

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA
CALIFORNIA.**

FACULTAD DE CIENCIAS.

**MAESTRÍA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS EN
ZONAS ARIDAS.**



**Control biológico de malezas acuáticas.
Estudio de caso en el Valle de Mexicali, Baja
California, México**

**PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO CIENCIAS
EN MANEJO DE ECOSISTEMAS
EN ZONAS ARIDAS,
PRESENTA:
JESUS ANTONIO FRANCO RUIZ**

Director de tesis:
DR. JOSÉ LUIS FERMÁN ALMADA

SINODALES:

DR. MANUEL SALVADOR GALINDO BECT DR. GORGONIO RUIZ CAMPOS.

ENSENADA, B.C., OCTUBRE DEL 2014.

AGRADECIMIENTOS:

A mi padre, que siempre ha estado conmigo y siempre estará y a quien le debo todo lo que soy.

A mi madre, que siempre ha cuidado de mí.

A mis hijos, que tanto amo.

A mi esposa por aguantarme todo el tiempo que hemos pasado juntos.

A la Universidad Autónoma de Baja California, mi alma mater, por tantos años de apoyo.

A mis maestros que lograron trasmitirme su conocimiento.

A mi director de tesis, por su paciencia y guía para la elaboración del presente documento.

A ustedes Chava y Gorgonio por sus valiosos consejos y apoyo para lograr el objetivo.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS

MÁESTRIA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS EN ZONAS ÁRIDAS

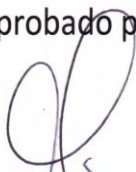
“Control biológico de malezas acuáticas. Estudio de caso en el Valle de Mexicali, Baja California, México”

**Tesis que para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS**

Presenta

JESÚS ANTONIO FRANCO RUIZ

Aprobado por



Dr. José Luis Fermán Almada



Dr. Gorgonio Ruiz Campos



Dr. Manuel Salvador Galindo Bect

Resumen. En los sistemas de canales de irrigación en el valle de Mexicali, Baja California, se detectó la presencia de la maleza acuática *Hydrilla verticillata* durante la década de 1970, en el año de 1988, implementándose un programa de control biológico por conducto de autoridades mexicanas y de los Estados Unidos de América, utilizando la carpa herbívora triploide (*Ctenopharingodon idella*).

Durante 25 años se llevo a cabo el programa, hasta que el año de 2012, se declaro erradicada la hydrilla del Valle de Mexicali. Lo cual demuestra que técnicamente es factible la metodología para el control de la maleza objetivo. En cuanto a la factibilidad económica el método demostró que reduce hasta en un 90% los costos de conservación de canales para el control de malezas acuáticas. En la actualidad se encuentra en elaboración el proyecto ejecutivo para la construcción y operación de un sistema de reproducción de carpa herbívora en Mexicali, con la intención de utilizar el método en los cerca de 3,000 Kms. de canales y con ello reducir sustancialmente los costos de conservación en materia de malezas en los sistemas de distribución de agua en el Valle de Mexicali, Baja California, México.

Palabras clave: malezas acuáticas, control biológico, *Hydrilla verticillata*, carpa herbívora, *Ctenopharingodon idella*, conservación de canales.

INDICE.

I.- PORTADA.	1
II.- AGRADECIMIENTOS.	2
III.- CARTA DE APROBACION DE SINODO.	3
IV.- RESUMEN.	4
V.- INDICE.	5
VI.- INTRODUCCION.	6
VII.- ANTECEDENTES.	13
VIII.- OBJETIVOS.	20
IX.- METODOLOGIA.	21
X.- RESULTADOS.	23
X.1- VIABILIDAD TECNICA.	23
X.- VIABILILIDAD ECONÓMICA.	26
XI.- DISCUSION.	30
XII.- CONCLUSIONES.	33
XIII.- RECOMENDACIONES.	35
XIV.- BIBLIOGRAFIA.	40

VI.- INTRODUCCIÓN.

El control biológico de plagas agrícolas es una tecnología que derivó del balance de la naturaleza que ocurre en los ecosistemas, considerando que debe existir un funcionamiento armónico con la naturaleza y es concebido como una manifestación de la ecología aplicada. El uso práctico de depredadores para el control de plagas en cítricos tiene un registro escrito de más de 1700 años de antigüedad en China (Trujillo A., 2008).

En México el control biológico de plagas agrícolas se aplica desde hace más de 70 años y su desarrollo es reconocido en forma general, tanto dentro del país, como a nivel internacional (Trujillo A., 2008).

Sin embargo conviene reconocer que el control biológico no es la panacea, para todos los casos y mucho menos está exento de críticas. La introducción de enemigos naturales en varios países han provocado un impacto negativo sobre organismos que no eran objeto del control (Arredondo y Rodríguez, 2008); lo anterior debido a que las especies objetivo típicamente no son nativas del sitio donde causan problemas, el control biológico consiste en introducir especies que son enemigos naturales y en consecuencia en la mayoría de los casos tampoco son nativas de los ecosistemas y por esa misma causa carecen de enemigos naturales.

Generalmente las plantas acuáticas que se comportan como malezas, como se menciona anteriormente, no son originarias de los ecosistemas donde causan los problemas y las consecuencias adversas. La proliferación de esas plantas provoca grandes problemas de índole económica, ecológica y de salud (Martínez–Jiménez, 2008; Klingman y Ashton, 1980).

En relación a los problemas económicos, Martínez–Jiménez (2008) citan la pérdida de agua por evapotranspiración, azolvamiento prematuro, limitación actividad pesquera y recreativa, la obstrucción de canales de riego y de tomas en plantas hidroeléctricas y la obstrucción en la operación de obras

hidráulicas, el deterioro de los valores paisajísticos, costos en el mantenimiento conservación en niveles operativos de los equipos, así como los sistemas de distribución, tratamiento y entrega de agua.

Entre los problemas ecológicos en el agua, por la acumulación excesiva de maleza, interfiere con la incidencia de la luz solar, además interfieren en el intercambio gaseoso aire-agua, reduciendo de manera sustancial la incorporación de oxígeno al medio acuático; además la infestación provoca reducción del área de flujo del cauce, incrementa la fricción entre el cauce y la fase acuosa y como consecuencia el estancamiento de agua (Aguilar et al, 2000).

Lo anterior disminuye la concentración del oxígeno disuelto, creando una modificación drástica del hábitat y por consecuencia un impacto severo en el ecosistema natural del cuerpo de agua, en especial las especies acuáticas que subsisten en el mismo (Trujillo, 2008).

Con respecto a los problemas de salud, las malezas acuáticas, por tener la capacidad de modificar de manera importante su entorno, constituyen un hábitat adecuado para el desarrollo de organismos vectores de enfermedades, como insectos transmisores de enfermedades como la filiarasis (elfentatitis entre otras), helmintiasis, dengue, encefalitis, paludismo y fiebre amarilla entre otras, que tiene capacidad de afectar a la población humana cercana a las aéreas de infestación de maleza, mediante diversos vectores; especialmente insectos (Martínez–Jiménez, 2008).

En cuanto a las implicaciones económicas es de destacarse que cuando las malezas acuáticas se reproducen excesivamente, causan problemas a la gente, que hace uso de estanques, lagos, ríos, sistema de irrigación y drenaje. Como consecuencia de ello y para que funcionen de manera eficiente se requiere invertir recursos económicos para instaurar y operar un programa para su control, remoción y erradicación, lo cual dependerá de la cantidad de dinero que esté disponible para la meta elegida, el nivel de remoción deseado y el tiempo que se establezca para el logro del objetivo planteado (Martínez–Jiménez, 2008).

Múltiples costos económicos pueden considerarse para la solución de los problemas que causan las malezas en los cuerpos de agua, de los cuales destacan, reducción del turismo, reducción de la pesca, pérdida de agua por absorción, infiltración, evaporación y por evapotranspiración, costos implícitos por la instalación y operación de un programa de mantenimiento del cuerpo de agua, costos de mantenimiento de equipos de distribución de agua, monitoreo y servicios ecosistémicos que pudiéramos agregar (Trujillo, 2008).

No en la totalidad de los casos de que han existido las malezas acuáticas se han considerado perjudiciales para un cuerpo de agua, existen casos en que han sido utilizadas para la reducción de la erosión a lo largo de depósitos y cauces de agua, se han utilizado como alimento para ganado y han proporcionado áreas de protección para invertebrados acuáticos, peces y aves de cacería y algunas malezas se han utilizado para configurar áreas de recreación, en cuerpos de agua definidos, como en casos de lagos y lagunas artificiales, con la intención de proteger de la erosión los bordos y con ello evitar su colapso por oleaje provocado por el viento (Trujillo, 2008).

Por ello en la mayoría de los casos de invasión de malezas acuáticas, se hace necesario un programa para la remoción de las malezas en cuerpos de agua y ello implica un costo, el cual estará siempre en función del tamaño y las características del objeto de saneamiento y las características de la especie a remover. Diversos métodos de remoción han sido aplicados para el control de malezas y reducir los problemas que causan (Aguilar, et al, 2000).

El principal factor para determinar el método de remoción y control de las malezas es el uso que se haga del agua, el cual es considerado el factor de mayor importancia para que el responsable de tomar la decisión determine los tratamientos de saneamiento de malezas que se puedan seguir en cada caso concreto y, a juicio del autor, conviene indicar en el presente documento las diversas técnicas, que para el logro de dicho propósito se han utilizado, para el logro de controlar el problema (Klingman, 1980).

Los métodos que se han utilizado son los siguientes:

1. Construcción adecuada de estanques, con fondos de concreto o geomembrana, para no proporcionar sustrato para la fijación de los rizomas de la maleza acuática.
2. Competencia por luz, cubrir el paso de la luz al cuerpo de agua para inhibir la fotosíntesis de las malezas acuáticas.
3. Pastoreo, mediante la introducción de organismos herbívoros de la zona.
4. Desecamiento, retirar el agua y posteriormente retirar con equipo o manualmente la maleza acuática.
5. Corte, existen varios métodos de corte de las malezas acuáticas, de manera manual, con cadenas, excavadoras y dragas.
6. Limpieza manual, el método más rustico, el personal se introduce al cuerpo de agua y retira desde su raíz la maleza.
7. Uso de cadenas, se utilizan dos vehículos, uno de cada lado del cauce y una cadena de buen peso se arrastra por el cauce para remover el fondo y arrancar la maleza.
8. Dragado, uso de equipos mecánicos de dragado, que retiran el fondo del cuerpo de agua, con la maleza.
9. Quema, se seca el cuerpo de agua y se realiza una quema del fondo del cuerpo de agua.
10. Control biológico, se introduce un enemigo natural, como parásito, depredador o enfermedad que ejercen un control de las malezas.
11. Control químico, uso de productos químicos específicos que provocan la muerte o reproducción de la maleza objetivo.

Control Biológico.- Las malezas acuáticas se han controlado por peces, caracoles, microorganismos y por plantas superiores. Algunos peces de agua dulce se comen la vegetación acuática. Al pez amur blanco (parecido al salmón), tilapia y el pez dólar de plata, se usan en algunas partes del mundo para el control de malezas acuáticas (China, Polonia, URSS y Checoslovaquia), el caracol Grande (*Marisa cornuarieta*) en Estados Unidos y Puerto Rico, pulga escarabajo (*Agasicles higrófila*), piojillos (*Minothrips*

andersoni) y polilla (*Voigtia malloi*) en Florida, que han resultado en buenos agentes de control (Zhang et al. 2004)

Diversos agentes biológicos se han estudiado para controlar la Hydrilla, incluye algunas especies de insectos, y el hongo patógeno *Mycocleptodiscus sp.*, que induce una enfermedad infecciosa en la maleza. Otro método de remoción es el dragado y la introducción de carpa herbívora triploide *Ctenopharyngodon idella* (Zhang et al, 2012).

Uso de Químicos.- Una gran diversidad de productos químicos han sido empleados para el control de malezas acuáticas, sin embargo la principal consideración para su uso, depende de la utilización que al recurso hídrico se le vaya a dar, el caso particular resulta indispensable previamente realizar una evaluación en materia de riesgo antes de cualquier aplicación de productos químicos y tomar las medidas necesarias a efecto de minimizar los riesgos que conllevan.

Cuando el agua es para consumo del ser humano, la normatividad en los Estados Unidos de América, sólo se permite el uso de cobre iónico, Diquat (compuesto dibromuro) y sal de dimetilamina (2,4-D), siempre que las concentraciones no rebasen de 0.1 ppm (Trujillo, 2008).

Existen muchos más productos químicos que se utilizan para el control de malezas, en aguas cuyo destino no es para suministro a la población como el uso de la acreolina, amitrol, solventes aromáticos, sulfato de cobre, sivex, dalapon, diclobenceno, endotal y fenac, que se han utilizado ampliamente en los Estados Unidos de América (Trujillo, 2008).

Esta metodología de control de malezas suele ser utilizado en áreas con características especiales donde el control biológico resulta ineficiente y también suele ser utilizado como complemento para eliminar cepas de malezas, donde el control biológico no ha resultado tan efectivo (Klingman, 1980).

Control mecánico.- Los procesos de control de malezas por métodos mecánicos, como dragas, excavadoras y el uso de cadenas, resulta un método de remoción costoso. Además de esa desventaja, produce alteraciones en la calidad del agua, con la remoción de sedimentos, provocando turbulencia y altera el ecosistema acuático en el que se usa Arredondo, 2008).

El método de control de malezas acuáticas más utilizado en los distritos de riego de nuestro país en la conservación de canales y drenes a cielo abierto, el control biológico para enfrentar el problema de malezas es un método que se inicia a utilizar en la actualidad, el presente documento describe una experiencia exitosa, no solo para el control de hydrilla, sino para el control de todas las malezas acuáticas en canales de riego y embalses de agua en general (Aguilar et al, 2000).

La maquinaria especializada para remover la *Hydrilla*, no es usada ampliamente, por los altos costos que implican alrededor de los \$25 dólares por metro cuadrado y por el rápido crecimiento de la maleza se requiere realizar las operaciones, al menos 6 veces por año, lo que representa un costo de hasta \$150 dólares por m²/año (McGehee, 1979, Langeland, 2013).

Adicionalmente este método, al fragmentar y romper la planta, los fragmentos flotan en la superficie aguas abajo, provocando la diseminación de la planta y, por las características propias de la especie en sus capacidades reproductivas, provoca que esta se disemine, incrementando paulatinamente el área de infestación, lo que a la larga resulta contraproducente desde el punto de vista de controlar la maleza y en lo económico a largo plazo (Villanueva,1993).

Desecamiento.- Por el servicio que prestan los embalses de agua y los canales de distribución de agua, los métodos de desecarlos con la finalidad de remover las malezas acuáticas, son costosos y la consecuencia de ello es un impacto social y económico, además, en la mayoría de los casos resulta imposible la utilización de esta estrategia por razón de que resulta muy complicado o muy caro suprimir el servicio que proporcionan los cuerpos de

agua a tratar, que conlleva problemas de índole, incluso político; además el gran impacto que el método provoca en los ecosistemas acuáticos que subsisten en estos cuerpos de agua.

Sin embargo para un programa de control biológico, este método puede ser utilizado en forma complementaria en áreas donde, por las condiciones propias de hábitats, como lo es canales con profundidad menor a 30 Centímetros, donde el control biológico resulta ineficiente y costoso (Stocker,1988).

VII.- ANTECEDENTES.

El Valle de Mexicali, ubicado en el extremo noroeste de nuestro país (Figura 1), es un valle agrícola con una superficie cultivada de alrededor de 200,000 hectáreas, todas sujetas a riego. El agua que se utiliza proviene del Río Colorado y se distribuye a través del distrito de riego 014 del Río Colorado, mediante una red de canales de riego de 2,300 kilómetros de red menor, manejando un gasto hidráulico de casi 94 metros por segundo en promedio de agua. En la actualidad el agua en el distrito desde hace ya 15 años, es manejada por una sociedad rural, integrada por los usuarios del agua de la red menor en el distrito, constituidos por 22 grupos de usuarios distribuidos por módulos de riego (Figura 2).



Figura No. 1.- Muestra la ubicación del Valle de Mexicali, Baja California, México.

un alto costo económico y la pérdida de un volumen importante de agua por evapotranspiración.

La Hydrilla (*H. verticillata*) es una especie cosmopolita que se encuentra en Europa, Asia, Australia, Nueva Zelanda, África, las Islas del Pacífico, Centro y Suramérica y Norteamérica (Langeland, 2013).

En Norteamérica se ha detectado en todos los estados de la costa del Golfo de México, los estados de la costa del Atlántico y tan al norte como los estados de Maryland y Delaware, y en los estados del Oeste como California, Arizona y Washington (Langeland, 2013).

La especie *H. verticillata* fue encontrada en Estados Unidos cerca de Miami, Florida en 1960, donde se presume fue introducida para su uso en acuarios y se ha convertido en una maleza bastante problemática y con un alto costo en ese país.

Fue descubierta en el Valle Imperial, California (E.U.A.) en el año de 1977 (Imperial Irrigation District, 1998) y en la infraestructura hidráulica del Valle de Mexicali en ese mismo año y ese mismo año se encontró por primera vez hydrilla en canales del valle de Mexicali (México) en ese mismo año (CILA, 2012).

En el valle Imperial, en California, contiguo al Valle de Mexicali se ha estado usando con éxito, desde la década de 1980 y hasta la fecha la carpa herbívora (*C. idella*) (Langeland, 2013).

Características de la planta Hidrila (*Hydrilla verticillata*).

Es una planta vascular sumergida que se enraíza en el lecho y posee grandes ramificaciones. Las hojas inferiores son opuestas y pequeñas, en cambio las hojas medias y superiores poseen de 4 a 8 verticilos (Stocker, 1988).

Las hojas son verticiladas y lanceoladas, además posee hojas en cuyos márgenes hay dientes agudos, son ásperas al tacto y poseen una prominente red venosa figuras (3 y 4).

La reproducción vegetativa por medio de partes rotas, de renuevos subterráneos, parece ser más importante que la reproducción por semilla.



Figura No. 3.- La malezas acuática hydrilla (*Hydrilla verticillata*) en su medio natural
(fuente:http://plants.ifas.ufl.edu/misc/pdfs/SP257/Hydrilla_verticillata%28SP257-031%29.pdf)



Figura No. 4.- Ejemplar hydrilla (*Hydrilla verticillata*) (fuente:
http://plants.ifas.ufl.edu/misc/pdfs/SP257/Hydrilla_verticillata%28SP257-031%29.pdf)

Actualmente la *H. verticillata* es la maleza acuática que causa más problemas en el mundo por su habilidad de crecimiento, llegando a ser tanto como 10 pulgadas por día, en la temporada de mayor crecimiento, su fácil dispersión de un cuerpo de agua a otro por ayuda de botes, motores, remolques, cubos de carnada, equipo de pesca e incluso aves acuáticas. Un pequeño fragmento de la maleza puede crecer fácilmente en una planta floreciente, una vez que vuelva al agua (Imperial Irrigation District, 1998).

Los problemas que provoca la *H. verticillata* tienen múltiples dimensiones, como las ya comentadas, sin embargo también puede formar gruesas capas de material vegetativa en la superficie del agua, que llegan a bloquear el paso de la luz solar, la reducción del oxígeno disuelto y la muerte de peces, con una afectación ecológica importante, convirtiendo el cuerpo de agua en un monocultivo exótico y como consecuencia inhabilitando el mismo para algunas actividades y aprovechamientos (Adams, 2013).

Los programas de erradicación de la hydrilla, deben considerarse como un programa a largo plazo y, que para que este logre su objetivo debe considerar muestreos la realización de manera continua. El criterio para considerar erradicada la *H. verticillata* será cuando, de los monitoreos realizados no se encuentren en la zonas de aplicación del programa, ningún vestigio por tres años consecutivos (Villanueva, 1993).

Stocker, manifiesta que para el caso de *H. verticillata* que un pequeño porcentaje (sin indicar cuanto) de tubérculos permanecen con viabilidad por cinco a siete años (Stocker, et al, 1988).

Uno de los principales problemas, para la aplicación de este método de control, es sin duda la producción de carpa herbívora (*C. idella*) triploide (ver figura No.5), ya que se requerían en 1995, de acuerdo a la infestación detectada en Mexicali, un número aproximado de 1500 peces, para ese primer año, según lo estimado por los especialistas. Para las primeras liberaciones muchos de los organismos, en ocasiones, una vez liberados son capturados por la propia gente, para su consumo como alimento (CILA, 2012).

Existen pocos estudios que demuestren plenamente los métodos aplicables para evaluar el éxito del control de malezas en programas de control biológico con carpa herbívora y que contemplen el comportamiento de la carpa y la dinámica de las poblaciones introducidas (Stich, 2011), es por ello resulta muy importante conocer el proceso que se siguió en el caso de Mexicali, para llegar a los resultados que a la fecha se tienen y que esta experiencia sea replicable en otras áreas con problemas similares de nuestro país.

La operación del programa de control biológico realizada por el organismo operador del sistema hidráulico de la red menor del Valle de Mexicali, ha dado buenos resultados y se han logrado grandes avances en el control de la hydrilla y su erradicación con la utilización de métodos biológicos de esta maleza. Las investigaciones realizadas en cooperación con el distrito de Coachella, California, han demostrado lo económico y eficaz de la utilización de la carpa herbívora triploide (estéril) para consumir la maleza invasora (Stocker, 1988).

Aproximadamente el 99% de toda la hydrilla en el Valle Imperial fue eliminada como resultado de la utilización de la carpa herbívora triploide (*C. idella*). A partir de enero de 1998, más de 200.000 peces han sido liberados en los cuerpos de agua en el Imperial Valley District (IID). La meta del Distrito es el mantener un stock de entre 20,000-25,000 peces cada año. El Distrito también toma acciones con peces en estanques privados infestados de hydrilla en el oeste del Valle Imperial. Carpas pequeñas (de 3" a 4" de longitud) también han sido donadas a la Comisión Nacional del Agua, para ser liberadas en canales del Valle de Mexicali, en colaboración con el United States Department of Agriculture USDA-APHIS para la erradicación de la maleza (Imperial Irrigation District, 1998).



Figura No. 5.- La foto muestra la carpa herbívora o carpa china (*Ctenopharyngodon idella*) (fuente: http://foto.fishing.pl/foto_es/kategorie/rybim-okiem/amur-14kg)

VIII.- OBJETIVOS

Objetivo General.- Evaluar la técnica para el control de *H. verticillata* en canales de irrigación en el Valle de Mexicali, B.C., México.

- **Objetivos particulares.**
- Evaluar la factibilidad técnica del uso de la carpa herbívora (*C. idella*) para el control y erradicación de la *H. verticillata*.
- Evaluar la factibilidad económica del uso de la carpa herbívora (*C. idella*) para el control y erradicación de la *H. verticillata*.

IX.- METODOLOGÍA.

- Se utilizarán datos del “Programa para la erradicación de la *H. verticillata* en canales de riego del Valle de Mexicali”.
- Realizar comunicaciones directas con las personas y representantes de las instituciones que implementaron el programa.
- Llevar a cabo comunicaciones personales con las personas que en su momento intervinieron en el proceso de planeación, puesta en marcha y operación del programa de control biológico.
- Realizar entrevistas con las personas en puestos directivos, de instituciones que han intervenido en el programa de control biológico.
- Solicitar y obtener información referente a los principales aspectos técnicos del control biológico y su seguimiento.
- Solicitar y obtener información referente a los principales aspectos económicos del control biológico.
- Realizar un análisis de la viabilidad técnica y económica del control biológico en el caso de estudio.

Primeramente se realizaron viajes a la ciudad de Mexicali a efecto de entrevistarnos con personal de la Comisión Nacional del Agua para obtener la información sobre el tiempo que llevan operando el programa de control biológico de la *H. verticillata* en canales del Valle de Mexicali, a efecto de conocer la siguiente información:

1. Sitios donde se ha implementado el programa.
2. Resultados del programa durante el tiempo que se ha desarrollado el programa.

- Estimación de remoción por individuo de carpa.
- Número de carpas liberadas por kilómetro lineal de canal.
- Número de carpas liberadas por año en el área de estudio.
- Área estimada por individuo de pez que se considera como el idóneo para mantener el área controlada de maleza.

3. Costos de la operación del programa.
4. Costos de conservación de canales para eliminación de malezas acuáticas por métodos tradicionales.
5. Comparación de costos del control contra los costos de otros métodos de control utilizado en años anteriores.
6. Otras alternativas para el control de la hydrilla, que se hayan considerado o aplicado.
7. Organizar la información y realizar los análisis comparativos entre el método de estudio y otros métodos utilizados en el pasado en la misma área.

X.- RESULTADOS.

X.1.- VIABILIDAD TECNICA.

Primeramente se recapituló los principales eventos que incidieron en el programa de erradicación de la Hydrilla y que podemos ver reflejados en los resultados que se obtuvieron, lo anterior lo podemos resumir en la figura No. 6:

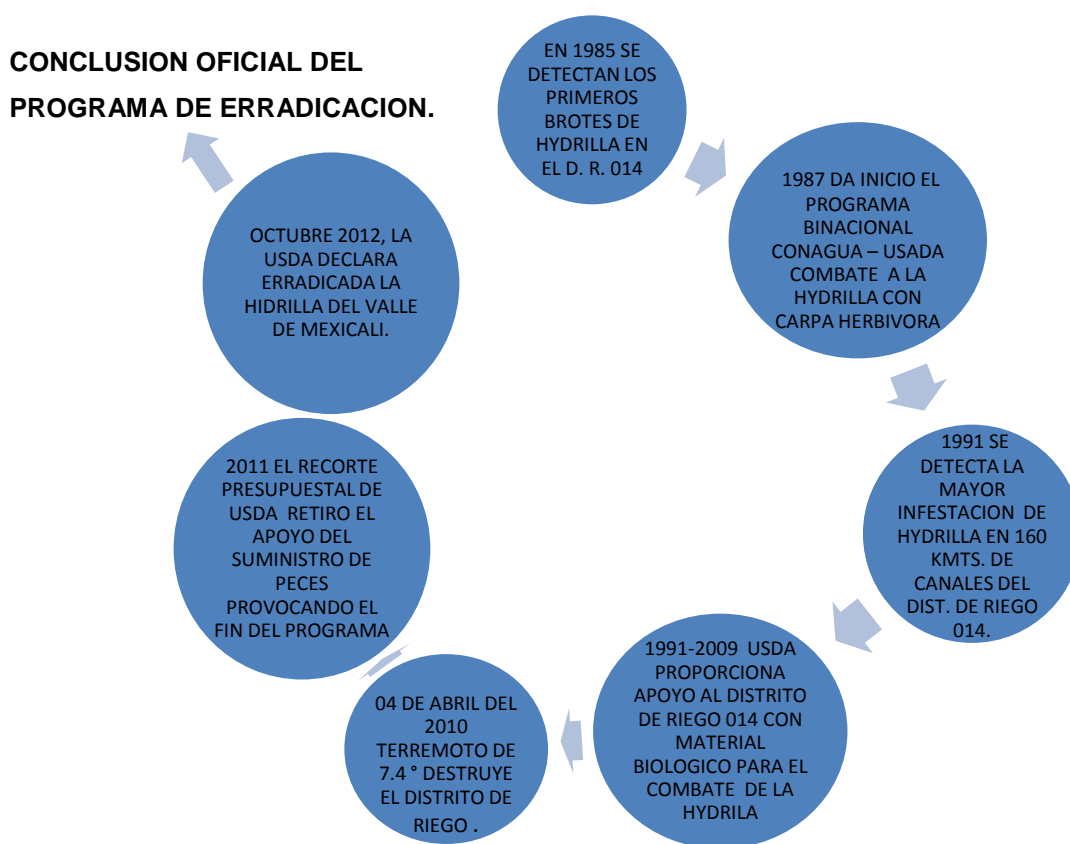


Figura No. 6.- Muestra los principales eventos que incidieron, en la concepción del programa de erradicación de hydrilla, hasta la declaratoria oficial de erradicación del Valle de Mexicali.

Como ya se mencionó en la sección de antecedentes el cual inicia con las primeras liberaciones de peces durante el año de 1987, con el suministro de peces a la Comisión Nacional del Agua por parte la agencia de agricultura de los Estados Unidos.

El terremoto que sacudió el valle de Mexicali , durante el mes de Abril del año del 2010, el cual colapso algunos canales principales de distribución de

agua en el valle, permitió descubrir la presencia de carpa herbívora viva, lo cual es indicativo claro que dichos organismos prevalecen en los canales donde habían sido liberados.

De la investigación realizada no se pudo localizar los datos referentes a la cantidad de peces liberados en los canales, ni los tiempos en que sucedió, lo anterior debido a los continuos cambios de las directivas de la Comisión Nacional del Agua y de la empresa privada que actualmente administra la red menor del distrito de riego.

Los monitoreos que el programa realizó, de manera periódica, para efecto de seguimiento de la presencia o ausencia de *H. verticillata*, se concretó a las zonas donde previamente se había detectado y las áreas contiguas.

Los resultados de los monitoreos, expresados en kilómetros de canal con presencia de hydrilla se presentan en la siguiente figura.

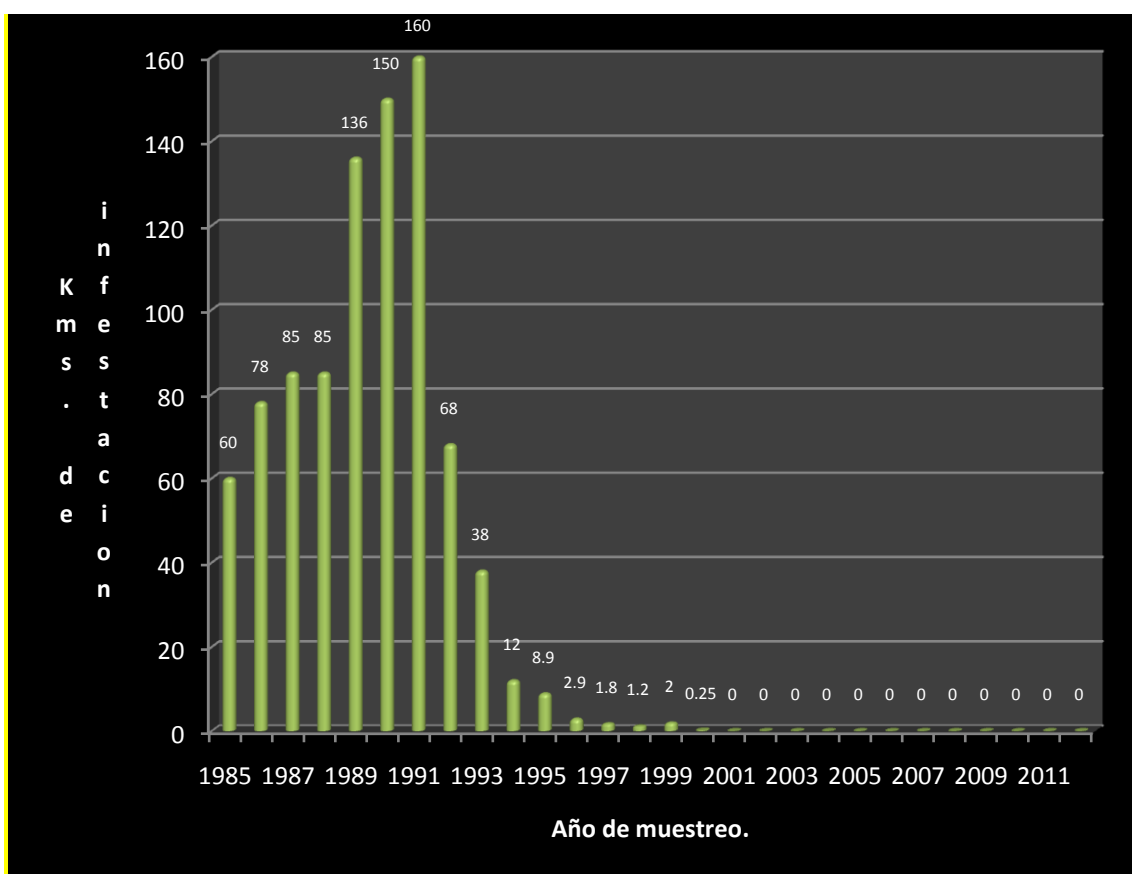


Figura No. 7.- Kilómetros de canal infestado por año en canales del valle de Mexicali de 1985 a 2012. (Grafica proporcionada por el C. Ricardo Hernández de la USDA-APHIS, oficina de campo en Mexicali, B.C., adaptada por el autor).

Los resultados mostrados en la figura No. 7, muestran que, aunque los resultados en la reducción de los kilómetros de infestación, no resultaron en las tasas esperadas para el Valle de Mexicali, el programa de erradicación resultó viable en materia técnica, los resultados así lo demuestran, las causas se discutirán en la sección correspondiente del presente documento.

Finalmente la erradicación de la *H. verticillata* en el valle de Mexicali fue decretado de manera oficial por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, para el mes de octubre del año del 2012, a pesar de no haberse encontrado indicios desde el año de 2001 (Hernández, 2013).

X.2.- VIABILIDAD ECONÓMICA

Primeramente se tiene conocimiento que el principal del costo del programa se realizó en el Valle Imperial, en California Estados Unidos, los cuales se muestran en la tabla I, debido a que lo constituyen la instalación del laboratorio de producción de carpa herbívora (Stocker et al, 1988).

Para el presente programa de erradicación de *H. verticillata* en el valle de Mexicali, no se requirieron grandes inversiones por parte de la responsable en México (Comisión Nacional del Agua), lo anterior debido a que los individuos de carpa herbívora que se utilizaron en el programa de erradicación de la *H. verticillata* en el Valle de Mexicali, fueron proporcionados por la USDA, por que no fue necesario realizar la inversión correspondiente a las instalaciones de producción de carpa, los costos que se incurrieron por parte de las autoridades mexicanas incluyeron, los que derivaron de la construcción y operación de estanques de recepción y mantenimiento de juveniles, liberación, monitoreo, personal operativo y vigilancia de los canales para evitar la captura de los especímenes (Hernández, 2013) .

COSTO DEL SISTEMA DE PRODUCCION DE CARPA

Los principales costos del programa se realizaron en el Valle Imperial, en California Estados Unidos, la cual fue erogado por la USDA y el Imperial Irrigation District y se muestran en la tabla I.

Tabla No. I.- Muestra los costos de inversión, correspondiente al primer año del programa de erradicación de hydrilla para el Valle de Mexicali, para el año de 1988 (Stocker, et al ,1988).

COSTO DEL SISTEMA DE PRODUCCION DE CARPA

CONCEPTO	COSTO \$US
INFRAESTRUCTURA	\$300,000.00
EQUIPAMIENTO	\$61,000.00
VEHÍCULOS	\$24,000.00
SALARIOS	\$75,000.00
OTROS GASTOS	\$362,250.00
TOTAL	\$822,250.00

Dichos costos actualizado al año del 2013, equivalen a \$1´660, 259.66 dólares americanos, que tal y como se menciona anteriormente fueron financiados por la dependencia norteamericana United States Department of Agriculture (USDA) (Royle, 1988).

Con esa inversión se inicio el programa de erradicación para los distritos de riego de Imperial y Mexicali, con la construcción de la infraestructura de producción de juveniles de carpa, se dio arranque al programa para la zona noroeste del Valle de Mexicali, con las primeras liberaciones en esa área, específicamente en el canal Reforma, el cual suministra el agua al acueducto Rio Colorado-Tijuana y donde fue la detectada con mayor infestación de *H. verticillata*.

Los costos de operación anual se estiman para el caso de Mexicali de alrededor de 125,000 dólares (Royle, 1988), los cuales fueron erogados por la USDA. Además de otros costos que se erogaron por la Comisión Nacional del Agua, a cargo del Distrito de Riego 014, Río Colorado, para el pago de personal técnico y operativo, tanto en el transporte, almacenamiento y distribución de juveniles en las zonas infestadas de *H. verticillata*.

Inicialmente para el año de 1989, la Comisión Nacional del Agua, a cargo del Distrito de Riego 014, Río Colorado, contrato a un especialista en la

materia para que se hiciera cargo del programa en Mexicali, un Oceanólogo de nombre Víctor Villanueva y, en ese entonces iniciaba la formación de la policía hidráulica, a la cual se le encomendó la vigilancia de la zona del programa de erradicación en la zona objetivo (Villanueva, V., 1993).

Como primera acción de esa policía, fue el desarrollo y operación de un programa preventivo y correctivo para evitar que la población en general realizara la extracción de los peces liberados; la pesca era una actividad común de los pobladores de la zona aledaña a los canales de riego y el objetivo de la Policía Hidráulica era evitar que a la carpa recién liberada en los canales fuera extraída (Villanueva, 2014).

En ese año de 1989 el costo directo de la Comisión Nacional del Agua, a cargo del Distrito de Riego 014, Río Colorado, para ese año era de una cantidad cercana a los \$ 150,000 pesos para el periodo anual, distribuidos en el sueldo del técnico responsable por parte de México y costos de gasolina y mantenimiento de un vehículo, este último donado por la USDA (Villanueva, 2014).

Lo anterior, según los datos proporcionados por los directamente involucrados en la operación del programa, el programa de conservación de canales, que tradicionalmente utilizaban el método de dragado, para remover malezas, redujo las necesidades de mantenimiento en un rango de entre el 70 al 90%, según lo referido por los involucrados en conversaciones personales (Avitia, 2014, Villanueva, 2013 y González 2014).

Es el caso que en la actualidad (2014), el Distrito de Riego de Río Colorado, S. de R.L., que es la entidad responsable de la operación de canales en la actualidad, esta gestionando recursos financieros para crear la infraestructura necesaria para la reproducción de la carpa, incluyendo su esterilización, con la intención de liberarla en la totalidad de los canales de riego del Valle de Mexicali, lo cual ahorraría a esa persona moral hasta el 90% de los costos de conservación de la totalidad de los canales del distrito de riego (Avitia, 2014).

Los diversos autores consultados en relación al costo individual de la producción de carpa herbívora estéril refieren que el costo de cada espécimen triploide varía entre los 6 y 12 dólares y que la densidad de introducción para un programa de erradicación debe ser de hasta 100 peces por milla de canal, equivalente a 62 individuos por kilómetro lineal de canal (CILA, 2102), esa cantidad dependerá del grado de infestación que tenga el cauce hidráulico que se pretende tratar por este método.

Lo anterior redundaría en unos costos unitarios, por concepto de peces de entre los 373 y 746 dólares anuales por kilómetro de canal, para el primer año. De acuerdo con Stocker, et al, (1988), para el mantenimiento del programa se requieren al año, de acuerdo con el caso específico de infestación en los canales del Valle de Mexicali de 100 peces al año con un costo aproximado de entre 125 y 312 dólares por kilómetro de canal.

Otros autores refieren que la carpa herbívora debe ser introducida en rangos de 7 a 80 libras de pez por acre y ello ha resultado en la remoción de casi toda la *H. verticillata* y en la prevención del crecimiento de la planta.

XI.- DISCUSIÓN

Los resultados indican que las primeras introducciones de carpa herbívora en los canales, que se aplicó el año del 1988, donde se encontraba presente la hydrilla, los kilómetros de canales infestados, en lugar de disminuir, conforme a lo previsto en el programa, continuó incrementándose hasta el año de 1992, donde se obtuvo la mayor cantidad de kilómetros de canales de riego con presencia de *H. verticillata* (168).

La causa de tal resultado se presume que fue a causa de cuatro factores primordiales:

1. La insuficiencia de especímenes de carpa herbívora.
2. Las tallas pequeñas en que fue introducida (6" de largo).
3. Los individuos que se liberaron salieron de la zona objetivo y no permanecieron tiempo suficiente en el área objetivo.
4. Los pobladores de la zona por medio de métodos de pesca extrajeron los peces para alimentación.

A partir del año 1993, una vez que se introdujeron carpas en una densidad adecuada (entre 800 y 1000 peces, por kilómetro de canal) y que estos llegaron a un rango entre 7 y 80 libras por acre de espejo de agua la cantidad de kilómetros de canales de riego con presencia de hydrilla empezó a disminuir drásticamente alcanzando una reducción del 73.4 %, de kilómetros de canal infestado en el lapso de un año.

Para el año de 1993, las carpas eran proporcionadas al Valle de Mexicali, de forma gratuita por el Imperial Irrigation District (IID), de manera limitada en tamaño y cantidad, pero de manera continua, lo que repercutió en los resultados obtenidos (Villanueva, 1993).

A partir de ese año la disminución de la cantidad de kilómetros de canal con presencia de *H. verticillata* continuó en una franca disminución hasta que a partir del año del 2001 y hasta el mes de octubre del año del 2012, en el que se decretó oficialmente, por la USDA, erradicada la hydrilla de la zona. A la

fecha (2014) no se ha encontrado evidencia de la presencia de la *H. verticillata* en canales del Valle de Mexicali, sin embargo al estar en la actualidad sin liberación de peces desde agosto del 2013, se ha detectado el incremento de cobertura de otros tipos de maleza en los canales del distrito de riego de Mexicali.

Lo anterior de conformidad con las estimaciones de la CILA (Comisión Internacional de Límites y Aguas, 2012), que en experiencias similares la densidad de peces para controlar la *H. verticillata* está en rangos de 100 peces por milla lineal de canal y 100 por acre de lago.

Se estima que como práctica común la carpa ha sido introducida en rangos de entre 7 y 80 libras por acre y depende del nivel de densidad de hydrilla, con muy buenos resultados en la remoción de casi toda la hydrilla y en la prevención del recrecimiento de la planta (Randall et al, 1988).

En la parte económica la información proporcionada por el área de Conservación del Distrito de Riego 014 del Río Colorado, de la Comisión Nacional del Agua y Distrito de Riego Río Colorado, S. de R. L. de C.V., los costos han sido mínimos, lo anterior en gran medida por el apoyo de los organismos oficiales de la USDA y el Imperial Irrigation District, los costos de la parte mexicana han sido solo los derivados del mantenimiento de juveniles, en estanques propios en el Valle de Mexicali, liberación de los especímenes en los cauces elegidos, alimentación de juveniles y el personal de control, monitoreo y vigilancia, de los cuales destacan el trabajo de técnicos proporcionados por la USDA.

Sin embargo conviene tener en consideración que las carpas tienen un costo de juveniles de hasta 6 pulgadas de largo, de entre 4 y 6 dólares por unidad, dicho costo fue pagado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Juárez, 2009).

Sin embargo, un efecto secundario de la introducción de la carpa herbívora resultó que la especie introducida para control, no es selectiva y una

vez que se llegó a una densidad apropiada redujo de manera sustantiva la presencia de otras especies de hierbas acuáticas y como consecuencia de ello la reducción de la necesidad de controlar en general la malezas acuáticas en los canales, independientemente de la especie; todo esto resultó en una conveniencia económica para el Distrito de Riego de continuar con un programa de control de malezas acuáticas y reducir los costos.

Según estimaciones de los responsables de la conservación de los canales en el área de estudio estiman que las necesidades del uso de maquinaria para la remoción de las diversas malezas acuáticas en los canales de la zona de estudio se han reducido en cantidades cercanas al 90%, siendo esto una consecuencia económica importante por el ahorro en costos inherente.

En este sentido el Distrito de Riego de Río Colorado, S. de R.L. de I.P. de C.V., está planeando construir infraestructura para la reproducción de la carpa a una escala mayor, con la intención de liberarla en la totalidad de los canales de riego del Valle de Mexicali, lo cual estiman que reduciría los costos de conservación de los canales que opera para la distribución de agua hasta el 90%, con una inversión cercana a los 5 millones de pesos y se pretende que el nuevo programa inicie operaciones para el año 2015 (Avitia, 2014).

XII.- CONCLUSIONES.

Los resultados demostraron la viabilidad técnica del uso del control biológico con el uso de la carpa herbívora para el control de la *H. verticillata*, al grado tal que el mes de octubre del año del 2012, precisamente cuando iniciamos la investigación para la realización del presente trabajo la USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica), declaró formalmente erradicada la *H. verticillata* en el Valle de Mexicali y cancelando el programa y con ello el suministro de fondos económicos para su operación.

La declaración se fundamenta en que durante más de 11 años no se ha encontrado evidencia de la presencia de la especie en las zonas sujetas a monitoreo y ningún indicio de su presencia para efectos de presumir su permanencia en la zona.

En cuanto a la viabilidad económica resalta que según los datos relativos a los costos de remoción de la maleza *H. verticillata*, estos por razón de que los peces habían sido proporcionados hasta el año del 2012, los costos de operación del programa surgían del mantenimiento de juveniles, liberación de los especímenes en los cauces elegidos, alimentación de juveniles y el personal de control, operación y vigilancia.

A decir de la empresa que en la actualidad opera el programa (Distrito de Riego Río Colorado, S. de R. L. de C.V) de conservación de los canales en el valle de Mexicali, el uso de la carpa herbívora ha disminuido los costos de conservación para la erradicación de malezas hasta en un 90 %.

Lo anterior debido a que la carpa herbívora, no es una especie especializada en *H. verticillata* y consume todo tipo de materia vegetal que tenga a su alcance y como consecuencia de su introducción el uso de maquinaria, cuyo método de control es tradicional en la zona, se ha reducido hasta ser casi nulo, con el ahorro del alto costo de su uso y las consecuencias adicionales que ello conlleva.

También es importante referir que para la operación de un sistema de reproducción de carpa y su esterilización, no se requiere de un grupo técnico de alto grado de especialización, es el caso que la instalación del Valle Imperial, únicamente cuenta con una persona con grado de licenciatura, el sistema no es complejo, es un sistema sencillo y poco especializado, para el cual los operadores requieren de capacitación y práctica diaria para lograr los resultados esperados.

XIII.- RECOMENDACIONES.

Definitivamente, el control de la *H. verticillata* es recomendado por el método del uso de la carpa herbívora y para ello conviene revisar los números.

Para ello tenemos que considerar el costo del uso del control biológico, en el caso específico del valle de Mexicali y compararlo con los costos actuales para el control mecánico de la maleza acuática en los canales de riego, por ello en las siguientes tablas, se hace un resumen de costos para los costos para los ciclos agrícolas de 2011-2012, 2012-2013 y 2013-2014.

Tabla No. 2.- Costos de control mecánico y estimación en la reducción de costos con la implementación del programa de control biológico en la red mayor (González, 2014).

DESCRIPCION DEL TRABAJO	CICLO AGRICOLA 2011/2012		CICLO AGRICOLA 2012/2013		CICLO AGRICOLA 2013-2014	
	EJECUTADO	AHORRO \$	EJECUTADO	AHORRO \$	PROGRAMA	AHORRO \$
REMOC. EXT. Y LIMPIA DE PLANTAS ACUATICAS						
		70%		70%		70%
	\$ 2,177,884.87	\$ 1,524,519.41	\$ 2,597,725.00	\$ 1,818,407.50	\$ 2,600,000.00	\$ 1,820,000.00
		90%		90%		90%
		\$ 1,960,096.38		\$ 2,337,952.50		\$ 2,340,000.00

Tabla No. 3.- Costos de control mecánico y estimación en la reducción de costos con la implementación del programa de control biológico en la red menor (González, 2014).

DESCRIPCION DEL TRABAJO	CICLO AGRICOLA		CICLO AGRICOLA		CICLO AGRICOLA	
	2011/2012	AHORRO \$	2012/2013	AHORRO \$	2013-2014	AHORRO \$
	EJECUTADO	70%	EJECUTADO	70%	PROGRAMA	70%
REMOC. EXT. Y LIMPIA DE						
PLANTAS ACUATICAS	\$ -	\$ -	\$ 13,257,298	\$ 9,280,108	\$13,044,774	\$ 9,131,341
		90%		90%		90%
		\$ -		\$ 11,931,568		\$ 11,740,296

Tabla No. 4.- Costos de inversión para la infraestructura para la producción de carpa herbívora, para el control biológico de malezas acuáticas en el Valle de Mexicali (González, 2014).

ESTIMACION DE COSTOS DE CONSTRUCCION DEL PROYECTO		
DESCRIPCION DEL TRABAJO	CANTIDAD	COSTO
CONSTRUCCION Y EQUIPAMIENTO DE LABORATORIO	1	\$ 4,000,000.00
CONSTRUCCION ESTANQUES PARA DESARROLLO DE PECES.	10	\$ 4,000,000.00
MATERIALES Y EQUIPO DE TRABAJO	VARIOS	\$ 2,000,000.00
T O T A L E S		\$ 10,000,000.00

Una de las partes más importante del programa es el aseguramiento de la esterilidad de la carpa herbívora, la liberación de especímenes viables de reproducción tendría un impacto en los ecosistemas acuáticos, por el desplazamiento de especies nativas, provocando otros problemas de índole ecológica.

Es importante documentar a mayor detalle la experiencia de 25 años, desafortunadamente no se encuentra disponible o se encuentra extraviada, el método de control biológico brevemente descrito en el presente documento, desafortunadamente la información a detalle no está sistematizada, seguramente se encuentra dispersa en algún archivo de la dependencia responsable, tampoco está a disposición de personas interesadas en el tema.

Sin embargo con la información que el autor pudo conocer durante la presente investigación, se recomienda de manera puntual el uso de esta metodología en los cuerpos de agua que tengan problemas de infestación de hydrilla.

También el uso de la carpa herbívora en el presente caso demostró que la

especie, por no ser una especie selectiva en su alimentación, disminuyo en gran medida la presencia de las demás malezas acuáticas, reduciendo en gran medida los costos de conservación de cauces de agua donde se aplico el método.

Por todo ello el autor recomienda el uso del control biológico para la conservación de los cauces de agua para las malezas acuáticas, siendo este factible desde el punto de vista técnico y económico; también es importante complementar este método con otros métodos de remoción de malezas acuáticas, de conformidad con las condiciones particulares de cada caso en específico y considerando en primer término el uso del agua donde se ubica la presencia de la maleza, que será la determinante principal.

Actualmente la empresa Distrito de Riego del Río Colorado, S. de R. L. de I.P. de C.V., se encuentra evaluando la posibilidad de instalar un laboratorio de reproducción de carpa, incluyendo su esterilización y se estima que para finales del año del 2014, se cuente con los recursos económicos para la realización del proyecto ejecutivo, la Manifestación de Impacto Ambiental y la concesión de pesca correspondiente para operar un programa de control de malezas acuáticas en los 2,300 kilómetros de canales de riego que la empresa opera.

Finalmente las siguientes fotos son claras para conocer la viabilidad del control biológico de *H. verticillata* en los canales de riego del Valle de Mexicali, antes del programa y el año del 2012, cuando se declaro erradicada la maleza del Valle de Mexicali.

Foto No. 8.- Canal Principal reforma en el Km. 1+602 en el año de 1987 (Foto proporcionada al autor por Francisco González).



Foto No.9- Canal Principal reforma en el Km. 1+602 en el año de 2012 (Foto proporcionada al autor por Francisco González).



XIV.- BIBLIOGRAFÍA.

- Arredondo B. Hugo C. y Rodriguez D., (2008). *Lirio Acuatico, Eichhornia crassipes (Liliales:pontederiaceae)*. Luis editores, 1a. Edicion.
- Arredondo B. Hugo C., (2008). *Casos de Control Biológico en México*. Rodriguez D. Luis A. Editores.
- Avitia, Antonio (2014). *Comunicacion personal, Jefe del Departamento de Conservacion*. Mexicali, B.C.
- Comision Internacional de Limites y Aguas, Seccion Mexicana. (2012). Ciudad Juarez, Mexico.: Pagina Oficial de Internet.
- Donna, A. D. (2003). Bioeconomic Modelinig of the Invasive Aquatic Plants Hydrilla verticillata (hydrilla), Eichhornia crassipes (water hyacinth), and Pistia stratiotes (water lettuce) and their impacts on angler effort on Florida Lakes.
- González Francisco, Jefe del departamento de conservación de la Distrito de Riego Río Colorado, S. de R. L. de C.V. , comunicación personal, Junio de 2014.
- Villanueva Victor H., (1993). *Impacto Ambiental de la Hidrilla Acuatica (Hydrilla verticillata)*. *Metódo de Control Biologico, la mejor opcion para su erradicación de la zona noroeste del valle de Mexicali*. Mexicali, Mexico: Tesis para obtener el grado de Oceanologo.
- Hernandez, Ricardo. (2014, Marzo 3). oficial de campo en Mexicali de la USDA-APHIS. (F. R. Antonio, Interviewer)
- http://plants.ifas.ufl.edu/misc/pdfs/SP257/Hydrilla_verticillata%28SP257-031%29.pdf .
- International Boundary and Water Commission (IBWC).
<http://www.weedcenter.org/wab/2012/docs/Session%203/2%20Negrete,2012.pdf>. Consultado el 28 de septiembre de 2012, 17:00 horas
- Imperial Irrigation District. (1998). *Acuatic Weed Control & sterile Grass Carp*. Imperial, Ca.,U.E.
- Juarez, E. (2009, Marzo 23). Liberan Carpas para control de malezas en canales de Mexicali. *PeRiodico Regional El Mexicano*. , p. 1 y 6.
- Klingman Glenn C., A. F. (1980). *Estuduio de plantas nocivas principios y practicas*. LIMUSA, Mexico, Segunda edicion.
- Langeland, K. A. (2013). *Hydrilla verticillata "The Perfect Acuatic Weed"*. Miami, Fla.: University of Florida, Center for Acuatic Plants.

- McGehee, J. (1979). *Mechanical hydrilla control in Orange Lake, Florida*. J. Aquatic Plants manage. 17.
- Ross, M. H., & Pawlina, W. (2008). *Histologia Texto y Atlas a color de la Biología celular*. Buenos Aires: Panamericana.
- Stich, S. Daniel (2011). Behavior and population dynamics of grass carp incrementally stocked for biological control. *Thesis for degree of master of science in fisheries and wildlife*.
- Science, N. A. (1982). *Plantas nocivas y como combatirlas. Volumen 2*. LIMUSA, Mexico.
- Stocker Randall K., D. N. (1988). *Plan de acción para la erradicación de Hydrilla verticillata en los Valles de Imperial y Mexicali*. Imperial, Estados Unidos.: Informe Interno, IID.
- Trujillo, J. (2008). Mexico, D.F.: LIMUSA.
- Villanueva, V. (2014). *Comunicación personal*. Ensenada, B.C., Mexico.
- Zhang, T.-T. H.-P.-W. (Mar 2012). Hydrilla verticillata. *Bulletin of Environmental Contamination & toxicology: Vol 88, issue 3*, 477-481.