- reducción por tratamiento durante el proceso de restauración.

La densidad aparente presenta algunas variaciones entre los tratamientos, los rangos van de 0.09 a 1.3 g cm⁻³. La zona de renivelación 2 presenta los valores más altos, después le siguen los tratamientos de Dalbergia, Echinochloa 2 (centro), Sagittaria (pozas), Borde selva y Renivelación 3. Los cuales son suelos más arenosos y con menos materia orgánica. En cambio los valores más bajos se presentan en las zonas que presentan más materia orgánica y que se mantienen mayormente inundados y con vegetación de Pontederia, Sagittaria y Typha, éstos se presentan en los tratamientos de Control popal referencia y Sagittaria cerca de chinampas. Todos los valores se mantienen dentro de los rangos de los suelos de humedales (Figura 13).

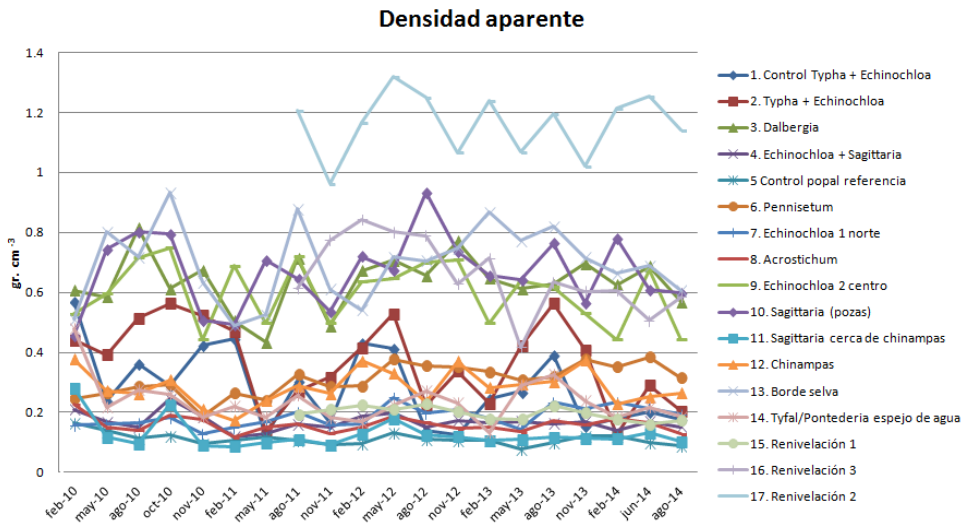


Figura 13. Densidad aparente por tratamiento durante el proceso de restauración.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

Se presentaron valores de humedad mayores al 50% en todos los monitoreos, así también se observa un ligero aumento en cada monitoreo conforme a las fechas. Se muestran algunas zonas que siempre presentan mayor humedad como el control popal de referencia, control Typha + Echinochloa, Sagittaria cerca de chinampas, mientras que hay zonas con menor humedad como Dalbergia, Echinochloa 2 (centro), Borde selva y renivelación 2. Esta variable está inversamente relacionada con la densidad aparente, donde la densidad aparente es mas alta, la humedad es mas baja (Figura 14).

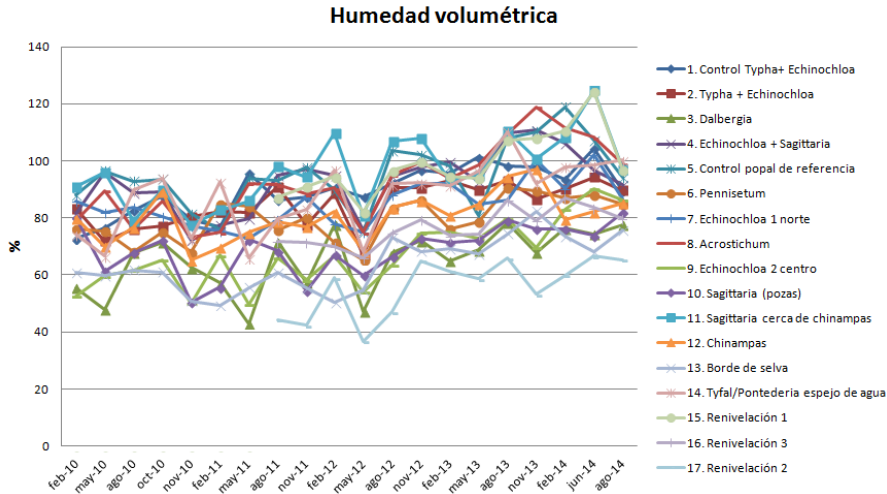


Figura 14. Humedad volumétrica por tratamiento durante el proceso de restauración.

5.3.4 Nutrientes agua y suelo

Los nutrientes en agua intersticial que se analizaron fueron nitrógeno amoniacal, fósforo de fosfatos y nitratos. La concentración de nitrógeno amoniacal en general muestra valores menores a 100 μM , con excepción de un pico que se presenta en octubre de 2010, en el tratamiento de Dalbergia. El tratamiento Borde selva muestra valores mas altos que los demás tratamientos en los últimos muestreos (Figura 15). La concentración de fósforo de fosfatos se encuentra en valores menores de 3 μM y en general presenta valores menores de 1 μM (Figura 16). En comparación con los valores presentados en diciembre de 2008 (10 μM) se observa una disminución de este nutriente en el agua intersticial. Los nitratos presentan valores bajos en casi todos los tratamientos y muestreos, a diferencia de dos picos que se observan en agosto de 2013 en el tratamiento Echinochloa 1 (norte) y otro en agosto 2010 en el tratamiento de Tifal/Pontederia (Figura 17).

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

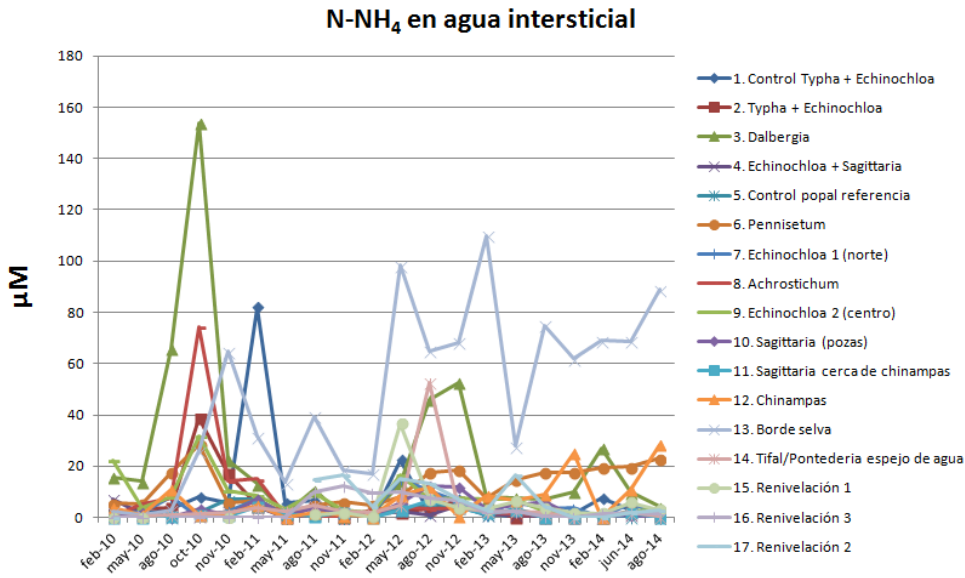


Figura 15. Concentración de nitrógeno amoniacal en agua intersticial por tratamiento durante el proceso de restauración.

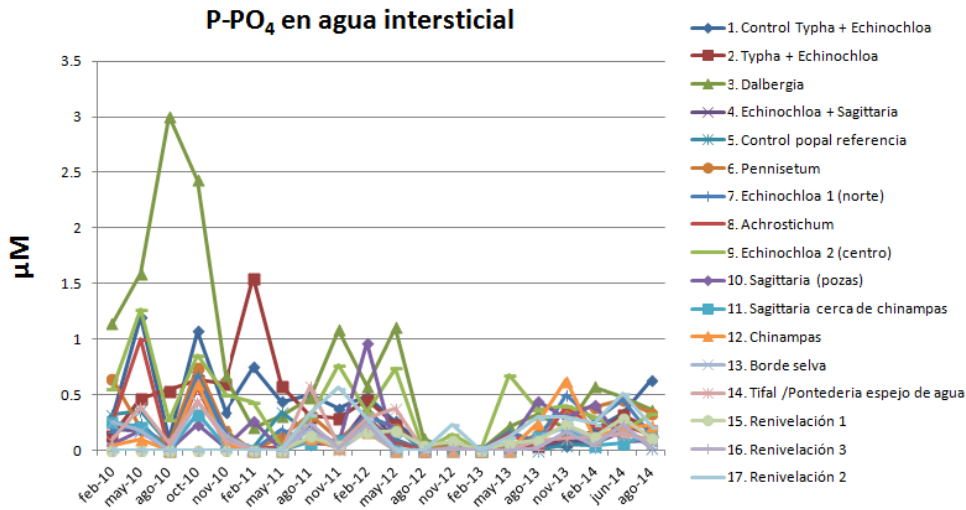


Figura 16. Concentración de fósforo de fosfatos en agua intersticial por tratamiento durante el proceso de restauración.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

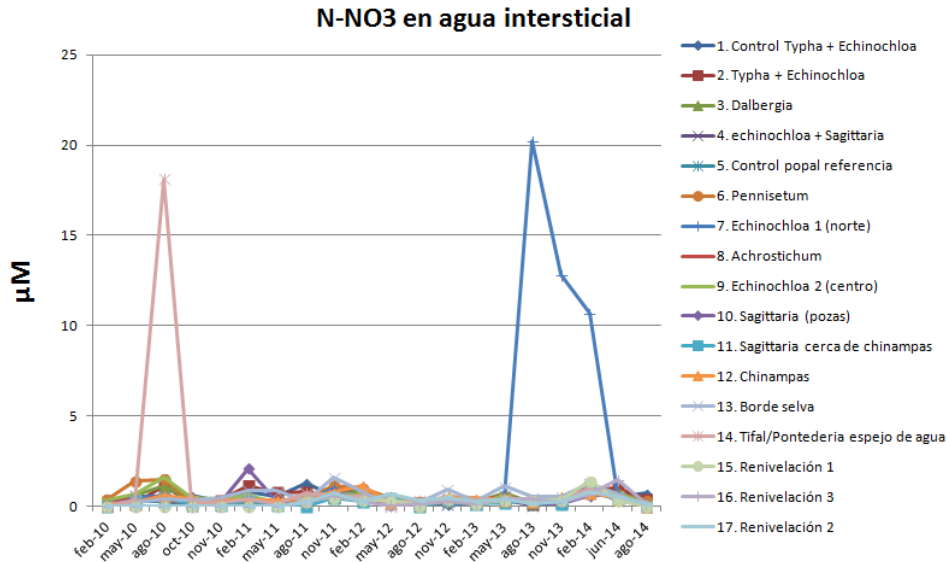


Figura 17. Concentración de nitratos en agua intersticial por tratamiento durante el proceso de restauración.

En los nutrientes del suelo se observa una disminución de la concentración de amonio en el tiempo, con un pico en agosto 2012 y febrero 2013 (Figura 18). Lo mismo se observa en la concentración de fosforo de fosfatos, ya que hay una ligera disminución en el tiempo con un pico en febrero de 2013 (Figura 19). En el caso de los nitratos presenta valores menores a $40 \mu\text{g/g}$ en la mayoría de los años con excepción de mayo 2013, donde se observa un pico en el tratamiento Tifal/Pontederia (Figura 20).

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

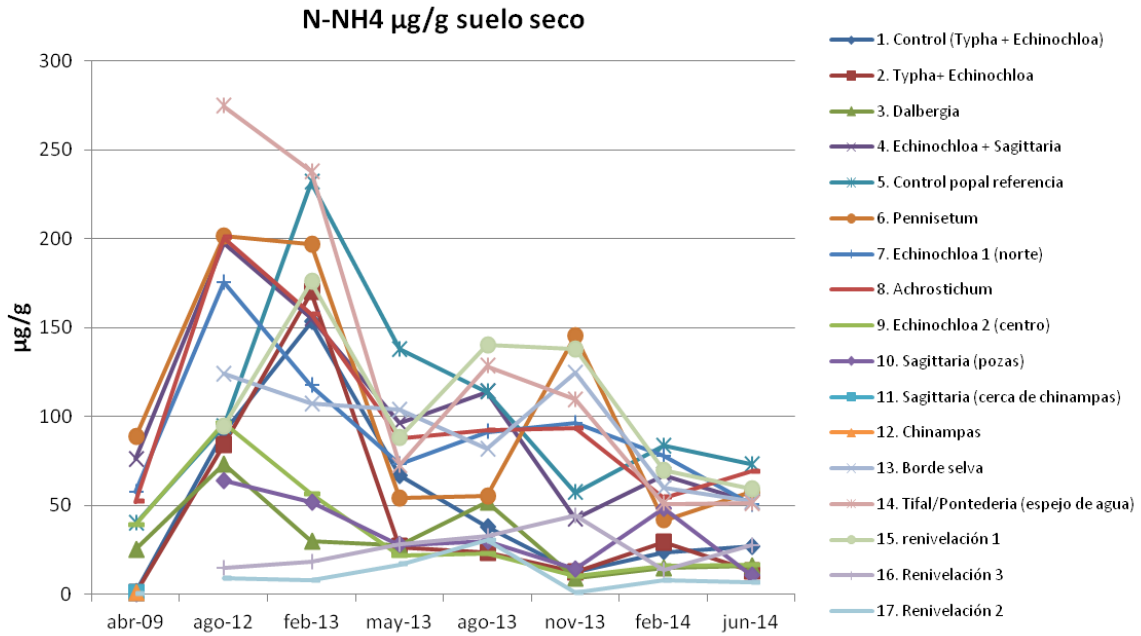


Figura 18. Concentración de nitrógeno amoniacal en el suelo, por tratamiento durante el proceso de restauración.

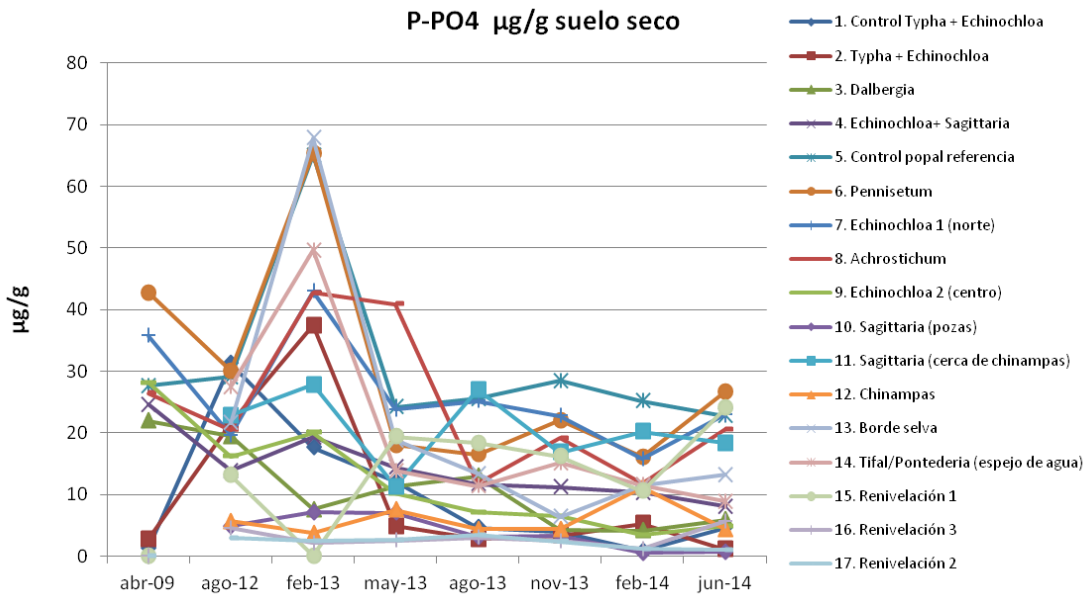


Figura 19. Concentración de fósforo de fosfatos en el suelo por tratamiento durante el proceso de restauración.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

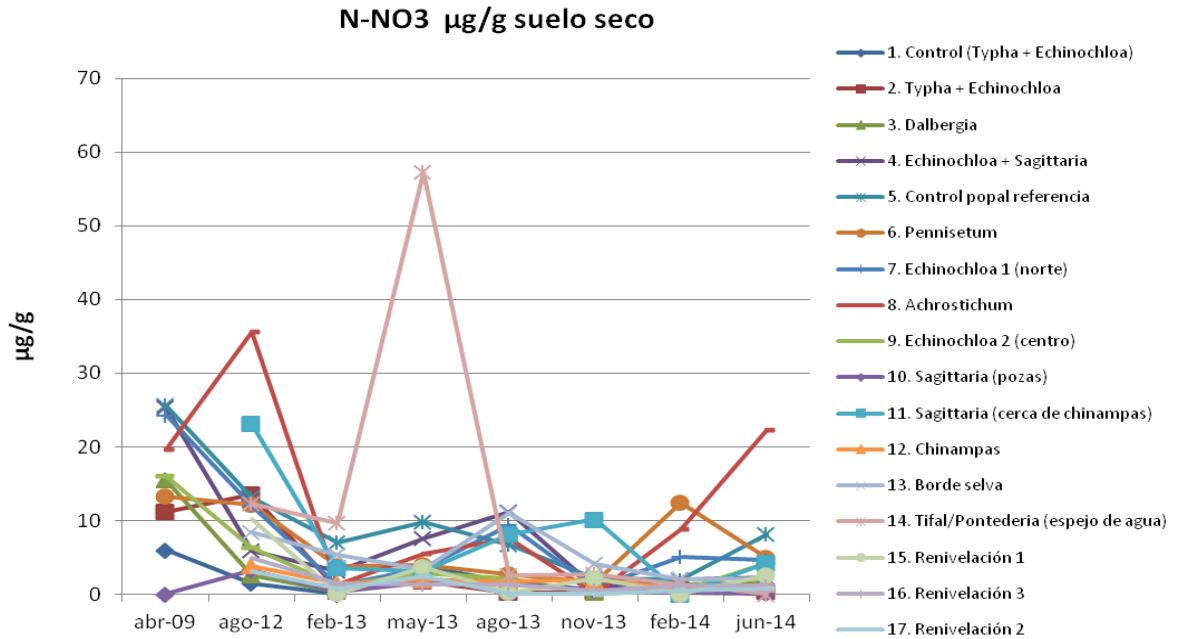


Figura 20. Concentración de Nitratos en el suelo por tratamiento durante el proceso de restauración.

5.4 Anfibios y reptiles

El modelo de acumulación de especies que se ajustó mejor a los datos de inventario de anfibios y reptiles fue el modelo de Clench (Soberón y Llorente, 1993). La gráfica 21 ilustra la curva de acumulación de especies al momento en que las especies registradas coincidieron con el valor asintótico ($n=35$), lo que sucedió en noviembre de 2011 (a partir de febrero de 2007). Hasta la conclusión de los muestreos (noviembre 2013) no se registraron más especies que las predichas por la asíntota del modelo. Esto significa que el estudio fue suficientemente exhaustivo al cuarto año de muestreo para representar la herpetofauna del humedal restaurado.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

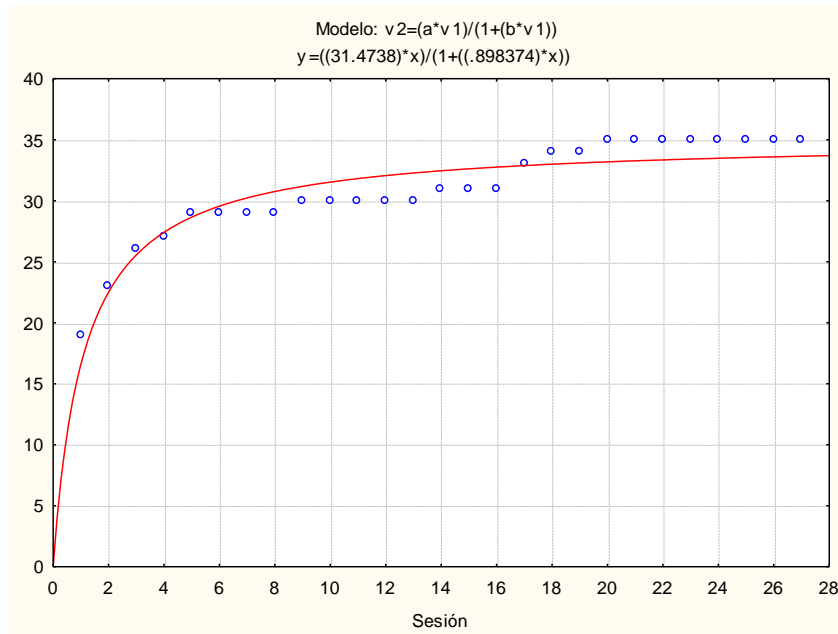


Figura 21. Curva de acumulación de especies (anfibia y reptiles) en el humedal en restauración.

En el periodo 2010 a 2013 se registraron 26 especies, nueve de anfibios y 17 de reptiles, las especies se agrupan en seis órdenes, 17 familias y 25 géneros (Cuadro 5).

A lo largo de este periodo los anfibios han mostrado gran actividad en el humedal, se observó la presencia de anfibios en todos los microhábitats tales como vegetación flotante en los espejos, orillas de los espejos de agua, canales con agua permanente construidos para delimitar el humedal, bordes de selva que rodean el humedal y en la vegetación de *Pontederia* y *Sagittaria*, principalmente la salamandra *Bolitoglossa platyductyla*. Se observó en aproximadamente la mitad de la extensión de popal y en la fase anterior resultó ser el mejor bioindicador de la recuperación del humedal.

Los reptiles por el contrario mostraron una disminución de especies, principalmente de serpientes y lacertilios. Sin embargo en los últimos muestreos se observó la presencia con un repunte de abundancia principalmente de individuos jóvenes de la iguana verde *Iguana iguana*, y la presencia –con baja abundancia– del garrobo *Ctenosaura acanthura* y de la culebra de agua *Tamnophis proximus*. Para el caso de dos especies de serpientes acuáticas y semiacuáticas, *Nerodia rhombifer* y *Tretanorhynchus nigroluteus* registradas solamente durante el segundo año de restauración, no se volvieron a registrar en el humedal. El grupo de tortugas dulceacuícolas se registraron constantemente en todo el periodo. De las cinco especies de tortugas capturadas inicialmente en los ambientes que cuentan con agua permanente, sólo el galápago *Kinosternon herrerai* encontrado en dos ocasiones en la fase anterior no volvió a ser capturado en el área de restauración hasta la fecha.

Los cocodrilos continúan estando presentes en el humedal, con mayor ocurrencia de individuos jóvenes de talla pequeña. El mayor número de individuos capturados fue en el periodo de 2011, principalmente en el mes de marzo.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

Cuadro 5. Número de anfibios y reptiles registrados en el humedal en restauración.

Clase	Orden	Familia	Genero	Especie
Amphibia	2	6	9	9
Reptilia	4	11	16	17
Totales	6	17	25	26

Durante esta fase de la restauración se obtuvieron en total 2,571 registros de anfibios y reptiles, 1,857 correspondientes a anfibios y 714 a reptiles. El mes que presentó mayor abundancia fue marzo 2011 (Figura 22). Las especies mas abundantes (en orden decreciente) fueron los anfibios *Leptodactylus melanonotus*, *Thrachycephalus venulosus*, *Bolitoglossa platydactyla*, las tortugas *Trachemys venusta*, *Staurotypus triporcatus*, *Kinosternon leucostomum* (Figura 23)

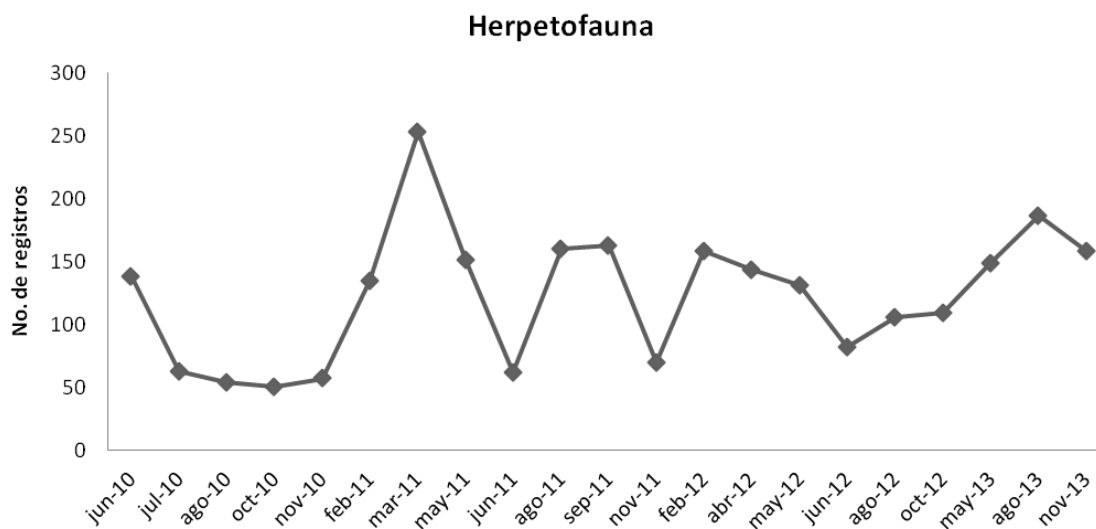


Figura 22. Número de registros por cada sesión de muestreo en el humedal en restauración.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

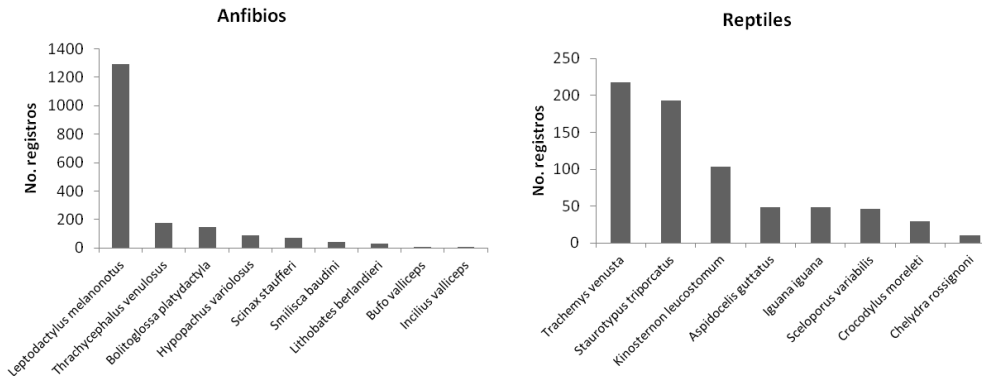


Figura 23. Abundancia de especies de anfibios y reptiles registrados en el humedal en restauración.

5.5 Avifauna

Durante el proyecto se realizaron 200 visitas al popal de la Mancha. Estas visitas, se realizaron para monitorear los cambios en la composición de la comunidad de aves en respuesta a las actividades de restauración. Durante estas salidas, además del monitoreo, se analizó el popal por especies residentes y migratorias, a través de la identificación de las especies que están usando de manera directa el popal, ya sea como sitios de alimentación, anidación o pernocte. La obtención de estos datos se llevó a cabo mediante el uso de redes de niebla en zonas caracterizadas por la presencia de aves en él. En total se cubrieron 416 horas/red durante dos años tres meses de redeo con 125 organismos capturados y liberados. El total de especies registradas observadas y capturadas durante el proyecto fue de 181 en 40 familias (Figura 33). La mayor riqueza se registró a principios del 2011, durante los siguientes años se mantuvo constante (Figura 34). Considerando la estacionalidad, el 56% fueron residentes, 35% migratorias de invierno, 1.2% migratorias de invierno, 7% transitorias y 0.6% accidentales. De acuerdo al ambiente, el 73% son terrestres, el 20% acuáticas y 7% de ambos tipos.

La presencia de especies acuáticas ha sido importante en el proceso de restauración, ya que significa que están utilizando el humedal, en especial el espejo de agua, ya sea por especies residentes como por especies migratorias. Lo utilizan como zona de alimentación y refugio, y aunque su presencia es intermitente, presentó un número elevado de registros (29 acuáticas y ocho terrestres asociadas a estos ambientes) lo que corresponde a un cuarto de la riqueza total registrada, aún cuando el humedal es pequeño. En las figuras 35 y 36 se puede observar la riqueza especies acuáticas y su estacionalidad como residentes y migratorias. Es importante mencionar que la riqueza total del popal está fuertemente influida por la presencia de vegetación aledaña relativamente conservada de selva mediana. Esta es 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 humedal 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.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

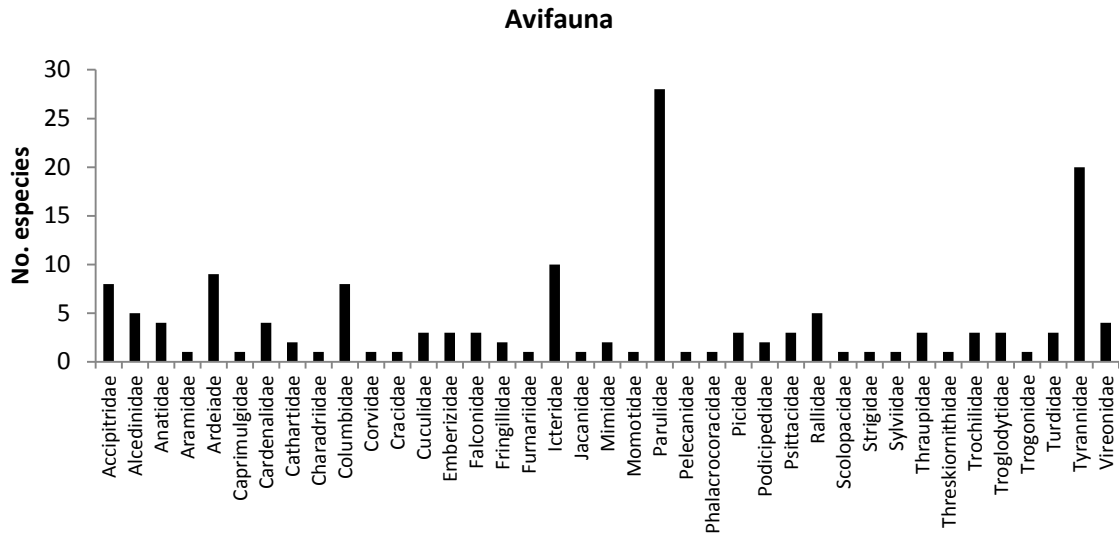


Figura 24. Número de especies de aves por familia, registradas en el humedal en restauración.

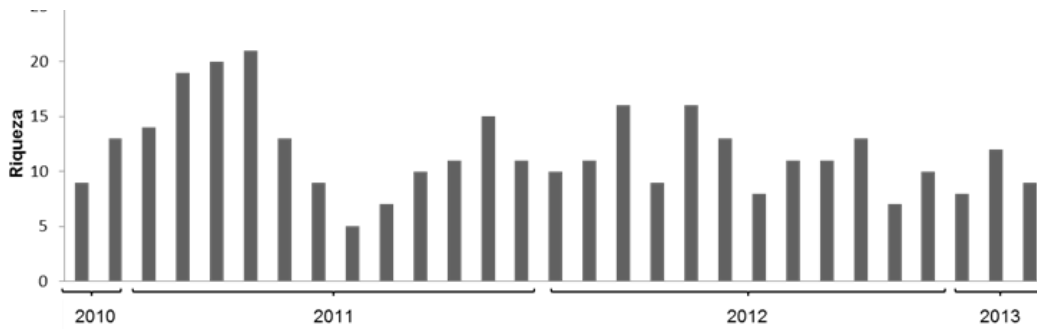


Figura 25. Riqueza avifaunística, a través del tiempo en el humedal en restauración.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

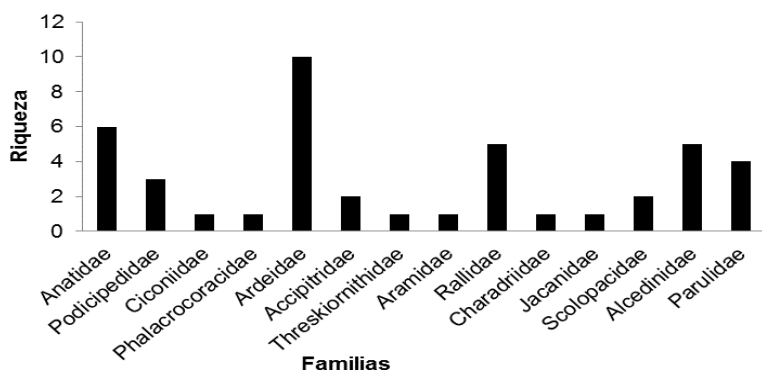


Figura 26. Riqueza de especies con hábitos acuáticos y semiacuáticos representados por familia.

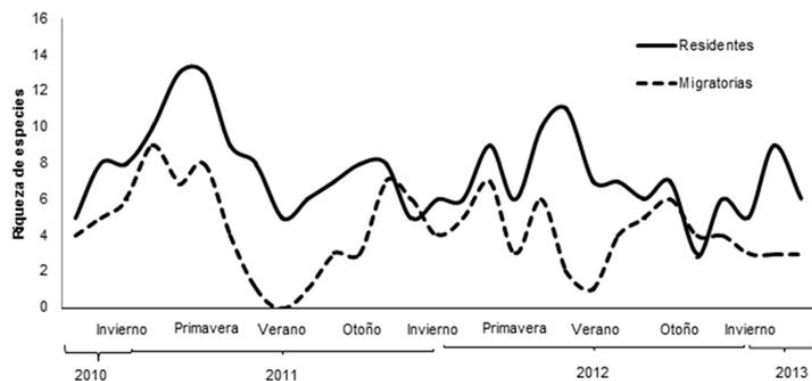


Figura 27. Riqueza estacional de las aves acuáticas residentes.

5.6 Ictiofauna

Se presentan los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto, capturándose 1,201 individuos de seis especies y tres familias con un peso total de 10.3 kg. En el cuadro 6 se muestran los resultados totales por especie de número de individuos, peso total y el promedio de la longitud total.

Cuadro 6. Número de especies, número de individuos y peso total por especie durante 2010, a 2013.

Especies	No. Indi	peso total	lon prom	EE lon	peso prom	EE peso
<i>Dormitator maculatus</i> (Bloch, 1792)	893	8290.50	86.60	0.73	9.20	9.20
<i>Gobiomorus dormitor</i> Lacepède, 1800	22	653.78	122.60	12.12	29.70	8.75
<i>Eleotris amblyopsis</i> (Cope, 1871)	60	585.07	93.30	2.87	9.80	1.00
<i>Poecilia mexicana</i> Steindachner, 1863	176	445.03	53.10	0.99	2.20	0.13
<i>Herichthys</i> sp	1	132.95	192.00		132.95	
<i>Poecilia sphenops</i> Valenciennes, 1846	49	196.40	61.30	1.87	4.00	0.38

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

Se observa que las especies que predominaron en la comunidad fueron son la familia Eleotridae (*Dormitator maculatus* y *Eleotris amblyopsis*) y Familia Poeciliidae (*Poecilia mexicana*).

Estructura de la comunidad.

Los parámetros de la estructura se presentan en la figura 24. En general durante el desarrollo del proyecto se observa que la comunidad está constituida por tres especies. El número de individuos fue solo importante al inicio de la restauración del humedal, posteriormente se observa una disminución de los mismos probablemente debido al escaso tirante del agua durante la época de secas. El peso total capturado por mes sigue el mismo patrón que el número total de individuos.

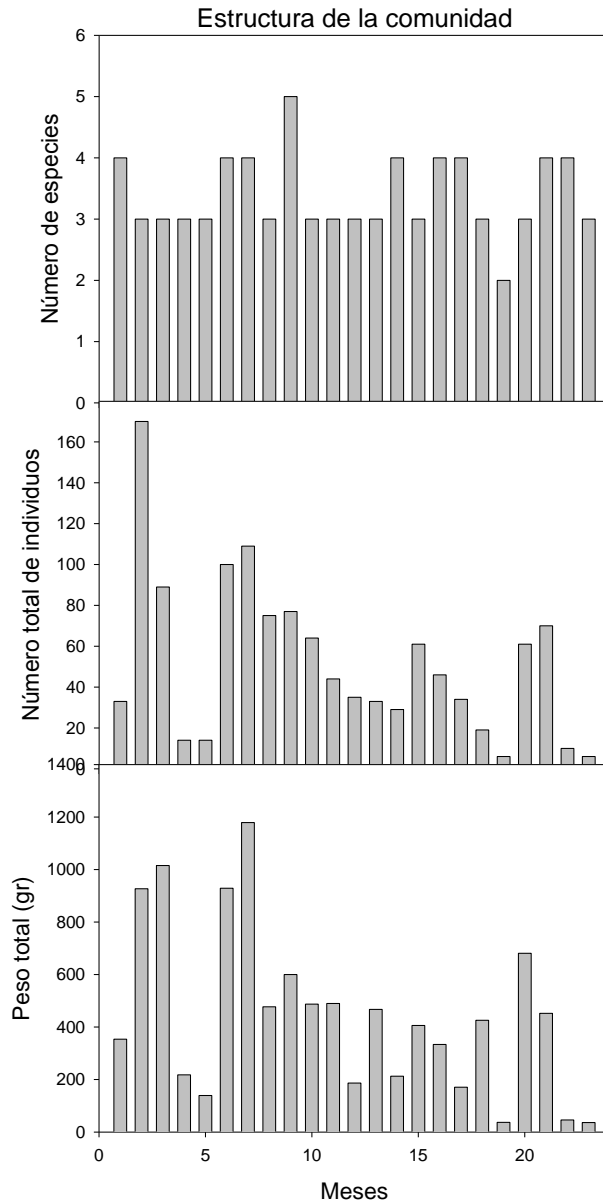


Figura 28. Variación mensual del número de especies, número de individuos y peso total durante el desarrollo del proyecto.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

Especies registradas

En la figura 25 se muestra la distribución de individuos capturados de cada una de las especies. *Dormitator maculatus* se registró en el humedal durante todo el periodo de estudio; sin embargo, se observa una disminución de la abundancia de esta especie a partir de septiembre del 2009. También *Poecillia mexicana* es altamente frecuente en el humedal (capturándose en 83% en las capturas realizadas en campo). A continuación se describen los parámetros poblacionales de cada una de las especies registradas.

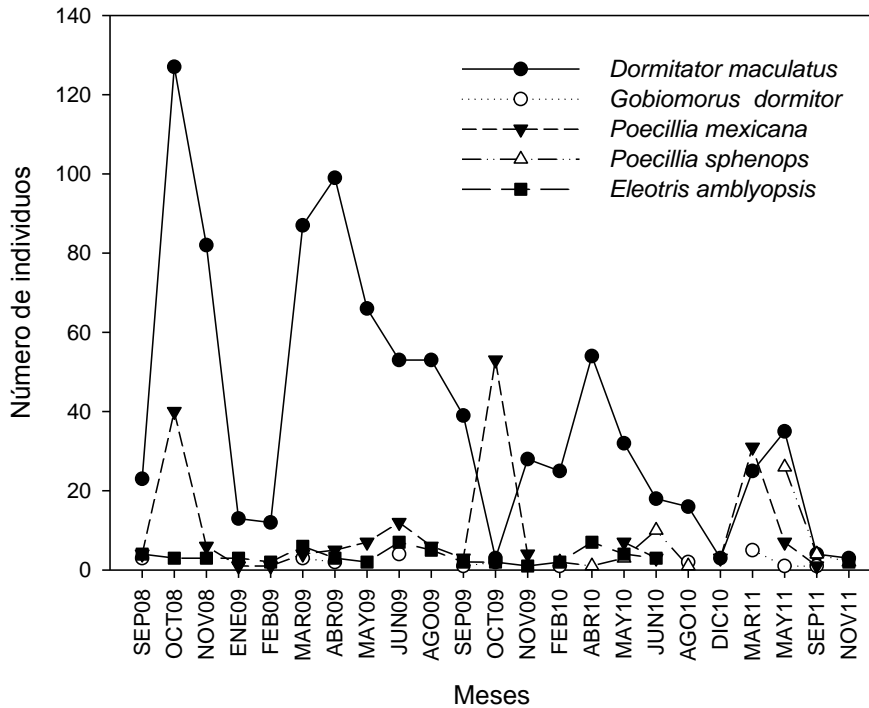


Figura 29. Distribución del número de individuos capturados por mes durante el periodo de muestreo.

Dormitator maculatus (Bloch, 1792), Naca. Se capturaron en total de 893 individuos, estando presente durante todos los muestreos. Se capturaron en un rango de 36 a 191 mm de longitud total con promedio de 86.6 mm (EE = 0.73) y un peso total de 8.3 kg. En la figura 26 se observa la frecuencia de individuos en rangos de tallas por época del año. En general no se observan diferencias en cuanto al tamaño de los organismos por época del año.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

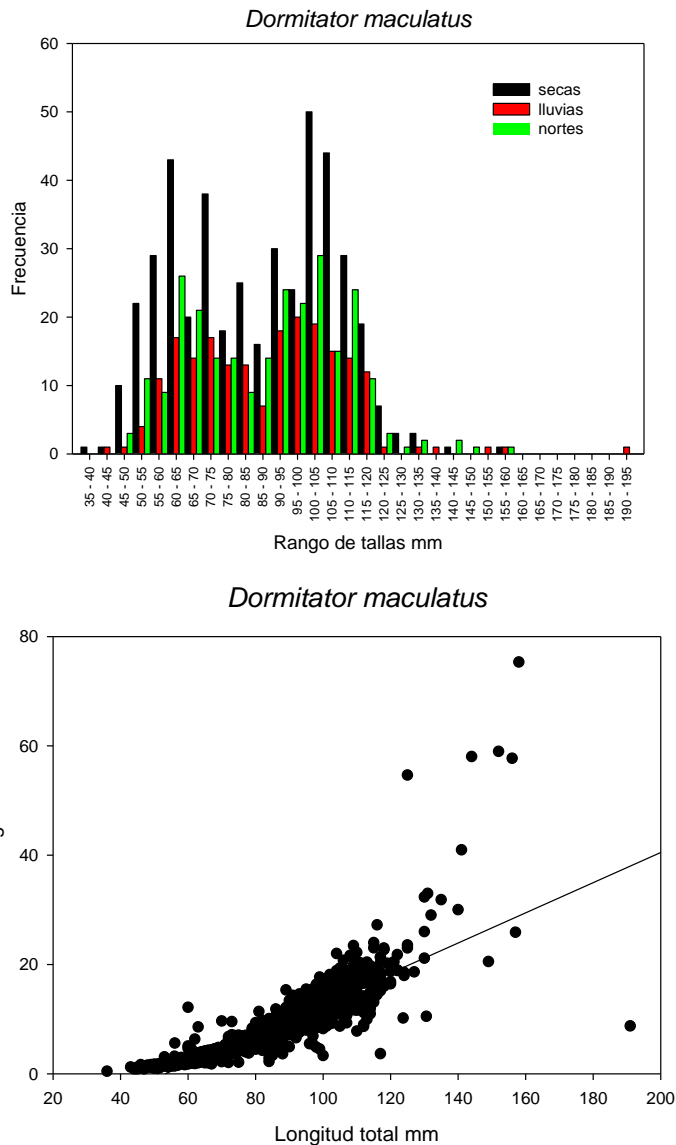


Figura 30. Distribución de frecuencia de tallas y relación longitud total y peso de la especie *Dormitator maculatus* en el humedal restaurado.

De acuerdo a [Miller \(2005\)](#) esta especie tiene una temporada de reproducción prolongada, por lo cual se capturan organismos juveniles (10 y 18 mm de longitud patrón) entre noviembre y junio. Se reporta como longitud patrón máxima hasta de 26.1 cm, y se considera primordialmente herbívora, alimentándose de algas y otras plantas, pero es capaz de depredar invertebrados y larvas de mosquitos.

Poecilia mexicana Steindachner, 1863, topote del Atlántico. Esta es la segunda especie más abundante y frecuente en el humedal restaurado. Se han capturado 176 individuos durante todo el periodo de estudio en tallas entre 28 y 99 mm de longitud total y casi 0.5 kg de peso total. Los individuos pequeños se registran principalmente en secas, las tallas medianas en nortes y las

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

grandes en lluvias (Figura 27). De acuerdo a Miller (2005) esta especie en temporada de lluvias invade las zanjas al lado del camino y otros embalses pequeños a veces a una distancia de 5 km del agua permanente más cercana, de ahí que solo se hayan capturado 28 individuos en esta época.

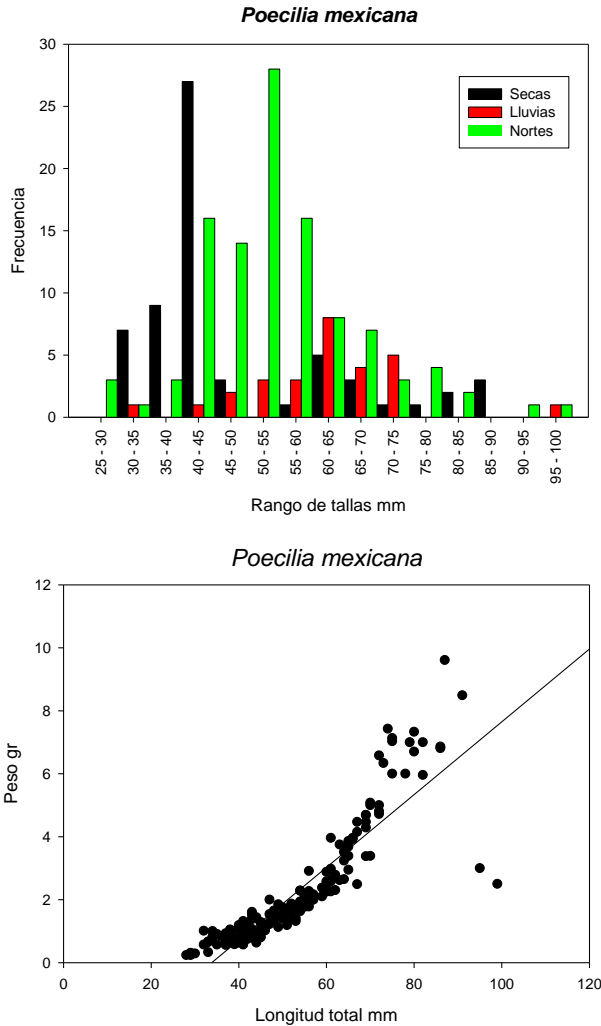


Figura 31. Distribución de frecuencia de tallas y relación longitud total y peso de la especie *Poecilia mexicana* en el humedal restaurado.

Las especies con abundancia intermedia *Eleotris amblyopsis* (Cope, 1871) y *Poecilia sphenops* se describen a continuación:

Eleotris amblyopsis (Cope, 1871) dormilón oscuro. Se capturaron en total 61 individuos, estando presente en el 70% de los muestreos realizados. La talla fluctuó en un rango de 51 a 154 mm de longitud total con promedio de 93.3 mm (EE = 2.87), peso promedio de 9.8 (EE = 1.00) y peso total de 585.1 gr. En la figura 28 se observa la frecuencia de individuos en rangos de tallas por época del año. No hay diferencias en cuanto al tamaño de los organismos por época del año.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

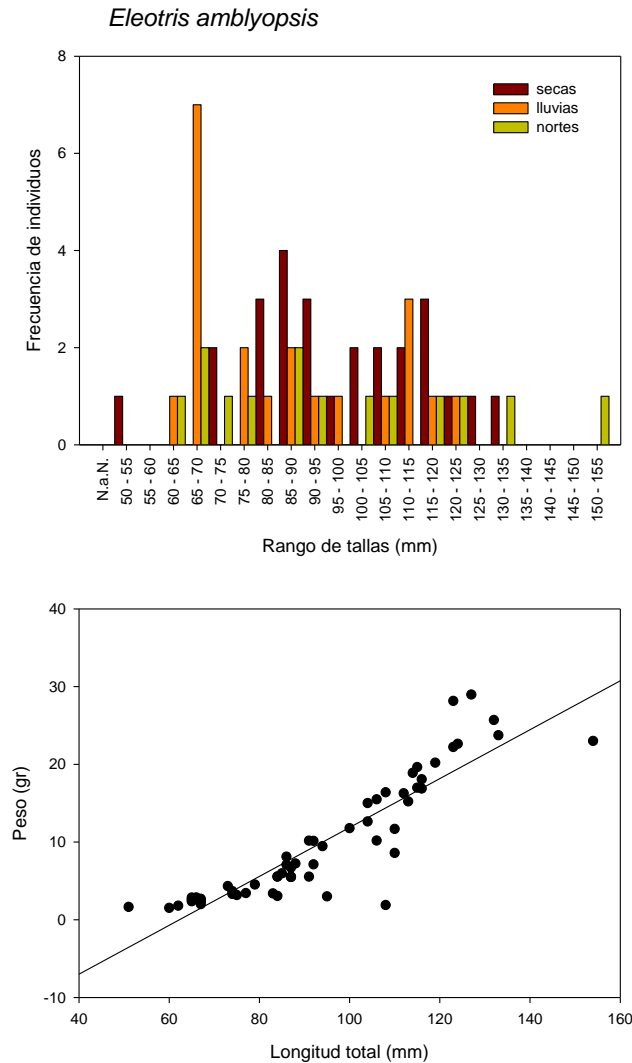


Figura 32. Distribución de frecuencia de tallas y relación longitud total y peso de la especie *Eleotris amblyopsis* en el humedal restaurado en CICOLMA.

De acuerdo a Miller (2005) esta especie se encuentra probablemente en la boca de los ríos y lagunas en agua dulce a salada. Se alimenta de material vegetal, invertebrados y otros peces. La máxima longitud patrón reportada es de 82 mm.

Poecilia sphenops Valenciennes, 1846, topote mexicano. Se capturaron 49 individuos estando presente en 35% de todo el periodo de muestreo. Las tallas fluctuaron entre 31 y 91 mm de longitud total con promedio de 61.3 mm (EE = 1.87), peso promedio 4.0 gr (EE = 0.38) y peso total de 196.4 gr. Todo el rango de tallas se capturaron en secas, las tallas medianas en lluvias y es escasa la captura en nortes (Figura 28). Existe poca información de esta especie (Miller 2005) en general es omnívora y en condiciones naturales se alimenta de gusanos, crustáceos, insectos y material vegetal (Froese y Pauly 2012). La máxima longitud registrada 6.0 cm LT y la común es 4.0 cm LT.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

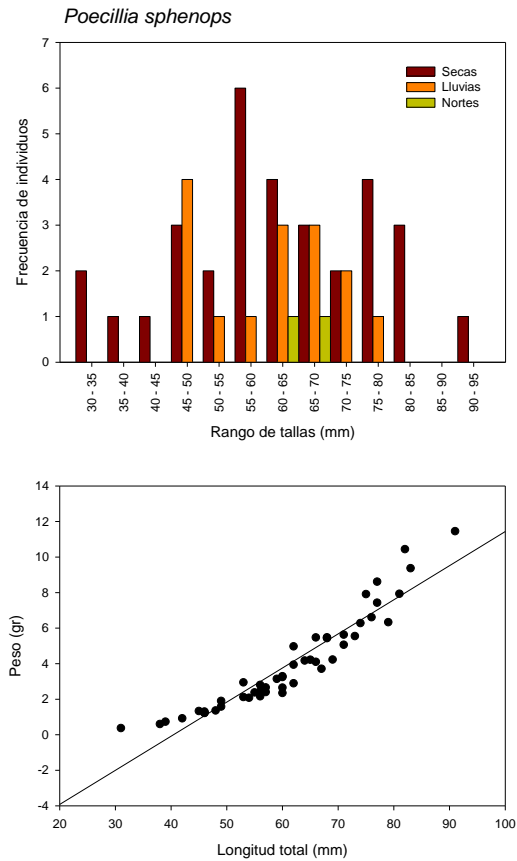


Figura 33. Distribución de frecuencia de tallas y relación longitud total y peso de la especie *Poecilia sphenops* en el humedal restaurado en CICOLMA.

Gobiomorus dormitor Lacepède, 1800, Guavina bocón. De esta especie solo se capturaron 22 individuos entre 51 y 235 mm de longitud total con promedio de 122.6 mm (EE = 12.12), peso entre 1.54 a 166.9 gr (promedio 29.7 EE = 8.75), con un peso total de 0.7 Kg. Esta especie presentó una frecuencia de 39% en las capturas, registrándose principalmente en secas y lluvias pero sin un patrón definido (Figura 30).

[Patzner et al. \(2011\)](#) establece que los adultos se presentan en agua dulce tierra adentro. Esta especie habita en corrientes de agua transparente y fluyendo libremente. Generalmente se encuentran asociados al fondo en las partes con movimientos más lentos de la corriente. Se clasifica como un pez béntico y carnívoro con un comportamiento lento y críptico. Se alimenta de todos los grandes invertebrados y con regularidad también de peces ([Patzner et al. 2011](#), [Froese y Pauly 2011](#)).

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

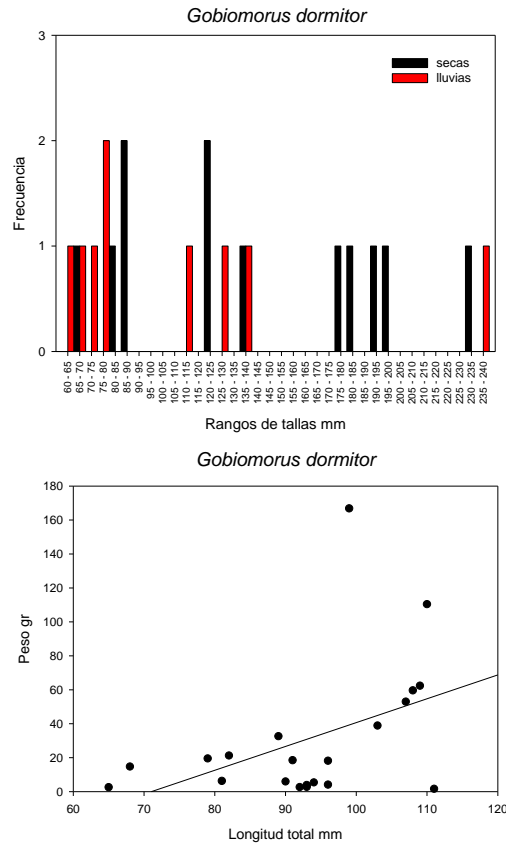


Figura 34. Distribución de frecuencia de tallas y relación longitud total y peso de la especie *Gobiomorus dormitor* en el humedal restaurado en CICOLMA.

Por su capacidad de habitar en áreas con corrientes activas que provoca una buena oxigenación del agua, así como por sus hábitos alimenticios, esta especie podría ser un indicador de la calidad del agua en el humedal restaurado en términos de concentración de oxígeno disuelto así como del incremento en diversidad de invertebrados que podría ser parte de su alimentación.

Contenido estomacal y maduración gonádica

Se analizaron 14 individuos: 6 de *Dormitator maculatus*; 3 de *Eleotris amblyopsis*, 2 de *Poecilia mexicana* y 3 de *P. sphenops*. *Dormitator maculatus*, *Poecilia mexicana* y *P. sphenops* presentaron restos de alimento manifestándose en el grado de llenado del estómago, siendo en *P. mexicana* donde siempre se encontró lleno (Figura 31).

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

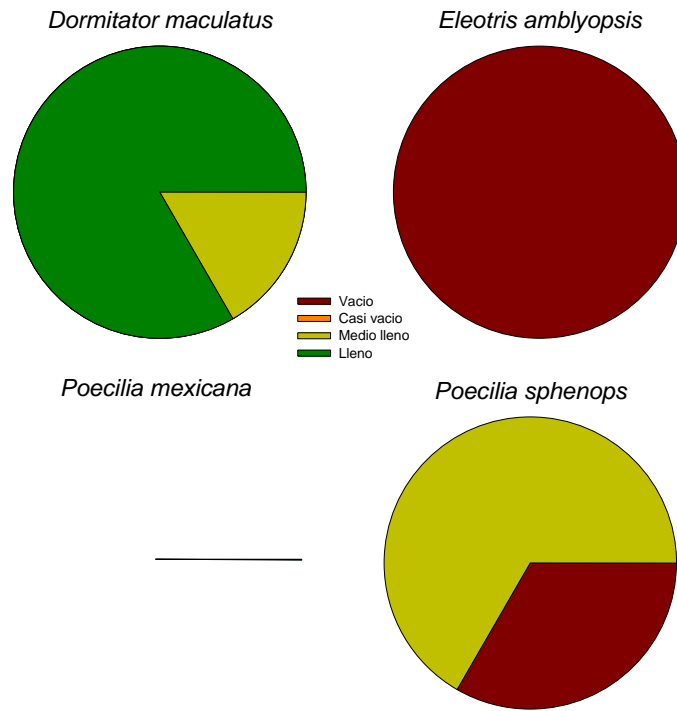


Figura 35. Grado de llenado de los estómagos analizados de las diferentes especies de peces capturadas en el humedal restaurado de CICOLMA.

En el análisis del contenido estomacal sólo se registró material vegetal y materia orgánica no determinable (MOND) que predomina como alimento en las tres especies donde se registró (Figura 31). Es importante dar énfasis a la especie *Eleotris amblyopsis* que no se registró alimento, sin embargo en todos los organismos se observó la presencia de nematodos parásitos.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

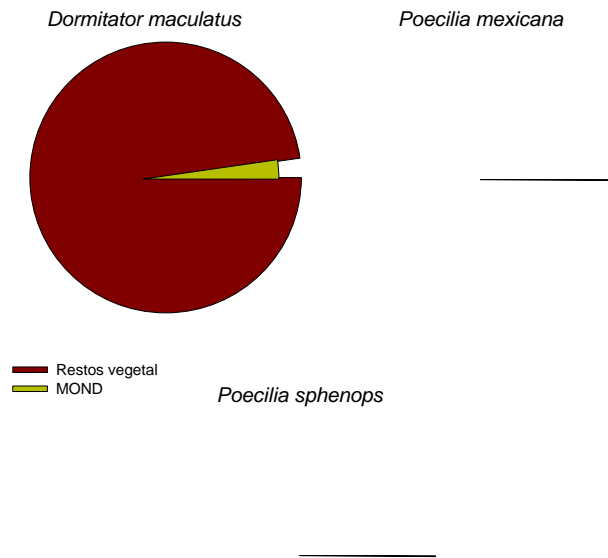


Figura 36. Tipo de alimento registrado en los estómagos analizados de las especies de peces en el humedal restaurado de CICOLMA.

Del análisis de la maduración de las gónadas, solo las especies de la Familia Poeciliidae registraron fases en reproducción, lo cual es muy evidente debido a que son ovovivíparos. Se observaron en marzo del 2009 en *Poecilia mexicana* un individuo con 46 larvas y en otro con 16 óvulos. [Wischnath \(1993\)](#) menciona que las hembras después de 28 días de la fertilización dan nacimiento entre 30 y 80 juveniles. La madurez gonádica se alcanza entre los 7 y 12 meses de edad. Para *Poecilia sphenops* durante mayo del 2011 se registró una hembra con 42 larvas y otra con 59 óvulos. Esta especie produce de 20 a 150 juveniles después de 28 días de gestación ([Wischnath 1993](#)).

5.7 Macroinvertebrados

Se realizaron muestreos en temporadas de nortes y secas en seis sitios de muestreo. La comunidad de macroinvertebrados varió de acuerdo a la inundación ya que es un factor importante para el incremento de familias (especies) y el incremento de sus abundancias. Los muestreos correspondientes a la temporada de secas de mayo 2011 y mayo 2012 mostró una disminución en el número de familias así como en la abundancia de especies, debido principalmente a que algunos sitios no presentaron agua; por el contrario el mes de febrero 2013

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

presentó mayor número de familias (Figura 37). Así también varió la distribución, en algunos sitios se observa ausencia de ejemplares debido a que no presentaron agua (Figuras 38-43).

El número total de ejemplares colectados fue de 3,478 ejemplares, distribuidos en seis órdenes, siendo los dípteros los que presentaron mayor número de familias (12) y abundancia (2,566), seguido por los coleópteros con 11 familias y 554 de abundancia, Hemíptera con siete familias y una abundancia de 40, Odonata con cuatro familias y abundancia de 279 y Lepidóptera con dos familias y cinco de abundancia. La abundancia por familia y por muestreo se observa en el cuadro 7.

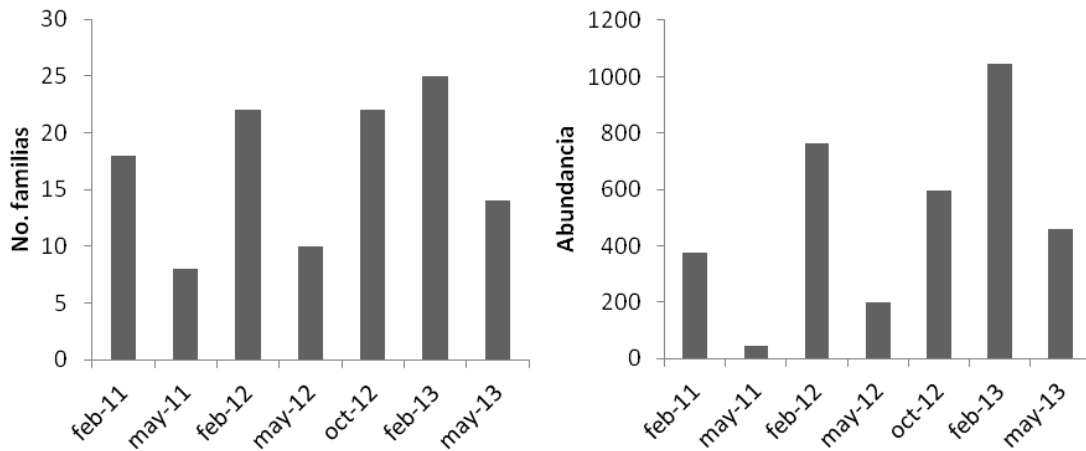


Figura 37. Número de familias y abundancia de macroinvertebrados registrados por muestreo.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

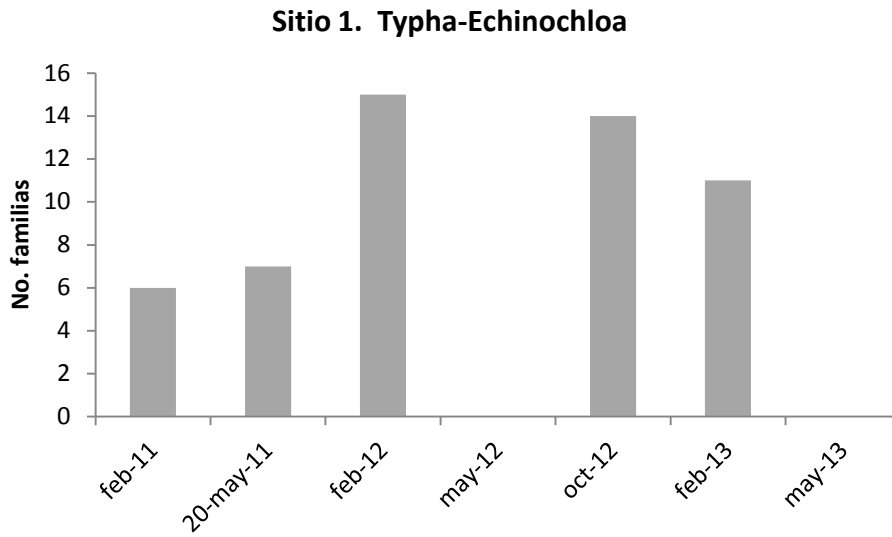


Figura 38. Número de familias encontradas en el sitio uno (Typha- Echinochloa).

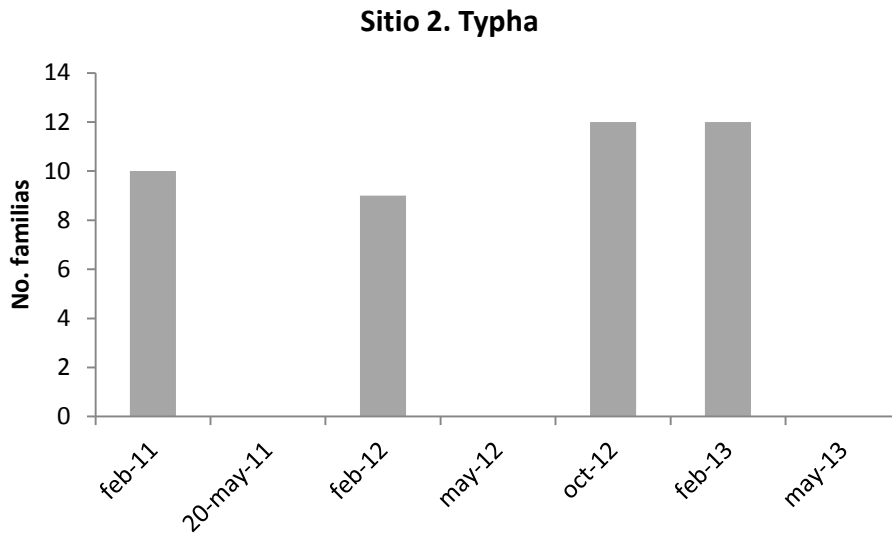


Figura 39. Número de familias encontradas en el sitio 2 (Typha).

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

Sitio 3. Inicio con Dalbergia - Pontederia

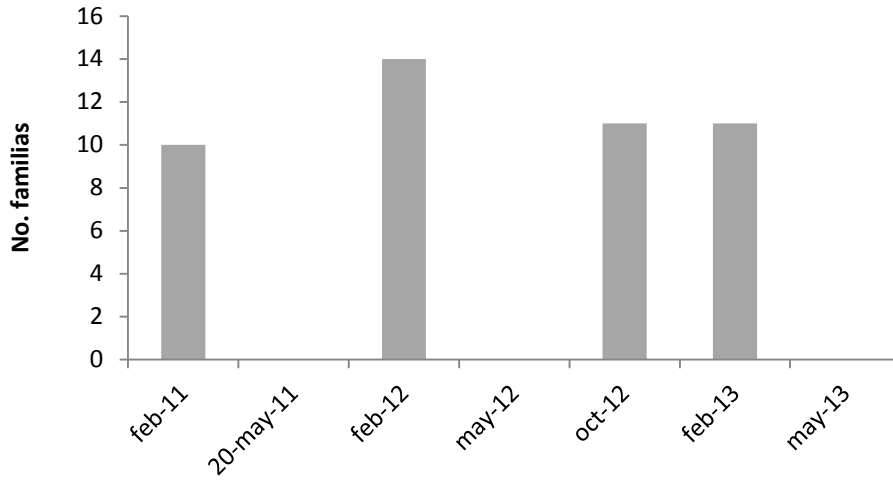


Figura 40. Número de familias encontradas en el sitio 3 (Inicio con Dalbergia- Pontederia).

Sitio 4. Echinochloa

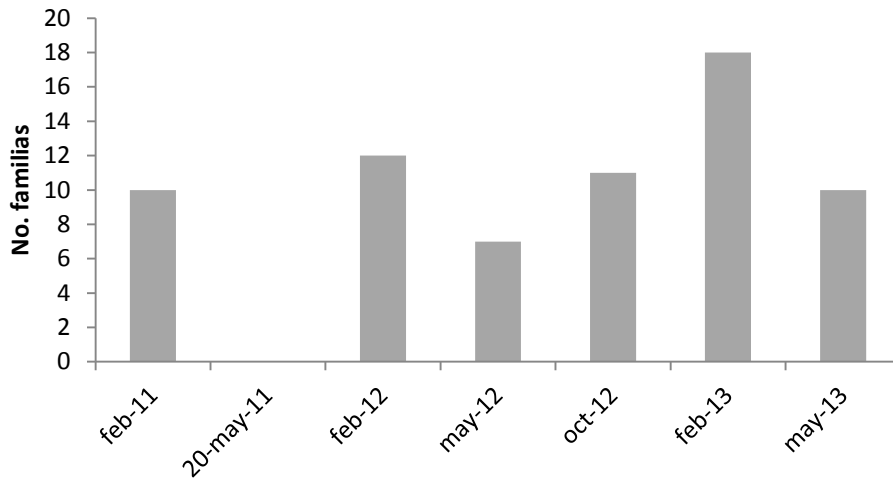


Figura 41. Número de familias encontradas en el sitio 4. (Echinochloa).

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

Sitio 5. Sagittaria (popal referencia)

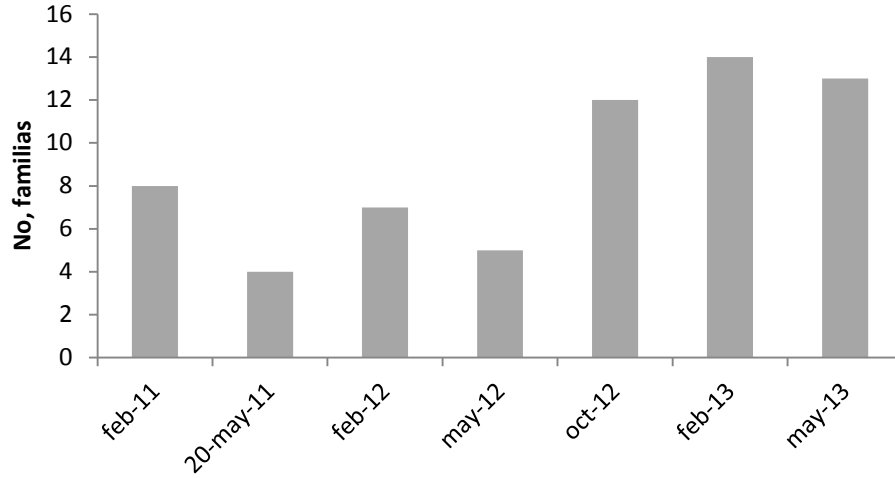


Figura 42. Número de familias encontradas en el sitio 5 (Sagittaria popal referencia).

Sitio 6. Pastizal

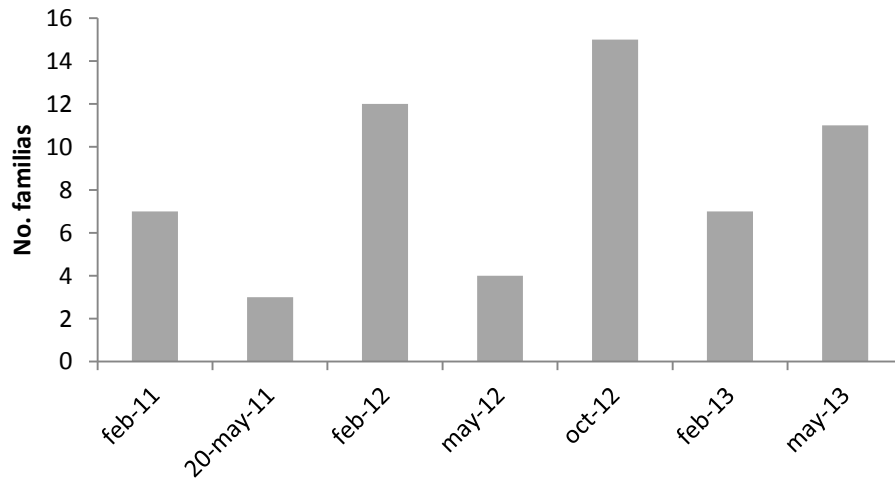


Figura 43. Número de familias encontradas en el sitio 6 (Pastizal).

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

Cuadro 7. Abundancias totales de familias encontradas por fecha de muestreo.

Familia	feb-11	may-11	feb-12	may-12	oct-12	feb-13	may-13	Total
Aeshnidae	2				8	2		12
Baetidae	8		23			1		32
Belostomatidae	1		1		10	3	2	17
Ceratopogonidae	7	14	93	68	21	146	69	418
Chaoboridae						1		1
Chironomidae	241	2	440	68	201	596	242	1790
Coenagrionidae	5		9		2			16
Cossidae					4			4
Culicidae	11		26		122	31	19	209
Curculionidae					1			1
Dolichopodidae					2			2
Dytiscidae	17	2	32		45	17	8	121
Ephydriidae			2	3		7	2	14
Haliplidae			6		1			7
Hebridae			1	1	2	2		6
Hydrophilidae	15	14	30	4	34	88	20	205
Hydroscaphidae		1						1
Lampyridae	5				2			7
Libellulidae	5		29		38	21	4	97
Limnichidae	2							2
Naucoridae	2		5		3		1	11
Noctuidae					1			1
Noteridae	9	3	11	1	15	18	30	87
Notonectidae			1					1
Pleidae			2					2
Protoneuridae	27		24		23	58	22	154
Psychodidae			1					1
Scirtidae	10		15		55	14	19	113
Staphylinidae		2		1		6		9
Stratiomyidae	1		8	5	4	18	8	44
Syrphidae			1			1		2
Tabanidae	6	6		3	2	6	12	35
Tipulidae			2	44		3		49
Driopidae						1		1
Empididae						1		1
Mesoveliidae						2		2
Veliidae						1		1
Total	374	44	762	198	596	1046	458	

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo 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. En general, el grupo trófico de los depredadores fue el mejor representado ya que comprende el 70%. Los detritófagos corresponden al 25%. por último, los herbívoros en 5% (Cuadro 8).

Valor de cada grupo como indicador

Durante el proceso de restauración del humedal de La Mancha, se generaron diferentes condiciones ambientales que permitieron una heterogeneidad de “paisajes” y con ellas habitats, condiciones físicas y químicas específicas, así mismo la variación del nivel de inundación favoreció el establecimiento de distintos tipos de comunidades vegetales. (Peralta 2007; Peralta y Moreno-Casasola, 2007) lo que permitió a lo largo del tiempo que duró el proceso, que distintas familias de insectos acuáticos se establecieran permaneciendo o desapareciendo.

EL Orden Díptera es el grupo más diverso y con la mayor abundancia encontrada durante la restauración, esto coincide como lo mencionado por autores como Margalef (1983), Resh y Rosemberg (1984), Andersen *et al* (2000), Dodds (2002) y (Peralta 2007; Peralta y Moreno-Casasola, 2007), donde los Chironomidae es la familia con mayor abundancia en los sistemas acuáticos, además de ser la base de la estructura trófica en los humedales.

El Orden Coleóptera (segundo grupo en diversidad de familias), las familias Dytiscidae, Hydrophilidae, Noteridae y Scirtidae las que presentaron mayor abundancia.

Wetzel (1981) y Margalef (1983) mencionan la importancia de la familia Chaoboridae como parte del zooplanton en lagos medianamente profundos y con una estratificación. Esta familia, solo se encontró en el período de mayor inundación. Los Ceratopogonidae son un grupo que alcanzan valores altos de abundancia pero no está presente en todas las etapas de la restauración, lo que indica su presencia es función de los niveles de inundación.

Los Hemiptera acuáticos, son el tercer grupo con mayor diversidad encontrada siendo además uno de los grupos menos estudiados en México. Se desconocen sus hábitos, requerimientos ambientales y distribución en el país. Sandoval y Molina (2000) mencionan 11 familias de hemípteros para México, se encontraron cinco familias durante las distintas etapas de la restauración.

Los Odonata son uno de los grupos de insectos mejor estudiados en sus estados adultos e inmaduros y están representados por 15 familias en México (González-Soriano y Novelo-Gutiérrez 1996), de las ocho familias reportadas (Peralta 2007; Peralta y Moreno-Casasola, 2007) se encontraron cinco familias en el humedal en cuestión. La familia Libellulidae y Protoneuridae se ha encontrado en todas las etapas de la restauración.

El grupo de Lepidoptera con representantes acuáticos, no han sido estudiados en México (Peralta y Moreno-Casasola, 2007), se desconoce su ecología, distribución y hábitos. En el humedal se encontraron tres Familias Noctuidae, Pyralidae y Cossidae.

En sistemas lóticos, los Ephemeroptera están representados por 11 familias (McCafferty y Lugo-Ortiz 1996), predominando Baetidae, Leptophlebiidae y Leptohyphidae, en este caso el grupo presenta solo una familia (Baetidae).

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

Cuadro 8. Familias encontradas en el humedal en restauración, donde se indica sus hábitos alimenticios y sus tolerancias a la contaminación orgánica (*). Familias presentes durante la restauración del humedal. Las tolerancias fueron tomadas de (Merritt & Cummins, 1996; Sandoval & Molina, 2000; Cummins & Merritt, 2001) y comparadas con los resultados obtenidos en campo.

Orden	Familia	Hábitos	Tolerancias
Coleóptera	Curculionidae	herbívoros	Intolerantes a la contaminación orgánica.
		colectores	Intolerantes a la contaminación orgánica.
	Dryopidae	desmenuzadores	
	Dytiscidae *	predadores	Facultativos
		colectores	Intolerantes a la contaminación orgánica.
	Elmidae	desmenuzadores	
	Hydrophilidae *	larva=depredador, adulto=colector	Facultativos
	Hydroscaphidae	raspadores algas	Intolerantes a la contaminación orgánica.
	Lampyridae		
	Noteridae *	predadores	Intolerantes a la contaminación orgánica.
Scirtidae	herbívoros	Materia orgánica	
Staphylinidae	predadores		
Díptera	Ceratopogonidae*	predadores	Tolerantes a la contaminación orgánica.
	Culicidae	colectores-filtradores	Tolerantes a la contaminación orgánica.
	Chaoboridae	predador	Intolerantes a la contaminación orgánica.
		Colectores - predador	Tolerantes a la contaminación orgánica e inorgánica (metales pesados)
	Chironomidae *		
	Ephydriidae	colectores - predadores	Tolerantes a la contaminación orgánica.
	Psychodidae	colectores - desmenuzadores	Tolerantes a la contaminación orgánica.
	Stratiomyiidae *	colectores - desmenuzadores	Tolerantes a la contaminación orgánica.
	Sciomyzidae	predadores	
	Syrphidae	colectores	Tolerantes a la contaminación orgánica.
	Tabanidae	predadores	Tolerantes a la contaminación orgánica.
Tipulidae	detritívoros - colectores	Intolerantes a la contaminación orgánica.	
Ephemeroptera	Baetidae	colectores - desmenuzadores	Facultativos, más Intolerantes a la contaminación orgánica.
Hemíptera	Belostomatidae	predadores	Facultativos
	Corixidae *	predadores	Intolerantes a la contaminación orgánica
	Naucoridae *	predadores	Intolerantes a la contaminación orgánica.
	Nepidae	predadores	Facultativos.
	Notonectidae *	predadores	Intolerantes a la contaminación orgánica.
	Pleidae *	predadores	Intolerantes a la contaminación orgánica.
	Veliidae	predadores	Intolerantes a la contaminación orgánica.
Lepidóptera	Pyralidae	desmenuzadores - herbívoros	
Odonata	Aeshnidae	predadores	Facultativos
	Coenagrionidae	predadores	Facultativos
	Gomphidae	predadores	Tolerantes a la contaminación orgánica
	Lestidae	predadores	Facultativos
	Libellulidae *	predadores	Intolerantes a la contaminación orgánica
	Protoneuridae *	predadores	Facultativos

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

5.8 Potencial de nitrificación y desnitrificación

En 2011 se observó una dinámica estacional en las tasas de desnitrificación, con mayores tasas en junio y agosto. Sin embargo esta dinámica estacional no se repitió en 2012, en donde la mayoría de las tasas fueron similares durante todos los meses de muestreo (Figura 44).

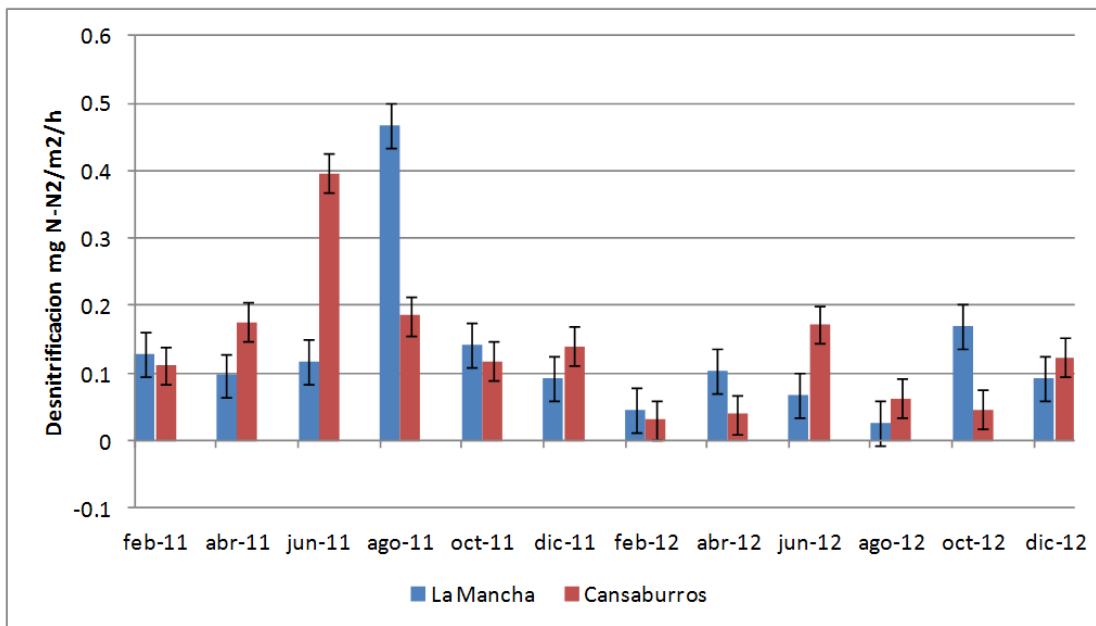


Figura 44. Variaciones estacionales de las tasas de desnitrificación en los suelos del humedal de La Mancha y Cansaburros, Ver.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

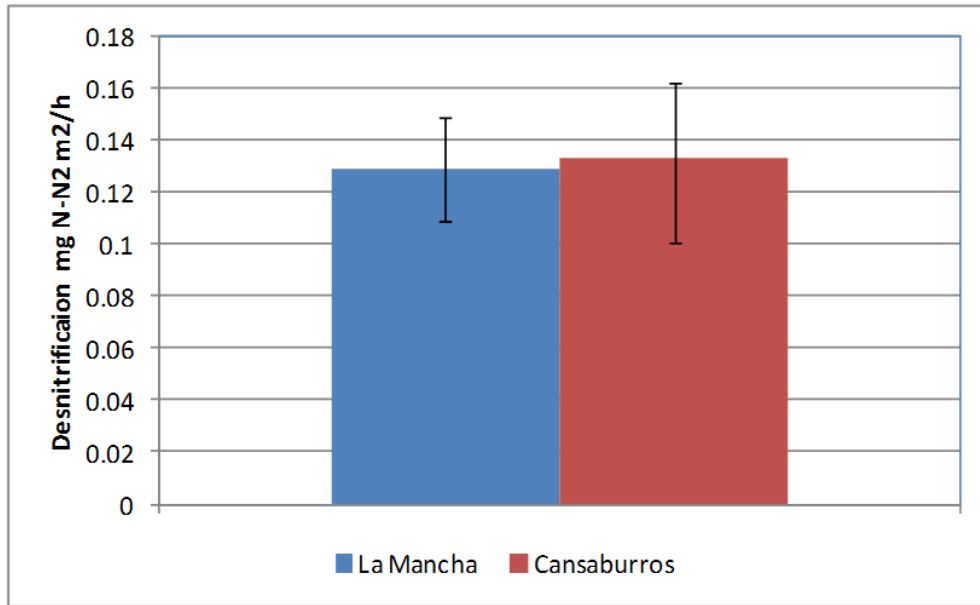


Figura 45. Promedios de la tasa de desnitrificación en los suelos del humedal de La Mancha y Cansaburros, Ver.

Cuando se promediaron las tasas de desnitrificación en cada sitio de muestreo, se encontraron valores muy similares (0.12 y 0.13 mg N-N₂O/m²/h, para la Mancha y Cansaburros, respectivamente). Tomando en cuenta que el humedal de Cansaburros es una referencia de un humedal con cierto impacto por actividades antropogénicas, pero en algún sentido es un humedal que no tan transformado y que conserva cierta biodiversidad y típico de la zona de estudio. Entonces se puede decir que en cuanto a la función de desnitrificación, el humedal restaurado es semejante al humedal de referencia, por lo que tiene la capacidad de remover nitrógeno de la columna de agua y por lo tanto servir como filtro natural de depuración de aguas, especialmente las de escurrimientos agrícolas con excesos de fertilizantes.

En cuanto a las tasas de nitrificación, no se observó un patrón estacional, pero si se observaron mayores tasas en Cansaburros (Figuras 46 y 47). La nitrificación es un proceso endógeno de los humedales, en donde se produce nitrato a partir de amonio. Típicamente en los humedales las tasas de nitrificación son más bajas que en los suelos terrestres, ya que la inundación provoca condiciones anóxicas. Se hubieran esperado mayores tasas de nitrificación en la época de secas (Abril y Junio), pero no fue así.

Quizás, las mayores tasas de nitrificación en Cansaburros, obedezcan a una mayor entrada de amonio por parte de los desechos de ganado, situación que no ocurre en el humedal restaurado de la Mancha.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

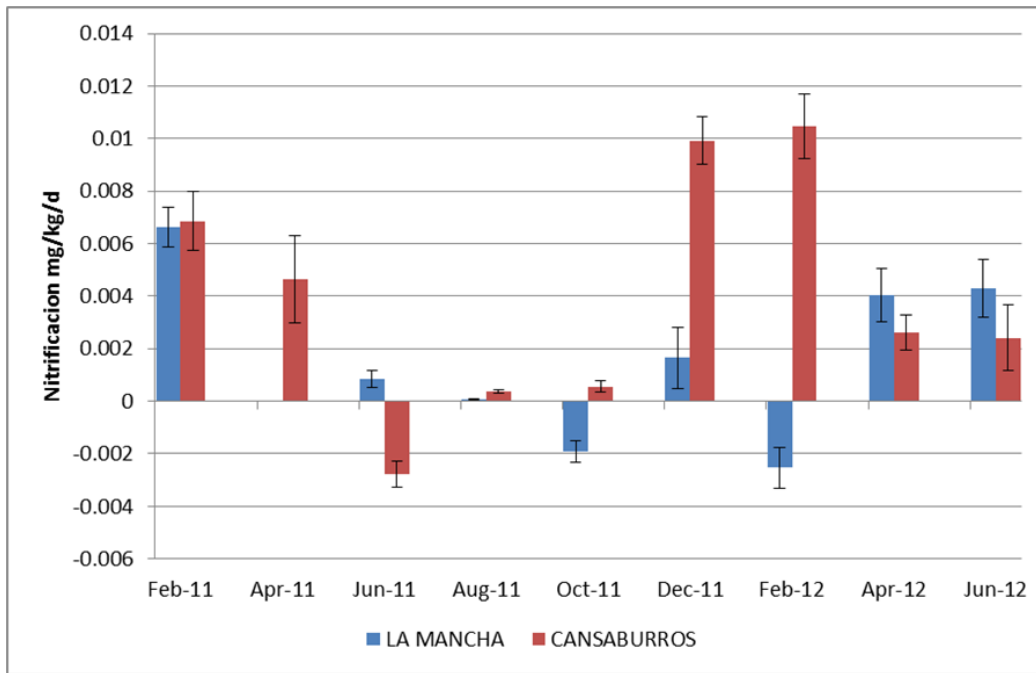
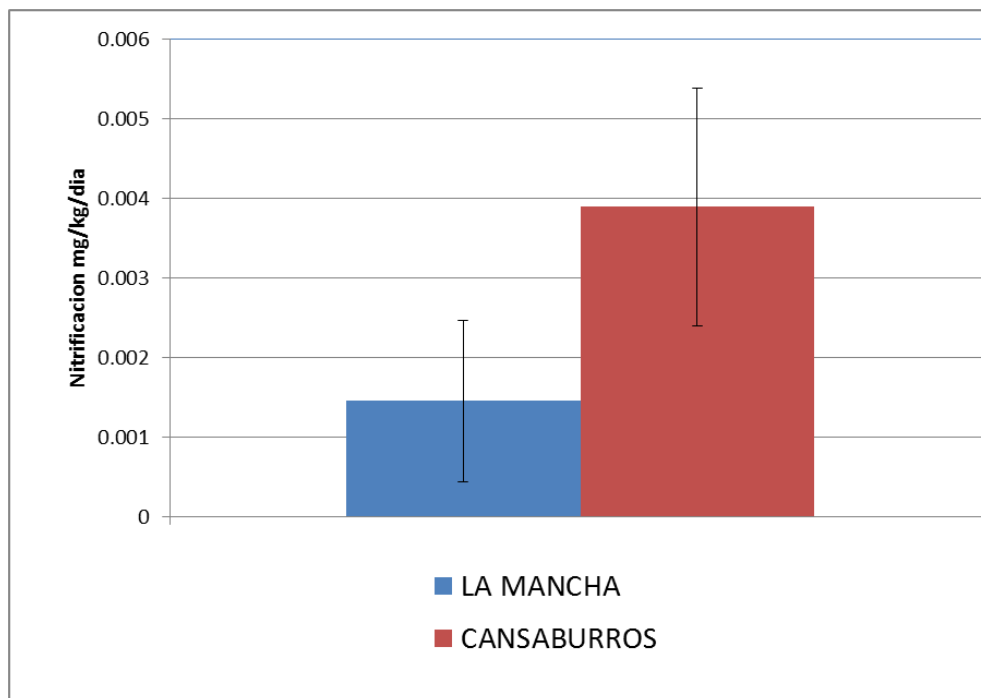


Figura 46. Variaciones estacionales de la tasas de nitrificación en los suelos del humedal de La Mancha y Cansaburros, Ver.



INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

Figura 47. Promedios de la tasa de nitrificación en los suelos del humedal de La Mancha y Cansaburros, Ver.

El humedal restaurado en La Mancha alcanzó tasas de desnitrificación similares a la del humedal de referencia (Cansaburros), por lo que tiene la capacidad para remover nitrógeno de la columna de agua y funcionar como filtro natural para mitigar la contaminación por nitrógeno en las aguas costeras.

5.9 Estabilidad de agregados

La estabilidad de los agregados fue diferente entre sitios y entre épocas. El humedal de selva de La Mancha presentó una proporción alta de agregados estables en los tamaños entre 4.7 y 1.0 mm y en esos tamaños la proporción de agregados disminuyó en la época fría. El popal en restauración presenta una proporción de agregados estables menor que la selva, pero se observa que en cinco de siete fracciones se presenta un incremento en los agregados con el tiempo (Figura 48).

La Figura 49 muestra un patrón semejante en la distribución de agregados entre los humedales de popal y selva de Boquilla de Oro. En estos sitios la proporción mayor de agregados se presentó en la época cálida del 2011 para los tamaños entre 6.3 y 0.5 mm, y en forma general se aprecia una disminución en la proporción de agregados con el tiempo, principalmente en el humedal de popal.

La Figura 50 muestra los humedales que presentaron la proporción de agregados más baja, principalmente el humedal de Cansaburros. Sin embargo, el humedal de Boca Andrea presentó una disminución importante en la proporción de agregados con el tiempo.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

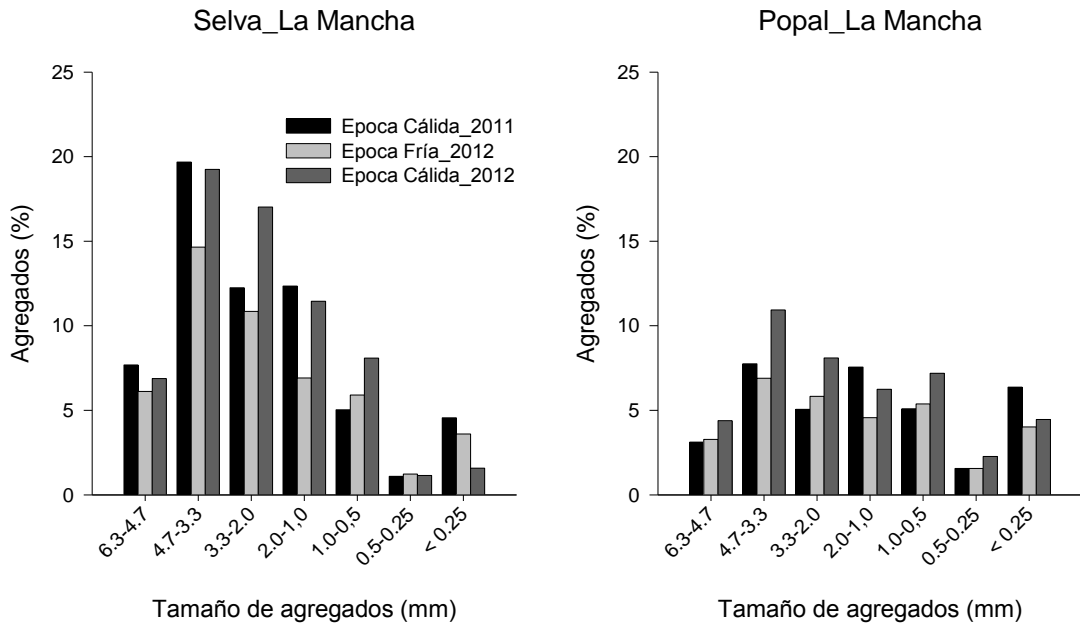


Figura 48. Proporción de agregados de los humedales de selva y el popal en restauración La Mancha.

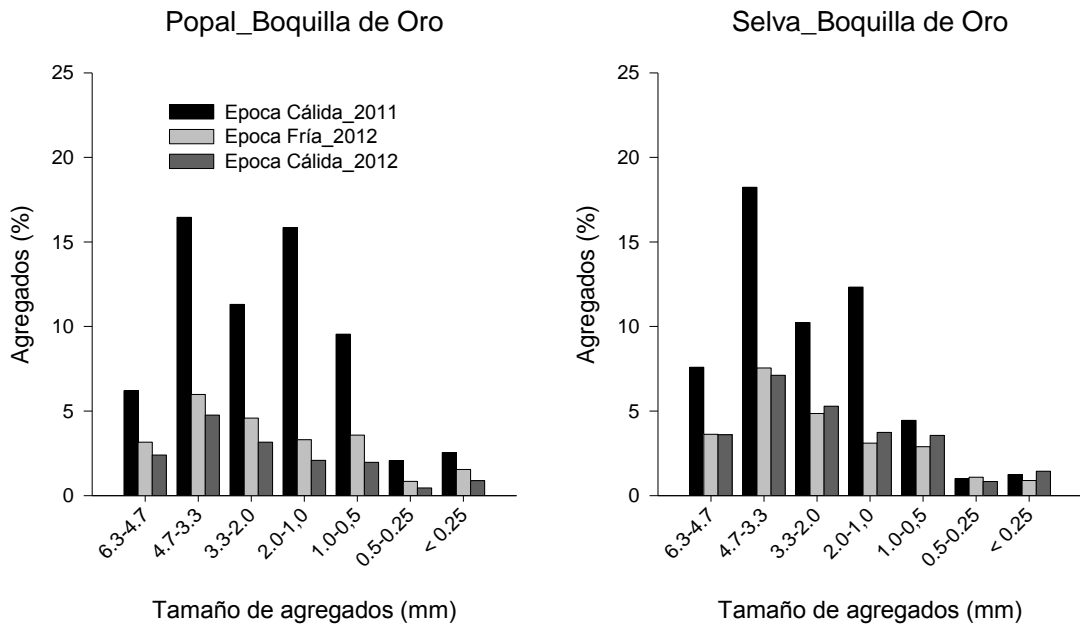


Figura 49. Proporción de agregados de los humedales de selva y popal del sitio Boquilla de Oro.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

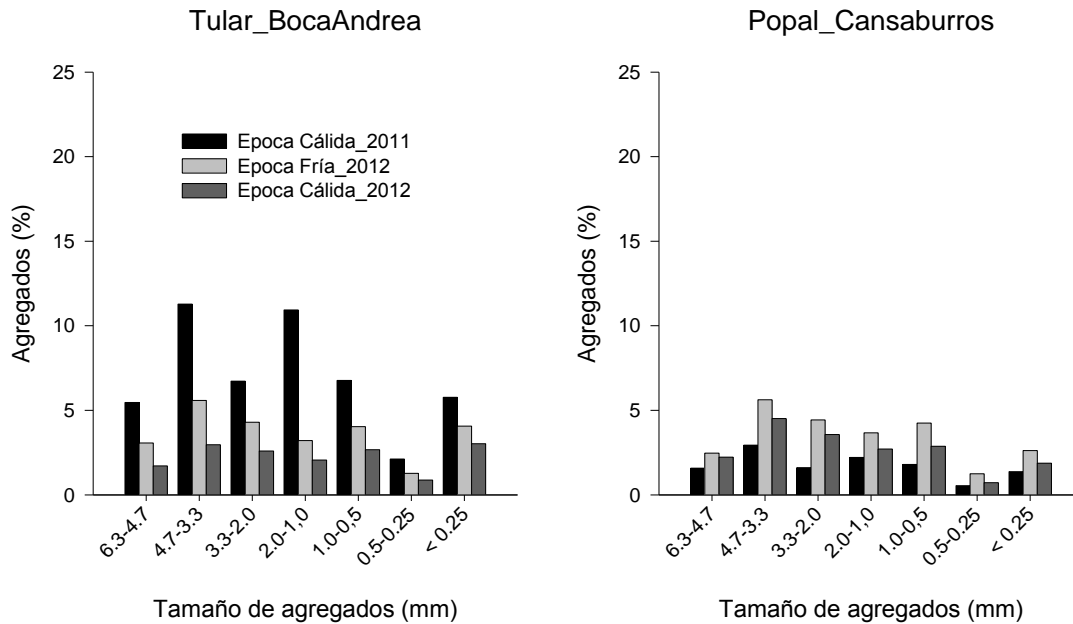


Figura 50. Proporción de agregados de los humedales de tular de Boca Andrea y el popal del sitio Cansaburros.

6 CONCLUSIONES

La restauración es un proceso complejo y dinámico que requiere el constante monitoreo a lo largo del tiempo, que permita definir los indicadores de éxito.

La restauración del humedal herbáceo de La Mancha desde su comienzo en el 2007 a la fecha ha tenido varios cambios en distintos ámbitos, el principal fue la hidrología, se recalca la importancia del hidroperiodo como base para la restauración de humedales, en este caso el humedal se encuentra ubicado en una zona donde la mayor aportación de agua es por manto freático, por lo que solo se ayudó a remover el suelo para que se inundara naturalmente, otro de los cambios es el paisaje, ya que pasó de ser un pastizal con parches de vegetación nativa (como se encontraba al inicio) a un popal el cual se encuentra dominado por *Sagittaria lancifolia* y *Pontederia sagittata*, que representa los parches de vegetación nativa establecido como humedal de referencia al inicio. Se recuperó al mismo tiempo su función ecológica como hábitat para especies de fauna como aves, anfibios, reptiles, insectos etc. Y como filtro natural de depuración de agua. Se puede decir que se cumplieron los objetivos planteados.

Una de las metas generales de la restauración es crear un sistema que requiera un mínimo de mantenimiento, hasta llegar a la autosuficiencia. En este caso el pasto ya no se presenta en el humedal, pero puede presentar rebrotes que se tienen que extraer, además de que presenta la

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

amenaza del pasto en el terreno contiguo por lo tanto se requerirá dar mantenimiento al canal de barrera física para evitar la reinvasión.

Los requerimientos básicos para la restauración se tienen bien identificados mediante todas las actividades de manejo llevadas a cabo las cuales fueron comprobadas en su eficiencia, además que los costos de restauración son relativamente bajos ya que solo se requiere un mayor esfuerzo al inicio para recuperar el hidroperiodo.

La situación actual de los humedales herbáceos en Veracruz, es crítica primero porque representan muy bajo porcentaje del total de los humedales y de los pocos que hay se encuentran deteriorados, gran parte de ellos se encuentran convertidos en potreros o en pastizales, por lo que la extrapolación de la restauración sería muy viable y necesaria de llevarse a cabo.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abiven S., Menasseri S., Chenu C. 2009. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability – A literature analysis. *Soil Biology & Biochemistry* 41 1-12.
- APHA-AWWA-WPCF. 1990. Standard methods for the examination of water and wastewater. America Public Health Association. Washington, USA. 1134p.
- Bai J., Wand, Q., Deng, W.Gao, H., Tao, W. and Xiao, R. 2011. Spatial and seasonal distribution of nitrogen in marsh soils of a typical floodplain wetland in northeast China. *Environ Mon Assess* DOI: 10.1007/s10661-011-2037-3.
- Batzer, D. y S.A., Wissinger. 1996. Ecology of insects communities in nontidal wetlands. *Ann.Rev. Entomol.* 41: 75-100.
- Beauchamp E.G., J.T. Trevors, J.W. Paul. 1989. Carbon sources for bacterial denitrification. *Adv. Soil Sci.*, 10 pp. 113-142.
- Benoit L.K. y R. A. Askins. 2002. Relationship between habitat area and the distribution of tidal marsh birds. *The Wilson Bulletin* 114 (3): 314-323.
- Bildstein, k. L., g. T. Bancroft, p. J. Dugan, d. H. Gordon, r. M. Erwin, e. Nol, I. X. Payne & s. E. Senner. 1991. Approaches to the conservation of coastal wetlands in the Western Hemisphere. *Wilson Bulletin* 103:218-254.
- Borror, D.J., y R.E., White. 1970. A field guide to Insects. Boston. 4040 p.
- Borror, D.J., Ch.A., Triplehorn & N.F., Johnson. 1989. An introduction of the study of insects. Sixth edition. United States. 875 p.
- Bowden W.B. 1987. The biogeochemistry of nitrogen in freshwater wetlands. *Biogeochemistry*. Vol. 4 No. 3 pp. 313-348.
- Brinson M. M; B. L Swiff ; R.C Plantico y J.S Barclay. Riparian ecosystems: their ecology and status. U.S. Fish and Wildlife Service Biological Report 81/17 (1981), p. 155.
- Brix H., K. Dyhr-Jensen y B. Lorenzen. 2002. Root-zone acidity and nitrogen source affects *Typha latifolia* L. growth and uptake kinetics of ammonium and nitrate. *Journal of Experimental Botany* 53 (379): 2441-2450.
- Cairns, John Jr., P. V., McCormick y B.R., Niederlehner. 1993. A proposed framework for developing indicators of ecosystem health. *Hidrobiologia* 263:1-44.
- Chambers, R. M., L. A. Meyerson, y K. Saltonstall. 1999. Expansion of *Phragmites australis* into tidal wetlands of North America. *Aquatic Botany* 64:261–273.
- Chovanec, A. y R. Raab, 1997. Dragonflies (Odonata, Insecta) and the ecological status of newly created wetlands – examples for long-term bioindication programmes. *Limnologica* 27 (34): 381–392.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

- Contreras-Ramos, A. 1997. Clave para la determinación de los Megaloptera (Neuropterida) de México. *Degusiana* 4: 51-61.
- Cronk, J.K. y M.S. Fennessy. 2001. *Wetland Plants: Biology and Ecology*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, EE.UU.
- Cummins K.W. y Merritt, R.W. 2001. Application of invertebrate functional groups to wetlands ecosystem function and biomonitoring p. 85-111. In R..B. Rder, D.P. Batzer y S.A. Wissinger (eds) *Bioassessment and management of North America freshwater wetlands*. John Wiley & Sons, INC. New York. 469p.
- De La Lanza Espino, G., S.P. Hernández & 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 Pérez AL. 1993. La ganadería bovina entre ejidatarios: ¿sistema de producción o mecanismo de sobrevivencia?. In: Barrera N, Rodríguez H, editors. *Desarrollo y medio ambiente en Veracruz*. México, DF: Fundación Friedrich Ebert. p 289–297.
- Fairbairn S.E y J. Dinsmore. 2001. Local and landscape-level influences on wetland bird communities of the prairie pothole region of Iowa, USA. *Wetlands* Vol. 21 (1) pp. 41-47.
- Favila, M.E y G. Halffter. 1997. The use of indicator groups for measuring biodiversity as related to community structure and function. *Acta Zool. Mex.* 72: 1-25.
- Fink D. F y Mitsch W. J. Hydrology and nutrient biogeochemistry in a created river diversion oxbow wetland. *Ecological engineering* (30) pp. 93-102.
- Froese, R. y D. Pauly. (eds) 2011. FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, version (12/2013).
- Gómez-Pompa A, Barrero Gámiz, N.1982. Índice de proyectos en desarrollo en ecología tropical. Vol. III. Xalapa: Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos.
- González-Soriano, E. y R. Novelo-Gutiérrez. 1996. Odonata. p. 147-167. In: J.E Llorente-Bousquets, A. García-Aldrete y E. González-Soriano (eds.). *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento*. UNAM. México. D.F.
- Groffman P.M y M. K. Crawford. 2003. Denitrification Potential in Urban Riparian Zones. *Journal of Environmental Quality* Vol. 32 No. 3, p. 1144-1149.
- 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.
- Hilsenhoff, W.L. 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. *J.N.Am. Benthol.Soc.* 7(1): 65-68.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

- Howard-Williams C, Walker BH. 1974. The vegetation of a tropical African lake: classification and ordination of the vegetation of Lake Chilwa (Malawi). *Journal of Ecology* 62:831-854.
- Infante, M.D., Rivera-Guzman, N. Sánchez-Higeredo, L. Madero, V. C. 2008. Análisis de la calidad de agua en tres sistemas del Estado de Guerrero: Laguna Las Salinas, Río Ixtapa y Río Pantla. Reporte elaborado para Los Médanos S.A. de C.V.
- Inoue, T. M. y T. Tsuchiya. 2006. Growth strategy of an emergent macrophyte, *Typha orientalis* Presl, in comparison with *Typha latifolia* L. and *Typha angustifolia* L. *Limnology* 7:171–174.
- Johnston C. A.. 1991. Sediment and nutrient retention by freshwater wetlands: Effects on surface water quality. *Critical Reviews in Environmental Control*. Vol. 21 pp. 5-6.
- Landgrave, R. y Moreno-Casasola P. 2012. Evaluación cuantitativa de la pérdida de humedales en México. *Investigación ambiental* 4: 19-35.
- Lavoie M. y Bradley R.L. (2003). Short-term increases in relative nitrification rates due to trenching in forest floor and mineral soil horizons of different forest types. *Plant and Soil* 252: 367-384.
- Lindig- Cisneros R.y Zedler J.B. 2005. La restauración de humedales. In: Temas sobre restauración ecológica. (eds. O. Sanchez, E. Peters, R. Marquez-Huitzil, E. Vega, G. Portales, M. Valdez y D. Azuara). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología U.S. Fish and Wildlife Service Unidos para la Conservación A.C. p 201-211.
- 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, Moreno-Casasola P, Mendelssohn IA. 2006. Effects of experimental disturbances on a tropical freshwater marsh invaded by the African grass *Echinochloa pyramidalis*. *Wetlands* 26(2): 593-604.
- López Rosas H, Moreno-Casasola P, Mendelssohn IA. 2005. 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* 1 (3): 187 – 195.
- López Rosas, Hugo. 2007. Respuesta de un humedal transformado por la invasión de la gramínea exótica *Echinochloa pyramidalis* (Lam.) Hitchc. & A.Chase a los disturbios inducidos (cambios en el hidropereodo, apertura de espacios y modificación de la intensidad lumínica). Doctorado en Ecología y Manejo de Recursos. Tesis Doctoral. Instituto de Ecología A.C., Xalapa. Ver. Fecha de examen 13 de junio.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo 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. y P. Moreno-Casasola. 2012. Invader versus natives: Effects of hydroperiod on competition between hydrophytes in a tropical freshwater marsh. *Basic and Applied Ecology* 13: 40-49.

Lorenzen, B., H Brix, I.A. Mendelssohn. 2001. Growth, biomass allocation and nutrient use efficiency in *Cladium jamaicense* and *Typha domingensis* as affected by phosphorus and oxygen availability. *Aquatic Botany* 70 (2): 117-133.

Lot-Helgueras A. 1991. Flora y vegetación de las zonas acuáticas de Veracruz. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F. 226 pp.

Margalef R. Limnología. Omega. Barcelona. España. 1010p.

Martín-Piera F. 2000. Estimaciones prácticas de biodiversidad utilizando taxones de alto rango en insectos. 35-54. In Martín-Piera F., J.J. Morrone y A. Melic (eds.) Hacia un proyecto CYTED para el inventario y estimación de la diversidad entomológica en Íbero América: PriBES. S.E.A. España. 326p.

Martín-Piera, F., J.J. Morrone y A. Melic (eds) 2000. Hacia un proyecto CYTED para el inventario y estimación de la diversidad entomológica en Iberoamérica: PriBES 2000. m3m-Monografías Tercer Milenio vol. 1, Sociedad Entomológica Aragonesa (SEA), Zaragoza, 326 pp.

McCafferty, W. P. y C.R. Lugo-Ortiz. 1996. Ephemeroptera. pp. 133-145. In: J. E. Llorente-Bousquets, A. García-Aldrete y E. González-Soriano (eds.). Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento. UNAM. México. D.F.

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: 1-29.

McCormick P. V y R. Jan Stevenson. 1998. Periphyton as a tool for ecological assessment and management in the Florida Everglades. Vol. 34 (5) pp. 726-733.

Melgarejo Vivanco JL. 1980. Historia de la ganadería en Veracruz. Xalapa, Mexico: Ediciones del Gobierno de Veracruz.

Merritt, R.W, y K.W. Cummins. 1996. An introduction to the aquatic insects of North America. Kendall/hunt Publishing Company. Iowa. 862p.

Middleton, B., 1999. Wetland Restoration: Flood Pulsing and Disturbance Dynamics. Wiley, New York.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

- Miller, R. (con la colaboración de W.L. Minckley y S.M. Norris) 2005. Freshwater Fishes of México. The University of Chicago 494 pp.
- Mitsch, W. J. y J. G. Gosselink. 2000. Wetlands, 3a. ed. John Wiley & Sons Ltd., Nueva York.
- Parsons, J. J. 1972. Spread of African pasture grasses to the American tropics. Journal of Range Management 25:12-17.
- Mitsch W.J.; Day Jr., J.W. Gilliam, P.M. Groffman, D.L. Hey, G.W. Randall, N. Wang. 2001. Reducing nitrogen loading to the Gulf of Mexico from the Mississippi River Basin: Strategies to counter a persistent ecological problem. BioScience, 51, pp. 373–388.
- Moore N.W. 1984. Dragonflies as indicators of environmental health. IUCN Species Survival Commission Newsletter 7-8.
- Moreno- Casasola P., Infante D. M., 2010. Veracruz. Tierra de Ciénegas y pantanos. Comisión Organizadora del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave para la Conmemoración del Bicentenario de la Independencia Nacional y del Centenario de la Revolución Mexicana / Secretaria de Educación-Gobierno del Estado de Veracruz, México.
- Naugle, D. E., K. F. Higgins, S. M. Nusser, and W. C. Johnson. 1999. Scale-dependent habitat use in three species of prairie wetland birds. Landscape Ecology 14:267–276.
- Novelo A. 1978. La vegetación de la estación biológica El Morro de la Mancha, Veracruz. Biotica 3(1): 9-23.
- Novelo-Gutiérrez R. 1997a. Clave para la separación de familias y géneros de las náyades de Odonata de México, parte I. Zygoptera. Degusiana 4: 1-10.
- Novelo-Gutiérrez R. 1997b. Clave para la separación de familias y géneros de las náyades de Odonata de México, parte II. Anisoptera. Degusiana 4: 31-40.
- Novelo- Gutierrez R, J.A Gomez Anaya and R. Arce- Perez, 2002. Community structure of odonata larvae in two streamas in Zimapan, Hidalgo, México. Odononatologica 31 (3): 273-286.
- Obregón Barboza, H., S. Contreras Balderas y M.L. Lozano-Vilano 1994. The fishes of northern and central Veracruz, Mexico. Hydrobiologia, 289: 79-95.
- Olgúin-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.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

Patzner, R.A., J.L. Van Tassell, M. Kovačič and B.G. Kapoor, 2011. The biology of gobies. Enfield, NH : Science Publishers ; Boca Raton, FL : Distributed by CRC Press, 685 p.

Peralta–Peláez L.A. 2007. Diseño de un índice de integridad biótica para los lagos interdunarios de la región costera central del estado de Veracruz, México. Tesis Doctorado. Instituto de Ecología, A.C.

Peralta Pelaez, L.A., C. Deloya y P. Moreno-Casasola. 2007. Insectos Acuáticos Asociados a las Lagunas Interdunarias de la Región Central del Estado de Veracruz, México. Neotropical Entomology 36 (2):342-355.

Hilsenhoff, W.L. 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. J. N. Am. Benthol. Soc. 7(1):65-68.

Picman J., M. Milks y M. Leptich. 1993. Patterns of predation on passerine nests in marshes: effects of water depth and distance from edge. Biological conservation, Vol 127 (1) 37-45.

Priego-Santander AG, Moreno-Casasola P, Palacio-Prieto JL, López-Portillo JA, Geissert-Kientz D. 2003. Relación entre la heterogeneidad del paisaje y la riqueza de especies de flora en cuencas costeras del estado de Veracruz, México. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, México 52: 31-52.

Richardson D.; Pysek P.; Rejmanek M.; Barbour M.; Panetta F. Dane; West C., 2000. Diversity and Distributions, Volumen 6, Número 2, pp. 93 – 107.

Roden E. E. y R. G. Wetzel. 1996. Organic carbon oxidation and suppression of methane production by microbial Fe(III) oxide reduction in vegetated and unvegetated freshwater wetland sediments. Limnology Oceanography, 41(8), 1733-1748.

Ruelas L. 2004. A Collaborative Approach to Water Allocation in a Coastal Zone of Mexico. Tesis Doctoral. Universidad de Liverpool, Gran Bretaña.

Saab, V. & D.R. Petit. 1992. Impact of pasture development on winter bird communities in Belize, Central America. Condor 94: 66-71.

Sahlén, G. 1999. The impact of forestry on dragonfly diversity in Central Sweden. The International Journal of Odonatology 2: 177-186.

Sala O. E; Chapin F.S; Armesto J.; Berlow E.; Bloomfield J.; Dirzo R.; et al., 2000. Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. Science Vol. 287 no. 5459 pp. 1770-1774.

Samways M.J. 1989. Insect conservation and the disturbance landscape. Agriculture, Ecosystems & Environment. Vol 27 pp. 183- 194.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

Sandoval J.C. y Molina A.I 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.

Sánchez Higuero, Lorena. 2007. El papel de *Typha domingensis* L. en el control del enriquecimiento de los humedales por aguas de escorrentía agrícola. Tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Veracruzana. Fecha de examen 13 de septiembre.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2002. Sistema integral de información agroalimentaria y pesquera (www.siap.sagarpa.gob.mx).

SER (Society for Ecological Restoration) 2002. *The SER primer for ecological restoration*. SER, EE.UU.

SER (Society for Ecological Restoration International-Sociedad Internacional para la Restauración Ecológica). 2004. Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas. Principios de SER International sobre la restauración ecológica.

Soberón, J. y J. Llorente. 1993. The use of species accumulation functions for the prediction of species richness. *Conservation Biology*. 7: 480-488.

Stevenson, N.J. 1996. A Review of the Occurrence of Disused Shrimp Ponds; an Investigation into Causes of Abandonment, and Recommendations for Restoration and Rehabilitation. Masters thesis. Centre for Tropical Coastal Management Science, Department of Marine Sciences and Coastal Management, University of Newcastle upon Tyne, UK.

Streever, W. 1999. *An international perspective on wetland rehabilitation*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Holanda.

Tapia CJ, Carrera CM, Buller RE. 1962. Zacate Alemán para terrenos inundables del trópico. Circular CIASE N° 6, 7. México, DF: Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, S. A. G.

Tiedje, M.J.1982. Denitrification. *In* Methods of soil analysis. Agronomy Monograph, no. 9, ASA-SSSA, Madison WI, USA, pp. 1011-1027.

Travieso-Bello, AC. 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.

INFORME FINAL

Proyecto HH024 Consolidación de la restauración y monitoreo de un popal invadido por el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*, POACEAE) en el sitio Ramsar No. 1336 La Mancha y El Llano.

Travieso- Bello A., Moreno- Casasola P., 2006. Los Humedales. Entornos Veracruzanos: La Costa de La Mancha. Moreno-Casasola P. (Ed.). Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, Ver. México, 576 pp.

Van de Graaf A., P de Bruijn, L. A. Robertson, M. S Jetten y J. Gijs Kuenen. 1997. Metabolic pathway of anaerobic ammonium oxidation on the basis of ¹⁵N studies in a fluidized bed reactor. *Microbiology* vol. 143 no. 7 2415- 2421.

Weller MW. 1994. *Freshwater marshes*. 3rd ed. Minneapolis (MN): University of Minnesota Press.

Westhoff V. y E. Van der Maarel. 1978. The Braun Blanquet approach. En: R. H, Whittaker (ed.), *Classification of Plant Communities*. Dr W. Junk b.v. Publishers-The Hague, pp. 287-399.

Wischnath, L., 1993. *Atlas of livebearers of the world*. T.F.H. Publications, Inc., United States of America. 336 p.

Wissinger, S.A., S.G. Ingmire y J.L. Bogo. 2001. Plant and invertebrate communities. Indicators of success for wetlands restored for wildlife. In: R.B. Rade, D.P. Batzer y S.A. Wissinger (Ed.) *Bioassessment and Management of North American Freshwater Wetlands*. John Wiley & Sons. Nueva York. 207 – 236.

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

Zheng L. y R. Jan Stevenson. 2006. Algal assemblages in multiple habitats of restored and extant wetlands. *Developments in Hydrobiology*, Vol. 185 pp 221-238.

Zibilske L.M y Bradford J. M. 2007. Soil aggregation, aggregate carbon and nitrogen, and moisture retention induced by conservation tillage. *Soil Science society of America Journal*. Vol 71,p. 793- 802.

Zohary, T., Fishbein, T., Kaplan, B. and Pollinger, U. 1998. Phytoplankton-metaphyton seasonal dynamics in a newly-created subtropical wetland lake. *Wetlands Ecol. Managmt*. 6: 133-142.