



---

---

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO**  
**INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA**  
**ÁREA ACADÉMICA DE QUÍMICA**

**Actividad Piscícola en el Estado de Hidalgo:**  
**Diagnóstico, Evaluación y propuesta de sustentabilidad**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE**  
**DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**PRESENTA**

**M. en C. Perla Ivonne Velasco Amaro**

**Director**

**Dra. Alma Delia Román Gutiérrez**

**Pachuca de Soto, Hidalgo, Febrero 2016**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO**  
**Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería**  
*Institute of Basic Sciences and Engineering*  
**Dirección**  
*Dean*

M. en A. JULIO CÉSAR LEINES MEDÉCIGO  
 DIRECTOR DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
 P R E S E N T E

Por este conducto le comunico que el Comité Revisor asignado a la alumna **M. en C. PERLA IVONNE VELASCO AMARO**, del "Doctorado en Ciencias Ambientales", con número de cuenta **263648**, que presenta el manuscrito de tesis titulado "**Actividad Piscícola en el Estado de Hidalgo: Diagnóstico, Evaluación y Propuesta de Sustentabilidad**", después de revisar el trabajo antes referido, ha decidido autorizar la impresión del mismo hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación se registran las firmas de conformidad de los integrantes del Comité Revisor.

PRESIDENTE	Dr. Otilio Arturo Acevedo Sandoval
SECRETARIO	Dra. Griselda Pulido Flores
VOCAL	Dra. Alma Delia Román Gutiérrez
SUPLENTE	Dr. Javier Castro Rosas

Sin otro particular, reitero a Usted la seguridad de mi atenta consideración.

ATENTAMENTE  
 "Amor, Orden y Progreso"  
 Mineral de la Reforma, Hgo. 11 de diciembre del 2015.




Dr. Orlando Ávila Pozos  
 Director del ICBI

Ciudad del Conocimiento  
 Carretera Pachuca - Tulancingo km. 4.5  
 Colonia Carboneras  
 Mineral de la Reforma, Hidalgo, México, C.P. 42184  
 Tel. +52 771 7172000 exts 2231, Fax 2109  
 direccion\_icbi@uaeh.edu.mx



www.uaeh.edu.mx

*Agradecimientos*



**Este proyecto fue realizado con financiamiento del gobierno del Estado de Hidalgo y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) dentro del proyecto FOMIX-HGO-2010-150905.**

**“Desarrollo de metodologías alternativas a base de residuos agroindustriales en la industria de la construcción”**

*Agradecimientos*



**M. en C. Perla Ivonne Velasco Amaro agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por:**

**El otorgamiento de beca, como becario 174133 para el estudio de Doctorado en Ciencias Ambientales en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo**

**El otorgamiento de una beca, bajo la convocatoria Becas Mixtas 2013 - mzo2014 para Movilidad Nacional, para la realización de una estancia de investigación en el Centro de Estudios Ambientales de Contaminación Ambiental (CEACA) de la Universidad Autónoma de Querétaro.**

**El otorgamiento de Apoyos Complementarios para Mujeres Indígenas Becarias CONACyT 2012, para la compra de equipo de cómputo y gastos de operación del proyecto de investigación.**

*Agradecimientos*



**Este proyecto se desarrolló en el laboratorio de Tecnología de Alimentos 2  
del Área Académica de Química  
del Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería  
de la UAEH.**

## *Agradecimientos*

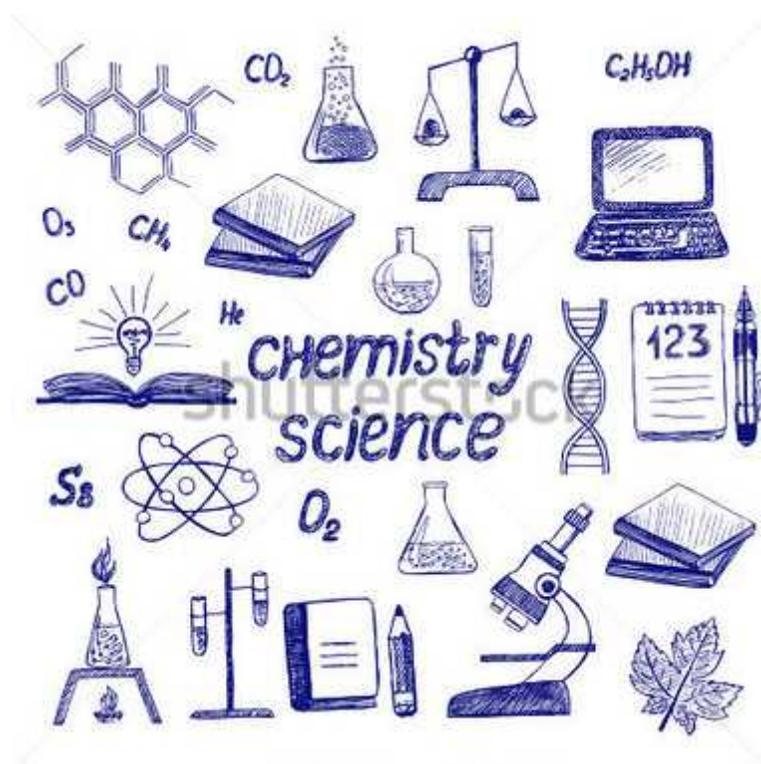
### **Comité**

Dra. Alma Delia Román Gutiérrez

Dra. Griselda Pulido Flores

Dr. Otilio Acevedo Sandoval

Dr. Javier Castro Rosas



Gracias por:

Todas las recomendaciones y revisiones realizadas, durante y después de terminado este trabajo doctoral, si ustedes no habría resultado.

# *Agradecimientos*

A mi familia,

Por todo el apoyo y tiempo sacrificado, para que pudiera realizar mis estudios de doctorado...

A mis amigos,

Por el tiempo, consejos y vivencias, tienen un espacio muy especial en este corazón...

A investigadores, del doctorado en ciencias ambientales,

Que me brindaron sus conocimientos y recomendaciones durante mi estancia en el posgrado...

# Dedicatoria...

## *A toda mi hermosa familia:*

Mis dos grandes motores

Mi gran amigo, compañero y esposo, Ibsen Angeles

Mi hijo y principito, Franco Angeles

Por estar a mi lado y comprender todo el tiempo que no fue así

Mi madre y hermanas,

Que pese a la distancia siempre estaban pendientes y con tiempo para mi

A mis suegros, Lore y Tomas

No encuentro las palabras para agradecerles todo lo que nos apoyan, mil gracias!

**Este trabajo se ha presentado en los siguientes foros científicos:**

**Congreso Catedra Nacional de Química (CUMEX),** Dr. Mario Molina 2012. México.  
PRESENTACIÓN DE TRABAJO: Caracterización biológica de residuos de cebada para su uso potencial como sustratos: 1. Germinación y Fitotoxicidad

**Congreso Internacional de Ciencias Ambientales 2012.** Mazatlán, México. Presentación de Ponencia: Evaluación de la actividad piscícola en el Estado de Hidalgo y su potencial de impacto ambiental.

**Congreso de la Red Latinoamericana de Ciencias Ambientales 2013.** San Carlos, Costa Rica. Presentación de ponencia: Desempeño ambiental de la Piscicultura en el Estado de Hidalgo, México.

## **PUBLICACIONES:**

### **Diagnóstico y valoración del desempeño ambiental de la piscicultura en el estado de Hidalgo, México.**

Perla Velasco Amaro, Griselda Pulido Flores, Otilio Acevedo Sandoval, Javier Castro Rosas, Alma Delia Román Gutiérrez

Revista: Revista Iberoamericana de Ciencias. Vol. 2 No. 6. ISSN 2334-2501.

**PUBLICADO (NOVIEMBRE 2015)**

### **Problemática Ambiental de la Actividad Piscícola en el Estado de Hidalgo, México**

Velasco Amaro, P. I., Calvario Martínez, O., Pulido Flores, G., Acevedo Sandoval, O., Castro Rosas, J., Román-Gutiérrez, A. D.

Revista: Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 16-3, pp 165-174, ISSN 1665-529-X.

**PUBLICADO (DICIEMBRE 2012)**

### **Aquaponics: strategic for sustainability of fish farm.**

Velasco Amaro, P. I., Pulido Flores, G., Acevedo Sandoval, O., Castro Rosas, J., Román-Gutiérrez, A. D

Revista: Reviews in Aquaculture

**ENVIADO**

## ¿Cuántos Árboles Se Necesitan Para Nuestras hojas?

Para obtener 250 gramos de papel se requieren aproximadamente 300 gramos de madera, para triturarla y obtener pulpa de celulosa, que se blanquea con ácidos y posteriormente es lavada y adicionada con polvos minerales y adhesivos para poderla laminar y convertirla en hoja de papel.



### **Esta tesis:**

Fue impresa, a doble cara, en hojas de papel 100% reciclado,

Cero cloro y

Libre de ácidos en su elaboración.



<http://www.natura-medioambiental.com/conciencia-ambiental-para-cuidar-el-medio-ambiente/>

*"A menos que alguien como tú se  
interese de verdad, nada va a mejorar...*

*Jamás".*

*Dr. Seuss*

## ÍNDICE GENERAL

	Pagina
<b>RELACIÓN DE CUADROS</b>	iii
<b>RELACIÓN DE ILUSTRACIONES</b>	v
<b>RESUMEN</b>	viii
<b>ABSTRACT</b>	ix
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	
2.1. PAPEL DE LA ACUICULTURA EN EL MUNDO	3
2.2. ACTIVIDAD ACUÍCOLA EN MÉXICO	4
2.3. ACTIVIDAD PISCÍCOLA EN EL ESTADO DE HIDALGO.	6
2.4. IMPACTO AMBIENTAL DE EFLUENTES	10
2.5. SUSTENTABILIDAD DE LA ACTIVIDAD ACUÍCOLA	12
2.6. POLÍTICA AMBIENTAL ACUÍCOLA EN MÉXICO	15
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b>	18
<b>4. OBJETIVOS</b>	19
<b>5. CUADRO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO DEL TRABAJO</b>	20
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.</b>	
<b>6.1. PARTE I: DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD</b>	
6.1.1. DIAGNÓSTICO DE LA ACTIVIDAD ACUÍCOLA EN EL ESTADO DE HIDALGO	31
6.1.2. DESEMPEÑO AMBIENTAL DE LA ACTIVIDAD ACUÍCOLA EN EL ESTADO DE HIDALGO	42
6.1.3. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DE LA ACTIVIDAD PISCÍCOLA EN EL ESTADO DE HIDALGO	44
6.1.4. POTENCIAL DE IMPACTO POR EFLUENTES PISCÍCOLAS EN EL ESTADO DE HIDALGO. CASO DE ESTUDIO	47
6.1.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	53
<b>6.2. PARTE II: PLANTEAMIENTO DE LA PROPUESTA</b>	
6.2.1. ACUAPONIA COMO HERRAMIENTA DE MITIGACIÓN DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN LA ACTIVIDAD ACUÍCOLA	61

6.2.2. DISEÑO DE SISTEMA ACUAPÓNICO	
6.2.2.3. CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y BIOLÓGICA DE RESIDUOS AGRÍCOLAS DE CEBADA Y VARIEDADES DE TEZONTLE; PARA SU USO POTENCIAL EN SISTEMAS ACUAPÓNICOS	67
6.2.2.4. EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE NUTRIENTES DE PLÁNTULAS DE LECHUGA Y CILANTRO PARA SU USO EN SISTEMAS ACUAPÓNICOS	69
6.2.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	70
7. <b>CONCLUSIÓN GENERAL</b>	72
8. <b>LITERATURA CITADA</b>	74

## RELACIÓN DE CUADROS

Tabla 1. Principales 5 productores Acuícolas por Continente. FUENTE: Estado Actual de la Pesca y Acuicultura, FAO 2012.	4
Tabla 2. Cuotas de extracción para los diversos usos de acuerdo a la zona de disponibilidad para la zona hidrológico-administrativa XIII	13
Tabla 3. Clasificación de cuerpos de agua en la zona.	14
Tabla 4. Límites máximos permisibles de contaminantes establecidos en la Ley Federal de Derechos en materia de Agua 2009.	14
Tabla 5. Cuotas a pagar cuando se rebasen los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos en la Ley Federal de Derechos en materia de Agua Nacionales 2009.	14
Tabla 6. Límites máximos permisibles en la normatividad vigente en México.	15
Tabla 7. Municipios clasificados según el índice de marginación establecido por la CONAPO 2010	21
Tabla 8. Listado FODA encontrados para la actividad acuícola en el Estado de Hidalgo basados en Escenario actual, mapa conceptual y árbol P-C-E.	39
Tabla 9. Estrategias del Cruce F-O, D-O y F-A, D-A, encontrados para la actividad acuícola en el Estado de Hidalgo.	40
Tabla 10. Características de los sistemas de cultivo presentes en los DDR en el estado de Hidalgo	44
Tabla 11. Clasificación de las unidades de producción acuícola por intensidad de cultivo.	45
Tabla 12. Vértido de nitrógeno y fósforo (kg/año) en los diferentes DDR. En base a las estimaciones de Ghaly <i>et al.</i> (2005) y Jover (2000).	46
Tabla 13. Vertido de nitrógeno y fósforo (kg/año) en los diferentes sistemas de cultivo (intensidad) de forma total, en base a las estimaciones de Ghaly <i>et al.</i> (2005) y Jover (2000).	46
Tabla 14. Vertido de nitrógeno y fósforo (kg/año) en los diferentes sistemas de cultivo (intensidad) por cada unidad de producción, en base a las estimaciones de Ghaly <i>et al.</i> (2005) y Jover (2000).	46
Tabla 15. Parámetros determinados en las muestras de agua de entrada y salida de granja piscícola, agrupadas en base a procedencia de la muestra y mes de muestreo	48
Tabla 16. Matriz de correlación en base a ACP.	50
Tabla 17. Granulometría de los sustratos orgánicos después de la molienda y los valores recomendables.	70

*Tabla 18.* Características físicas determinadas a los sustratos locales. Densidad aparente (Da), Densidad real (Dr) y espacio poroso total (EPT) mediante las especificaciones de la NOM-021-RENACT. **70**

*Tabla 19.* Valores medios determinados para las variables químicas para las suspensiones–diluciones de los residuos agroindustriales de PAJA y CASCARILLA de cebada puros (“natural”). (T0= agua destilada; T1= 1:200; T2= 1:95; T3=1:40; T4=1:20, T5=1:10 y T6= 1:5) **70**

*Tabla 20.* Efecto de la concentración del extracto (residuo) en la elongación de raíz (ER), elongación de tallo (ET), porcentaje de germinación (%G), índice de germinación (IG) e índice de fitotoxicidad (IP). **71**

## RELACIÓN DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Producción Acuícola por Continente. FUENTE: Elaboración propia a partir de “Estado Actual de la Pesca y Acuicultura, FAO 2012”.	3
Figura 2. Serie histórica de la producción pesquera y acuícola nacional por origen 2000-2011 (miles de toneladas). (FUENTE: SAGARPA, 2012; El sector pesquero y acuícola logros del 2007 a 2011).	5
Figura 3. Serie histórica de la producción pesquera y acuícola nacional por principales especies 2000-2011 (miles de toneladas peso vivo). (FUENTE: SAGARPA, 2012, El sector pesquero y acuícola logros del 2007 a 2011).	6
Figura 4. Unidades de Producción Acuícola (UPA) y Cuerpos de Agua donde se efectúa la Pesca (CAP) establecidas en el Estado de Hidalgo desde 1985- 2009. (Fuente: Carta Acuícola y Pesquera, 2010).	6
Figura 5. UPA por DDR en el Estado de Hidalgo. (Fuente: Carta Acuícola y Pesquera, 2010).	7
Figura 6. Fichas técnicas de producción de las especies cultivadas en el Estado de Hidalgo. (Fuente: elaboración propia a partir de Panorama agroalimentario y pesquero 2011 de Hidalgo, SIAP-SAGARPA).	8
Figura 7. Producción en Peso vivo (en Kg, eje izq) e Ingreso económico (pesos) en el 2010 por tipo de peces cultivados en el Estado de Hidalgo. (Fuente: elaboración propia a partir de datos de SAGARPA, anuario estadístico 2010).	10
Figura 8. Zonas de disponibilidad de los municipios de Hidalgo pertenecientes a la región XIII para el cobro de derechos. Fuente: Estadísticas del Agua de la región hidrológico-Administrativa XIII, edición 2011.	13
Figura 9. Esquema general de la metodología para la parte 1 del proyecto.	20
Figura 10. Delimitación geográfica de los Distritos de Desarrollo Rural (DDR) en el estado de Hidalgo, y su conformación municipal.	22
Figura 11. Imagen aérea de la unidad de producción acuícola. Se puede observar los 4 estanques rectangulares de cultivo principal, un estanque circular y otro rectangular donde se coloca el producto de venta.	25
Figura 12. Colecta de muestras y toma de parámetros físico-químicos.	26
Figura 13. Procesamiento de muestras para la determinación de Nitrógeno total, Fósforo total y coliformes totales.	27
Figura 14. Esquema general de la metodología para la parte 2 del proyecto.	28
Figura 15. Actividad acuícola desarrollada en los Distritos de Desarrollo Rural (DDR) en el Estado de Hidalgo, separadas por grado de marginación según los índices de la CONAPO (2011) en Muy alto (MA), Alto (A), Medio (M), Bajo (B), MB (Muy Bajo).	32

Figura 16. Actividad acuícola desarrollada en los Distritos de Desarrollo Rural (DDR) en el Estado de Hidalgo, separadas por Intensidad de cultivo, Autoconsumo (A), Extensivo (Ext), Semi intensivo (Semi-int), Intensivo (Int), Superintensivo (Sup-Int).	<b>33</b>
Figura 17. Preferencia de cultivo por DDR.	<b>34</b>
Figura 18. Serie histórica de producción de la actividad acuícola en el estado de Hidalgo por grupo de cultivo y los ingresos económicos generados en el mismo periodo. Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, a partir de los anuarios estadísticos de SAGARPA 2007-2013.	<b>34</b>
Figura 19. Mapa conceptual de la Cadena productiva acuícola en el Estado de Hidalgo.	<b>35</b>
Figura 20. Árbol de Problemas-Causas-Efectos (P-C-E) determinado para la problemática identificada como Baja Rentabilidad.	<b>37</b>
Figura 21. Árbol de P-C-E determinado para la problemática identificada como Baja Rentabilidad	<b>38</b>
Figura 22. A) Número de Unidades de Producción, B) Superficie De Cultivo (ha) y C) Cosecha (t), en base al grado de marginación de la zona establecido por CONAPO 2010. MA: muy alta, A: alta, M: media, B: baja, MB: muy baja.	<b>42</b>
Figura 23. Cumplimiento de estándares ambientales de las unidades de producción establecidas en el estado de Hidalgo en base al grado de marginación A) Muy alto, B)Alto, C)Medio, D)Bajo y E)Muy bajo. Nota: RNPYA: registro nacional de pesca y acuicultura, EMIA: estudio de manifestación de impacto ambiental, AGUA: permiso y concesión de uso de agua, BPA: seguimiento para la certificación por parte del comité de sanidad Acuícola del estado.	<b>43</b>
Figura 24A. Variación mensual de los parámetros físicos y químicos del agua de salida. Nota: Temperatura (T°C), Oxígeno Disuelto (OD), pH, sólidos suspendidos totales (SST), Nitrógeno total (Nt) y fósforo total (Pt).	<b>47</b>
Figura 24B. Variación mensual de los parámetros físicos y químicos del agua de salida. Nota: Temperatura (T°C), Oxígeno Disuelto (OD), pH, sólidos suspendidos totales (SST), Nitrógeno total (Nt) y fósforo total (Pt).	<b>48</b>
Figura 25A. Variación de los parámetros físicos y químicos del agua de salida, en muestreo de 72 h realizado en febrero 2014, durante la realización de un recambio 26 de febrero. Nota: sólidos suspendidos totales (SST), Nitrógeno total (Nt) y fósforo total (Pt).	<b>49</b>
Figura 25B. Variación de los parámetros físicos y químicos del agua de salida, en muestreo de 72 h realizado en abril 2014. Nota: sólidos suspendidos totales (SST), Nitrógeno total (Nt) y fósforo total (Pt).	<b>49</b>
Figura 26. Gráficos ACP, lado izquierdo agrupamiento de los datos en base a la procedencia de la muestra. Derecha: gráfico de sedimentos para la formación de componentes.	<b>50</b>

Figura 27. Proyección de las variables en estudio en CP 1-2 (A) y CP 1-3 (B). Nota: Temperatura (T°C), Oxígeno Disuelto (OD), pH, sólidos suspendidos totales (SST), Nitrógeno total (Nt), fósforo total (Pt) y coliformes totales (CT).	51
Figura 28. Grafico AF mediante la rotación de factores varimax normalizado.	51
Figura 29. Eficiencias de remoción presentada por un grupo de cereales, basados en Ghaly et al., (2005).	66
Figura 30. Potencial de remoción de espinaca acuática a diferentes tiempos de retención hidráulica, basados en Endut et al. (2010)	67
Figura 31. Potencial de remoción de plantas de lechuga con tres medios de soporte basados en Lennard y Leonard (2006).	68
Figura 32. Ecuación de crecimiento de las plántulas de lechuga en el ensayo de fitotoxicidad ante tres concentraciones (residuo-solución) de los residuos de cebada (paja y cascarilla) y tezontle.	72
Figura 33. Eficiencia de remoción de Fósforo y sobrevivencia, observada en el ensayo de remoción en plántulas de Lechuga ( <i>Lactuca sativa oscarinata</i> ) y Espinaca ( <i>Spinacia oleracea</i> )	73

## RESUMEN

La actividad piscícola que se desarrolla en el estado de Hidalgo, se efectúa en zonas de Alta a muy alta marginación (50%), siendo una fuente de alimentos para la población rural (acuacultura de autoconsumo). La principal especie de cultivo es Tilapia (*Oreochromis sp.*) debido a los bajos requerimientos de cultivo de la especie (65%). Los resultados muestran que existe un desempeño ambiental no satisfactorio, en el cumplimiento con los requisitos establecidos para instalación y operación de la actividad acuícola en el Estado. Este desempeño ambiental no satisfactorio, se debe principalmente a la unión de aspectos sociales y factores de “gobernanza”. De forma general se tiene que el 48.6% de las unidades de producción cuenta con RNPA, 7.66% con estudio de manifestación de impacto ambiental, 20.9% concesión de agua y 49.9% tienen seguimiento por parte de sanidad acuícola del Estado. Existe la necesidad de establecer una Ley general del Pesca y Acuacultura del Estado de Hidalgo, que contemple los aspectos sociales y ambientales específicos de las zonas donde se efectúa la actividad. Generando las bases para un plan de regularización efectivo, que contemple la parte social (marginación y pobreza) como un eje de acción para lograr los objetivos de regularización ambiental.

La actividad representa un impacto negativo en los cuerpos receptores, particularmente en donde la producción sea mayor a 10 t/año, o en aquellos donde descarguen más de una unidad de acuícola y se alcance esta producción; sin embargo hay que considerar el cuerpo de agua receptor ya que en lagunas se puede dar mayor deterioro de la calidad comparado con ríos y arroyos, debido al proceso de autorregulación natural de dichos sistemas. El monitoreo de efluentes muestra que el contenido de sólidos suspendidos están fuera de los límites permisibles por la normatividad mexicana, y la concentración de fósforo y nitrógeno se encuentran dentro de la misma. Se evidencia un potencial de impacto de la actividad por el vertido de P y N, a los cuerpos receptores, lo anterior ya que en medio natural el aumento en 1 mg de P se genera un proceso de eutrofización. En base a revisiones bibliográficas y lo obtenido en este estudio, se realiza la observación que la normativa vigente mexicana es muy permisible en las descargas.

La acuaponía se presenta como una alternativa viable, para la prevención de contaminación en zonas rurales, integrada en sistemas de paso. Se ha reportado que los sistemas acuapónicos son eficientes mejorando la calidad del efluente al remover hasta un 90% de SST, NC y formas de P. La mejora de calidad de agua por los sistemas acuapónicos se debe en parte al biofilm que se genera en el medio de soporte y en las raíces; al desarrollo adecuado de las raíces ya que forman un tapete y al aumento de la eficiencia de absorción de nutrientes con la madurez del cultivo. Sin embargo, esto depende de la planta, soporte y tiempos de residencia hidráulica que se empleen. Los resultados muestran que las características físicas obtenidas de los residuos, la granulometría (1-0.5 cm), EPT(> 70%), Dr (<1.5 g/cm<sup>3</sup>) y pH (6-7) están dentro de los parámetros recomendados para ser empleados como sustratos, por lo cual pueden ser opciones para usar dentro de la agricultura y sistemas integrados. Sin embargo, presenta un efecto tóxico en el índice de germinación, en el desarrollo de las plántulas, el cual se hizo evidente en la elongación de la raíz y tallo (IP NEGATIVOS). Debido a lo anterior, los residuos antes de ser empleados deben de pasar por un proceso de adecuación, que ayude a reducir el efecto. Las plántulas de lechuga presentaron un porcentaje de remoción de 50 % ( $\pm 10.59$ ), una remoción per cápita de 0.088 ( $\pm 0.02$ ) mg/l /semana y una sobrevivencia de 73.3 % ( $\pm 2.52$ ). Las plántulas de espinaca presentaron un porcentaje de remoción de 25.71 ( $\pm 6.07$ ), remoción per cápita de 0.063 ( $\pm 0.02$ ) mg/l /semana y una sobrevivencia de 53.33 % ( $\pm 2.08$ ). La remoción obtenida se encuentra por debajo de lo reportado, esto se debe por un lado a la concentración de plántulas empleadas, en este estudio y la sobrevivencia, por lo cual se recomienda seguir con las investigaciones en esta línea para tener propuestas de plantas a usar en este tipo de sistemas integrados.

## ABSTRACT

The fish activity taking place in the state of Hidalgo, is made in areas of high to very high poverty (50%), being a source of food for the rural population (subsistence aquaculture). The main crop species is tilapia (*Oreochromis sp.*) due to lower cultivation requirements of the species (65%). The results show that there is an unsatisfactory environmental performance, in compliance with the requirements for installation and operation of aquaculture in the state. This unsatisfactory environmental performance is mainly due to the union of social aspects and factors of "governance". Generally has to be 48.6% of the production units has RNPA, 7.66% present study of environmental impact, 20.9% water concession and 49.9% monitored by aquatic health of the state. There is a need to establish a general law on Fisheries and Aquaculture of the State of Hidalgo, by providing specific social and environmental aspects of the areas where the activity is performed. Creating an effective plan of adjustment that considers the social part (marginalization and poverty) as a line of action to achieve the objectives of environmental regulation.

The activity represents a negative impact on the receiving bodies, particularly where production is greater than 10 t / year, or those where more than one unit discharge of aquaculture and this production is reached. However, have to consider the receiving body of water in lagoons because they can give greater deterioration in quality compared to rivers and streams due to the process of natural self-regulation of these systems. The monitoring shows that the effluent suspended solids content are outside the permissible limits by Mexican standards, and the concentration of phosphorus and nitrogen are within it. Potential impact of the activity by the dumping of P and N, the receiving bodies is evident, as in the above environment, increased 1 mg of P a process of eutrophication is generated. Based on literature and obtained in this study reviews the observation that Mexico's current legislation is permissible in the discharges.

Aquaponics systems presented as a viable alternative for the prevention of pollution in rural areas, integrated systems passing through. It has been reported that the aquaponic systems are efficient to improve effluent quality by removing up to 90% of SST, NC and forms of P. Improving water quality by aquaponic systems is due in part to the biofilm that is generated in the supporting medium and roots; the proper development of the roots and forming a mat and increasing the efficiency of absorption of nutrients with crop maturity. However, this depends on the plant support and hydraulic residence times employed.

The results show that the physical characteristics of the waste obtained, the particle size (1-0.5 cm), EPT (> 70% 9, Dr (<1.5 g / cm<sup>3</sup>) and pH (6-7) are within the recommended parameters for They are employed as substrates, which may be options for use within agriculture and integrated systems. However, it has a toxic effect on the germination rate in the seedling growth, which became evident in the elongation root and stem (IP NEGATIVE). Because of this, the waste before employees must go through a process of adaptation, to help reduce the effect. The lettuce seedlings showed a percentage removal of 50% ( $\pm 10.59$ ), a removal of 0.088 per capita ( $\pm 0.02$ ) mg / l / week and survival of 73.3% ( $\pm 2.52$ ). The spinach seedlings showed a percentage removal of 25.71 ( $\pm 6.07$ ), 0.063 per capita removal ( $\pm 0.02$ ) mg / l / week and survival of 53.33% ( $\pm 2.08$ ). The removal obtained is lower than reported; this is due in part to the concentration of seedlings used in this study and survival, so it is recommended to continue research in this line for proposed plants using this type of integrated systems.

## 1. INTRODUCCIÓN

La pesca a nivel estatal y nacional, es parte de una cadena productiva donde se generan empleos directos e indirectos, valor agregado, divisas, materia prima para otras industrias y sobre todo constituye un factor clave en la seguridad alimentaria (SAGARPA 2012). En particular la acuicultura es una actividad que en las últimas décadas se ha incrementado, ya que representa una fuente de ingresos y medio de subsistencia para millones de personas (FAO 2010), siendo la actividad de producción de proteína animal con mayor crecimiento anual (6.6 %). México a nivel mundial ocupa el lugar 24 en producción acuícola y esta genera más de 16 % de la producción pesquera nacional (CONAPESCA 2011; NOTIMEX 2011). En el territorio nacional la producción acuícola se concentra en los estados de Sonora, Sinaloa, Veracruz, Tabasco, Jalisco, Estado de México y Nayarit, y se han identificado un gran número de unidades de producción acuícola en Michoacán, Guerrero, Yucatán, Guanajuato, Hidalgo, Morelos y Puebla (NOTIMEX 2011).

Una de las principales críticas a la actividad acuícola, es la de ser una actividad poco sustentable ya que ocasiona importantes impactos ambientales (Martínez *et al.* 2009; Somer 2009). El impacto ambiental más frecuente es la contaminación de los cuerpos de aguas naturales con nutrientes y materia orgánica debido a la descarga de efluentes no tratados (Bushmann 2001; Sipaúba-Tavares *et al.* 2002; Barón *et al.* 2004; Bushmann y Fortt 2005; Pardo *et al.* 2006; Marinho *et al.* 2009; Martínez *et al.* 2009). Sin embargo, es difícil determinar el impacto aislado de los efluentes de la acuicultura en el medio ambiente, ya que existe la interacción con factores ambientales (Bushmann 2001; Buschmann y Fortt 2005).

De forma general, la acuicultura es una actividad usuaria de bienes y servicios ambientales. Por un lado es usuaria del agua y del suelo como bienes; y por otro lado, es usuaria del agua como servicio para la asimilación de residuos de materia orgánica, compuestos de nitrógeno y fósforo (Magallón-Barajas *et al.* 2007).

En México, el desarrollo de la acuicultura esta enmarcado en la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentable, la cual establece los principios para ordenar, fomentar y regular el manejo integral y aprovechamiento sustentable de la actividad. Adicionalmente la actividad está sujeta a otras regulaciones de carácter federal, contenidas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Medio Ambiente, Ley de Aguas Nacionales, Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales y la Ley Federal de Derechos, que establecen la obligación de contar con una evaluación del impacto ambiental previa a la realización del proyecto, concesión de uso de agua y con obras de tratamiento previas a la descarga de agua para evitar la contaminación de cuerpos de aguas receptores. La norma oficial NOM-001-SEMARNAT-1996, establece los límites máximos permisibles de descargas a cuerpos de agua naturales y considera como contaminantes básicos al nitrógeno, fósforo, sólidos suspendidos totales, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, entre otros.

Debido al rápido crecimiento de la actividad, es necesario contar con mecanismos y herramientas que permitan planificar y controlar su desarrollo dentro de un marco sostenible, mediante un desempeño ambiental adecuado (Pardo *et al.*, 2005; García *et al.* 2011).

Una de ellas es formular un diagnóstico del sector acuícola del Estado, mediante un análisis de Matriz de Balance de Fuerzas (matriz FODA), esta herramienta relaciona las debilidades y fortalezas internas de una actividad productiva, con las oportunidades y amenazas externas, permitiendo generar un diagnóstico, con la identificación de problemáticas principales y posteriormente plantear estrategias de desarrollo (Certo 2001; FIP 2005).

Seguido realizar una evaluación del desempeño ambiental de la acuicultura, esta es sustentada en la confiabilidad de la información entregada por el productor, y en las capacidades de control y fiscalización de las instituciones públicas sectoriales; así como los indicadores ambientales a considerar, bajo los principios de mantener los bienes y servicios que el medio ofrece a la acuicultura, contribuir a mejorar la huella ecológica de la actividad y fomentar la sostenibilidad ambiental, son energía empleada, entradas/salidas, cumplimiento con estándares ambientales, existencia de estudio de impacto ambiental, uso de certificaciones y buenas practicas (García *et al.*, 2011).

En diversos estudios se ha demostrado que la acuicultura afecta los cuerpos receptores mediante el aporte de nutrientes y materia orgánica (Buschmann 2001; Sipaúba-Tavares *et al.*, 2002; Samuel-Fitwi *et al.*, 2012); y que la magnitud del problema, se relaciona con la intensificación del sistema de cultivo, la cantidad de alimento artificial empleada, así como el manejo del alimento y las prácticas de alimentación (Tacon y Forster, 2003; Crab *et al.*, 2007; Deutsch *et al.*, 2007). Por lo cual se hace necesario, el estimar la descarga de nutrientes a los cuerpos receptores, así como poder determinar mediante muestreos ambientales la descarga real de unidades de producción.

El estado de Hidalgo representa una potencia en el cultivo de peces dentro de los estados sin litoral a nivel nacional, siendo el segundo lugar de producción acuícola para el 2011, por lo que es necesario contar con información actualizada del sector: sistemas de producción y normatividad. El objetivo de este trabajo fue determinar el estado de la actividad Piscícola en el estado de Hidalgo, mediante la realización de un análisis FODA, que permitiera conocer las problemáticas centrales de la actividad y generar así un diagnóstico; realizar la evaluación del desempeño ambiental mediante el cumplimiento de estándares ambientales; determinar el potencial de impacto de la actividad en la entidad mediante un cálculo teórico del aporte de nutrientes a cuerpos receptores y generar información de campo que permita determinar las características del agua residual de una granja tipo con respecto a los límites establecidos en la normatividad vigente. Lo anterior permitió establecer mediante una revisión bibliográfica la herramienta de mitigación y/o prevención de contaminación ambiental más adecuada a las zonas de estudio.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 PAPEL DE LA ACUICULTURA EN EL MUNDO

A pesar de la larga tradición de las prácticas acuícolas en algunos países, en el contexto mundial la acuicultura es un sector de producción de alimentos joven que ha crecido rápidamente en los últimos 50 años (FAO 2012). Lo anterior debido a que representa una fuente de producción de alimento rico en proteínas a bajo costo (FAO 2012).

En la Vigésima Novena Sesión del Comité sobre la Seguridad Alimentaria Mundial, efectuada en Roma en mayo del 2003, se discutió el tema “El papel de la acuicultura en el mejoramiento de la seguridad alimentaria a nivel comunitario”, resaltando la contribución que la acuicultura hace para la seguridad alimentaria, la reducción de la pobreza y el mejoramiento del estado nutricional de los grupos marginales y vulnerables (Avilés-Quevedo y Vázquez-Hurtado, 2006).

La FAO en 2010 y 2012, realizó un análisis detallado de la producción mundial de pescado, provenientes de pesca y acuicultura, a continuación se describen los aspectos más importantes de los informes para dar una visión general del sector productivo y en particular de la actividad acuícola hasta el año 2010. En las últimas décadas (1980-2010, Fig. 1), la producción mundial de peces comestibles procedentes de la acuicultura se ha multiplicado a un índice medio anual del 8.8 %, y ha aumentado a un ritmo tres veces mayor que la producción mundial de carne (2.7 %) en el mismo período. La producción acuícola mundial alcanzó un máximo en producción en 2010 (7.5% más que el 2009), correspondiente a 60 millones de toneladas, con un valor total estimado de 119,000 millones de USD. Sin embargo, el mayor incremento se dio de 1990 al 2000, ya que en este periodo se aumentó cerca de un 200% la producción. De la producción por año el mayor aporte proviene de Asia, representando en el 2010 cerca del 89%, dentro de este continente el mayor productor es China, que de forma individual aporta el 62%. América es el segundo en contribución a la producción mundial con 4.6%, América Latina representa el 3.3% de esta, teniendo como ejemplos de países productores a Chile, Brasil y Perú.

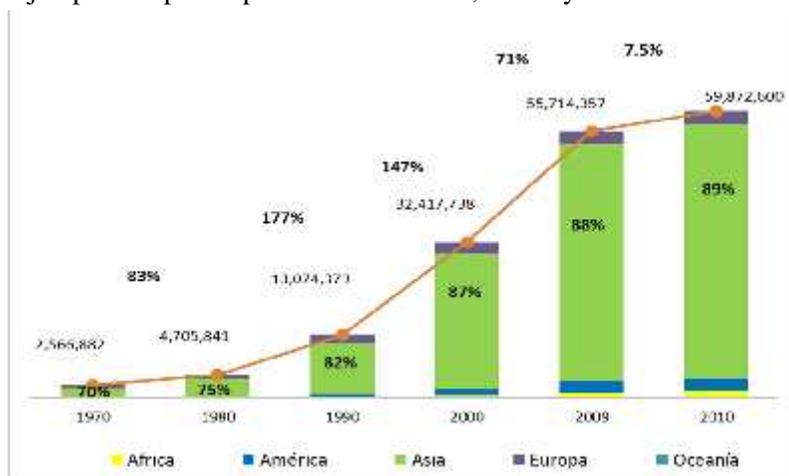


Figura 1. Producción Acuícola por Continente. FUENTE: Elaboración propia a partir de “Estado Actual de la Pesca y Acuicultura, FAO 2012”.

En 2008, los 10 productores principales (Tabla 1) generaron el 92,4 % de la producción mundial de pescado comestible procedente de la acuicultura, siendo China el mayor productor de pescado acuícola. Sin embargo, Myanmar en el periodo de 1990-2008, es el país que presentó

mayor índice de crecimiento anual (28.8%), seguido de Chile (19.8%) y Viet Nam (16.4%). Para este año México, ocupó el cuarto lugar en producción del continente con 126,240 ton (4.90%).

Del 2008 al 2010 cerca del 81 % (115 millones de toneladas) de la producción mundial de pescado se destinó al consumo mientras que el resto (27 millones de toneladas) se destinó a fines no alimentarios; el 40,5 % se comercializó vivo, fresco o refrigerado, el 45,9% se congeló, curó o elaboró de otro modo para el consumo humano directo. Se estima que la pesca y la acuicultura proporcionaron medios de subsistencia e ingresos a unos 54,8 millones de personas en el sector primario de la producción pesquera en 2010, de los cuales aproximadamente 7 millones eran pescadores y acuicultores ocasionales. Actualmente más de 100 millones de personas dependen del sector para vivir, ya sea como empleados en el sector de la producción y de apoyo o como personas a cargo de ellos. En muchos lugares, estas oportunidades de empleo han permitido que los jóvenes permanezcan en sus comunidades y han fortalecido la viabilidad económica de zonas aisladas, mejorando en muchas ocasiones la condición de las mujeres en países en desarrollo, en los cuales se lleva a cabo más del 80 por ciento de la producción acuícola.

Tabla 1. Principales 5 productores Acuícolas por Continente. FUENTE: Estado Actual de la Pesca y Acuicultura, FAO 2012.

ÁFRICA	Ton (miles)	%	América	Ton (miles)	%	Asia	Ton (millones*)	%
Egipto	919	71.38	Chile	701	27.21	China	36,734	68.92
Nigeria	200	15.57	EUA	495	19.23	India	4,648	8.72
Uganda	95	7.37	Brasil	479	18.61	Viet Nam	2,671	5.01
Kenya	12	0.94	Ecuador	271	10.55	Indonesia	2,304	4.32
Zambia	10	0.80	Canadá	160	6.25	Bangladesh	1,308	2.45

Europa	Ton (miles)	%	Oceanía	Ton (miles)	%	Mundo	Ton (millones*)	%
Noruega	1,008*	39.95	Nueva Zelanda	110	60.26	China	36,734	61.4
España	252	10.00	Australia	69	37.92	India	4,648	7.8
Francia	224	8.89	Papua Nueva Guinea	1	0.87	Vietnam	2,671	4.5
Reino Unido	201	7.97	Nueva Celedonia	1	0.66	Indonesia	2,304	3.9
Italia	153	6.08	Fiji	208	0.11	Bangladesh	1,308	2.2

## 2.2 ACTIVIDAD ACUÍCOLA EN MÉXICO

La pesca y la acuicultura en México, contribuyen al abasto del mercado interno con alimentos de calidad, sanos y accesibles provenientes de nuestros mares, ríos, lagunas y embalses, atendiendo así el mandato de asegurar la producción suficiente de alimentos con calidad e inocuidad para satisfacer la demanda nacional y para promover una mayor oferta hacia los mercados internacionales (SAGARPA, 2012). A nivel mundial, México es el lugar 24 en producción acuícola (SAGARPA, 2012), generando más del 16 % de la producción pesquera nacional

(NOTIMEX, 2011); 4% más que en el 2006 (FAO reporta 12%) y tiene una perspectiva de crecimiento a más de 40% en un plazo de entre diez y quince años (FAO 2006-2013).

En el periodo del 2000 al 2011 (Fig. 2), la producción pesquera y acuícola nacional presentó una tasa de crecimiento media anual de 1.6 %, alcanzando cifras históricas superiores a 1.7 millones de toneladas en 2008 y 2009; en el mismo periodo la tasa de crecimiento media anual acuícola fue de 3.4%, con una cifra histórica en 2009 de 285 mil toneladas (SAGARPA, 2012). Sin embargo en los años 2000 y 2010 la actividad acuícola presento una baja de 5% en la producción. Actualmente es el sector de producción de alimentos de origen animal con mayor crecimiento, con una tasa media de crecimiento anual de 2.6 % (CONAPESCA 2011, NOTIMEX, 2011).



Figura 2. Serie histórica de la producción pesquera y acuícola nacional por origen 2000-2011 (miles de toneladas). (FUENTE: SAGARPA, 2012; El sector pesquero y acuícola logros del 2007 a 2011).

El 78 % de la producción acuícola se concentra en Sonora, Sinaloa, Veracruz, Tabasco, Jalisco, Edo. México y Nayarit, y se han identificado un gran número de unidades de producción acuícola en Michoacán, Guerrero, Yucatán, Guanajuato, Hidalgo, Morelos y Puebla (NOTIMEX, 2011). Por especie, tomando en cuenta pesca y acuicultura (Fig. 3), el camarón significó la principal contribución con 109.8 miles de toneladas cosechadas. En materia de producción de organismos dulceacuícolas en los centros acuícolas, CONAPESCA en el 2011 operó y supervisó 29 centros acuícolas en 22 estados del país, los cuales produjeron 19.5 millones de organismos de especies tales como: Tilapia (70.9%), carpa (17.2%), bagre, trucha, lobina y catán (las cuatro especies 11.9%), teniendo que la tilapia o mojarra es la que aparece dentro de la producción nacional.

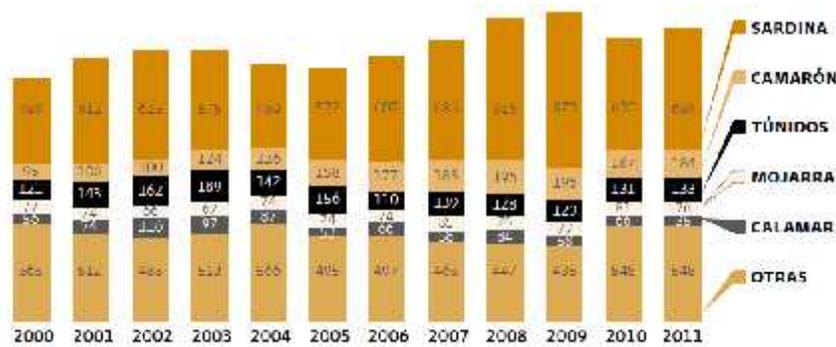


Figura 3. Serie histórica de la producción pesquera y acuícola nacional por principales especies 2000-2011 (miles de toneladas peso vivo). (FUENTE: SAGARPA, 2012, El sector pesquero y acuícola logros del 2007 a 2011).

CONAPESCA (2011) menciona que la acuicultura ha fomentado la creación de empleos directos e indirectos, en el año 2000 de 18 mil 270 empleos, para 2009 la cifra se incrementó a 30 mil 272, lo que se representa una Tasa Media de Crecimiento Anual de 5.18 %. Además en el año 2000 se tenían 1,898 granjas acuícolas formadas por 31 mil 460 hectáreas destinadas a la producción pesquera, y para 2009 se tenían 3 mil 12 granjas formadas por 76 mil 527 hectáreas.

### 2.3 ACUICULTURA EN EL ESTADO DE HIDALGO

La pesca y la acuicultura en el Estado de Hidalgo contribuye de manera sostenida a generar empleos directos, producir alimento de alta calidad nutricional, proporcionar el arraigo de la población en sus lugares de origen y conformar las bases para establecimiento de proyectos eco-turísticos (Carta Acuícola y Pesquera, 2010). En particular la piscicultura en el Estado de Hidalgo inicia en 1965 con la puesta en operación, de lo que en aquellos tiempos se denominaba “estaciones piscícolas”; siendo el primero el Centro Piscícola de Tezontepec de Aldama, enfocado al cultivo de carpas. En el año 1972 mediante el Fideicomiso para el Desarrollo de la Fauna Acuática (FIDEFA), se dio un fuerte impulso a la producción de crías y esquemas de comercialización; lo que llevo a desarrollar tecnologías de cultivo y una penetración en el medio rural. Por lo anterior, inicialmente se establecieron mayor número embalses dedicados a la explotación pesquera (CAP), que unidades de producción acuícola (UPA); y para 1996 a la fecha se ha dado un incremento en el establecimiento de UPA’s, estableciéndose 544 UPA’s según lo mencionan en la Carta Acuícola y Pesquera del Estado de Hidalgo (Fig. 4).

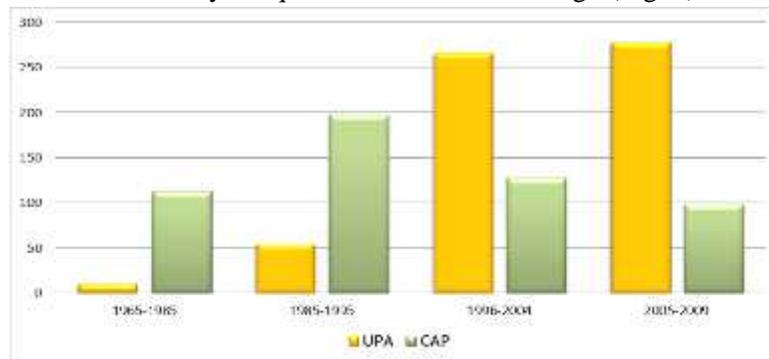


Figura 4. Unidades de Producción Acuícola (UPA) y Cuerpos de Agua donde se efectúa la Pesca (CAP) establecidas en el Estado de Hidalgo desde 1985- 2009. (Fuente: Carta Acuícola y Pesquera, 2010).

En el año 2010 se cuenta con el registro de un total de 610 UPA y 538 CAP, siendo el registro oficial más reciente, el cual muestra que en 73 de los 84 municipios (87%) se realizan actividades de acuacultura y/o pesca, y el municipio de Tezontepec tiene el mayor número de UPA (72), seguido de Ixmiquilpan (45) y Tecozautla (44) (Fig. 5). A nivel regional, la acuacultura se ha fortalecido considerablemente a partir de la regionalización propuesta por la SAGARPA, teniendo como ejes los Distritos de Desarrollo Rural (DDR). El Estado de Hidalgo, cuenta con los siguientes DDR, según lo menciona la Carta Acuícola del Estado 2010, Huejutla (060), Huichapan (061), Zacultipan (062), Mixquiahuala (063), Pachuca (064) y Tulancingo (065); se observa que en Mixquiahuala concentra la mayor infraestructura acuícola y pesquera conformada por 252 UPA y 97 CAP (Fig. 5).

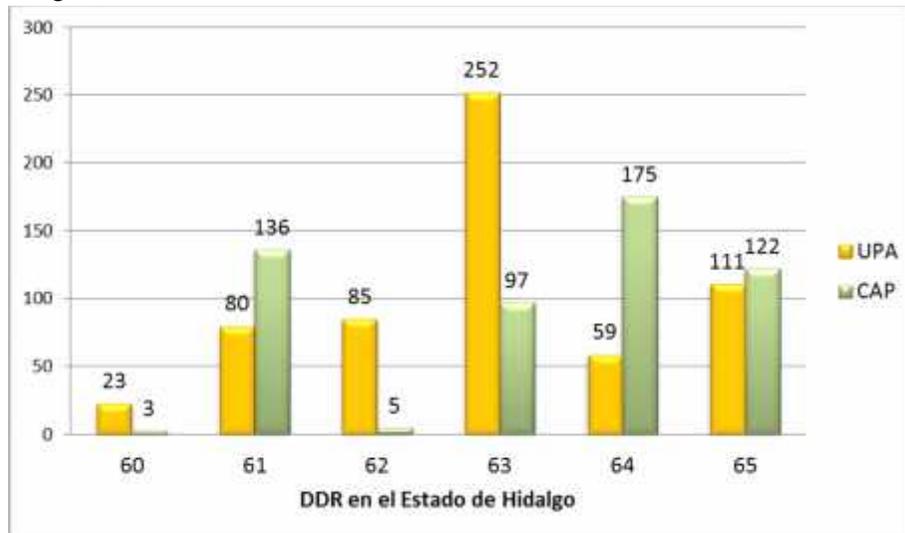


Figura 5. UPA por DDR en el Estado de Hidalgo. (Fuente: Carta Acuícola y Pesquera, 2010).

Sector Pesquero del Estado de Hidalgo, mediante el informe oficial de la carta acuícola del estado, divide la actividad piscícola en tres niveles de sistema de producción intensivo, semi-intensivo y extensivo; mencionando que 57 UPA's maneja un sistema de producción intensiva, 519 unidades sistema de producción semi-intensiva y 34 unidades carácter extensivo. Actualmente son sujetas a explotación acuícola o manejo pesquero un total de 28 especies, cultivándose Carpa (3 especies y 2 variedades), Tilapia (3 especies), Bagre, Trucha, Lobina, El charal, La Acamaya, Gusano de Fango, Rana, Peces de Ornato (12) y Camarón Blanco; su aprovechamiento se sustenta en el aprovechamiento de una sola especie por cada tipo de organismo; en la mayoría de las UPA se realizan policultivos, después de la especie principal, principalmente de Carpa y Tilapia.

Del total de las UPA 310 se dedican al cultivo de Carpa, cultivándose principalmente en el distrito 063 (Mixquiahuala), cultivando las especies de *Cyprinus carpio* (carpa común, variedades *C.c. specularis* y *C.c. rubrofruscus*); *Ctenpharyngodon idellus* (Carpa herbívora), *Hypophthalmichthys molitrix* (Carpa plateada) y *Aristichtys nobilis* (Carpa cabezona). El cultivo de Tilapia se ha fomentado en el Estado a partir de 3 especies y 6 variedades, *Oreochromis niloticus*, *O. aureus* y *O. mossambicus*; y las variedades Pargo cerezo, Rocky Mountain, GIFT, Spring, Red Jumbo y Sterling; El cultivo de Trucha se ha enfocado a la especie *Oncorhynchus mykiss* (Trucha arcoíris); 95 UPA cultivan Trucha siendo el mayor productor el sector 065. El Bagre de canal (*Ictalurus punctatus*), ha tenido aceptación en el Valle de Mezquital y Huasteca Hidalguense, actualmente se cultiva en 19 UPA, siendo el mayor productor el DDR 063.

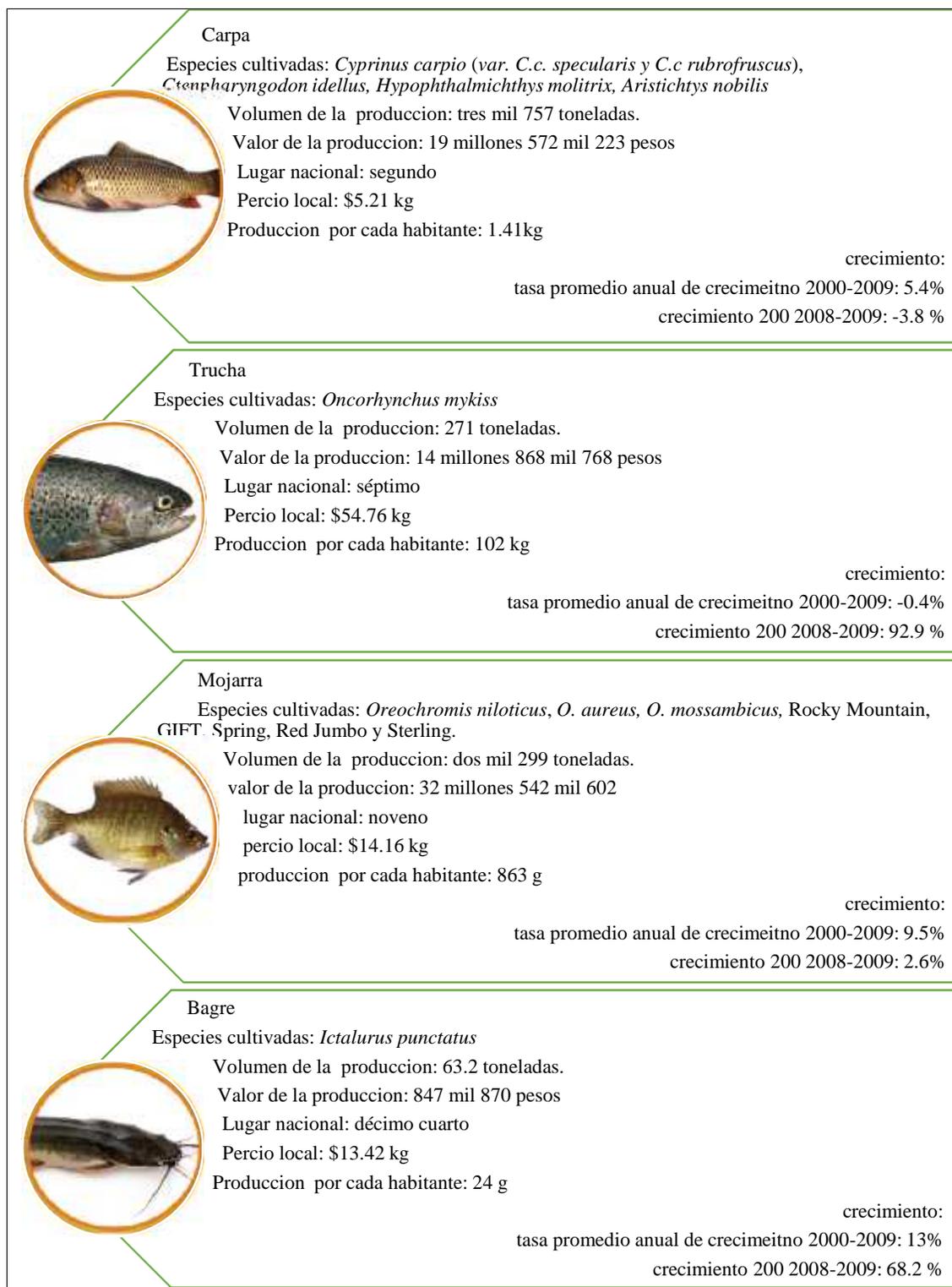


Figura 6. Fichas técnicas de producción de las especies cultivadas en el Estado de Hidalgo. (Fuente: elaboración propia a partir de Panorama agroalimentario y pesquero 2011 de Hidalgo, SIAP-SAGARPA).

La acuacultura ha tenido un importante penetración en el medio rural, de las 610 UPA registradas en la carta acuícola 331 (54.3%) se encuentran en zonas de alto grado de marginación, 147 (24.1%) en localidades de marginación media y 132 (21.7%) en zonas de marginación baja. La pesca y acuacultura han venido contribuyendo en la generación de empleos y abasto de alimento de alta calidad, en este sentido se tiene que estas actividades brindan beneficios directos a 39,828 ciudadanos hidalguenses, destacando las UPA benefician a 7,476 ciudadanos. La actividad acuícola y pesquera, para el registro del 2010, se desarrolla en una superficie de 12,170 hectáreas, de estas 50 ha corresponden a la superficie productiva de espejo de agua que ocupan las 610 UPA y el resto, 12,116 corresponden a la superficie que cubren los CAP registrados en la entidad donde se efectúan las actividades pesqueras.

SIAP (2011) reporta en el 2009, que Hidalgo sin salidas al mar y sin abundancia de recursos hídricos, produjo 6 mil 418 toneladas de productos acuícolas, con un valor superior a los 69 millones de pesos. El valor pesquero representó el 0.6% de la economía rural del estado. Las cuatro tipos de peces más importantes fueron la mojarra, la carpa, la trucha y el bagre, que en conjunto sumaron 98.9% del volumen total de la pesca.

La cría y pesca de tilapia en Hidalgo, en el 2009, obtuvo un total de 32 millones 542 mil pesos, equivalentes a 47.1% del valor pesquero, con un crecimiento a una tasa promedio anual de 9.5%. La producción de carpa aportó 28.3% del valor pesquero de la entidad, con 19 millones 572 mil pesos en los que se valoraron la tres mil 757 toneladas obtenidas. La tasa promedio de crecimiento anual de 2000 a 2009 fue de 5.4%; sin embargo, durante el ciclo 2008-2009, el crecimiento cerró con números negativos en 3.8%. La producción de trucha aportó 21.5% del valor pesquero de Hidalgo con los 14 millones 868 mil pesos en 2009. Su tasa de crecimiento anualizada durante el período entre el año 2000 y el 2009, presentó un promedio negativo, -0.4%, a pesar de que el último año experimentó un crecimiento de 92.9%. Con una producción valuada en menos de un millón de pesos, el bagre ocupó el cuarto lugar en la producción pesquera de Hidalgo, aportando sólo 1.2% del ingreso del subsector.

SAGARPA (2010) menciona que Hidalgo es el segundo productor de Trucha (solo por debajo de Edo. de México), el segundo productor de Carpa, el octavo productor de Tilapia y el onceavo productor de Bagre. Los niveles de producción en toneladas de peso vivo, que se registraron son de 471.82 para Trucha, 2,094 de Tilapia, 4.132 de Carpa y 43.37 de Bagre; representando un ingreso económico de 28,904,161.00, 27,864,990.00, 49,126,379.00 y 1,304,263.00, respectivamente. Se puede observar que la producción de Trucha representa un ingreso económico mayor, a pesar de ser uno de los de menor producción en el Estado, esto se debe a que su valor es 5 veces mayor que los otros cultivos; se tiene que el valor en pesos por tonelada es de 61,260.60 para la Trucha, 13,303.04 Tilapia, 889.09 Carpa y 3,071.54 Bagre (Fig. 6).

A Diciembre del 2009 de las 610 UPA registradas se han identificado un total de 127 (21%) que no operan por diversas causas, entre las que estacan: **a)** infraestructura en mal estado que impiden la retención del agua, **b)** requieren de obras complementarias, **d)** falta de organización y **e)** desaliento por las altas multas que impone la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

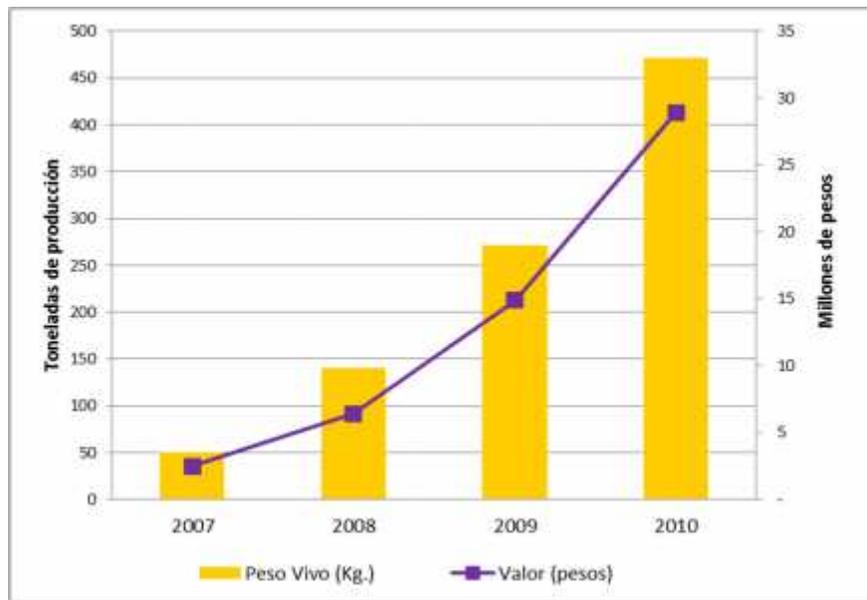


Figura 7. Producción en Peso vivo (en Kg, eje izq) e Ingreso económico (pesos) en el 2010 por tipo de peces cultivados en el Estado de Hidalgo. (Fuente: elaboración propia a partir de datos de SAGARPA, anuario estadístico 2010).

#### 2.4 IMPACTOS AMBIENTALES DE EFLUENTES DE LA ACUICULTURA.

Una de las principales críticas de que es objeto la actividad acuícola, es la de ser una actividad poco sustentable ya que ocasiona importantes impactos ambientales (Martínez *et al.*, 2009). La acuicultura impacta en el medio ambiente a través tres procesos: el consumo de recursos, el proceso de transformación y la generación del producto final (Buschmann 2001). El impacto ambiental por efluentes, se da en el proceso de transformación o producción del producto, ya que el agua empleada para las actividades es reincorporada al efluente natural, generando aumento de materia orgánica (producida por las excreciones de los organismos en cultivo), por el alimento no consumido y otros insumos adicionados (antibióticos, químicos, etc.) en los estanques de cultivo (Buschmann 2001, Vita *et al.*, 2002 y Vergara *et al.*, 2005). Es difícil determinar el impacto aislado de los efluentes de la acuicultura en el medio ambiente, ya que existe mucha interacción con factores ambientales.

Uno de los mayores problemas de la producción acuícola es el aumento de materia orgánica producida por las excreciones de los peces, por el alimento no consumido y por las prácticas alimentarias (Pardo *et al.*, 2006). El agua que sale del estanque (efluente) va hacia una fuente natural, generando variaciones como disminución en la concentración de oxígeno (OD), aumento en la concentración de sólidos en suspensión (SST), aumento en la demanda biológica de oxígeno (DBO), aumento en la demanda química de oxígeno (DQO), formas de nitrógeno y fósforo, crecimiento exagerado de algas, eutrofización, entre otras (Vergara *et al.*, 2005 y Pardo *et al.*, 2006). A pesar de existir interés en el tratamiento de los efluentes desde la década del 70, hubo un estancamiento en las investigaciones al respecto y solamente a partir del final de los 80 y comienzo de los 90 se reinician basados en el sentido común de aprovechar el residuo, más que descargarlo y diluirlo. En casos de corrientes muy pobres, la acción en condiciones anaerobias en

el sedimento produce dióxido de carbono, gas sulfhídrico y metano, que pueden causar mortalidades en los organismos debido a su toxicidad (Buschmann 2001 y Vergara *et al.*, 2005).

**La eutrofización** es el enriquecimiento de cuerpos de agua con materia orgánica, ocasionado principalmente por el alimento no consumido y lixiviado, y por la fertilización orgánica e inorgánica en las granjas acuícolas. Esto puede causar serios problemas en los ecosistemas receptores de las descargas, como florecimientos explosivos de fitoplancton (Martínez *et al.*, 2009), algunas veces de especies tóxicas, enterramiento y muerte de comunidades bentónicas en las áreas cercanas a la descarga, olores indeseables y probable presencia de organismos patógenos (Martínez-Córdova *et al.*, 2009). La magnitud del problema, se relaciona con la intensificación del sistema de cultivo y consecuentemente la cantidad de alimento artificial empleada (Crab *et al.*, 2007 y Deutsch *et al.*, 2007), así como con el manejo del alimento y las prácticas de alimentación (Tacon y Forster 2003).

Lo anterior afecta a las comunidades bentónicas, ya que la disminución de oxígeno en sedimentos enriquecidos con materia orgánica, ocasionan la mortalidad o la emigración de muchas de las especies características de los sedimentos blandos no perturbados, ocasionando una reducción en la riqueza o diversidad de especies, llegando a veces hasta un 90%-100% de reducción. Tanto los cambios provocados en los ecosistemas bentónicos como en la columna de agua afectan también a las poblaciones silvestres de peces pelágicos en las cercanías de las instalaciones (Vergara *et al.*, 2005).

**Antibióticos y otros químicos** son utilizados para el tratamiento de diversas patologías y son suministrados vía oral o directamente en el agua de cultivo, la mayor parte de estos termina en el ambiente, a través del alimento no ingerido y en heces fecales, los que pueden ser posteriormente consumidos por organismos detritívoros o peces silvestres que se alimentan alrededor de los sistemas de cultivo. Otros fármacos que producen preocupación ambiental son diferentes compuestos utilizados para el control de ectoparásitos, por ejemplo Verde Malaquita, y el cobre. Este último es tóxico para algas e invertebrados, y se ha encontrado sobre los sedimentos (Buschmann 2001).

La tecnología de la piscicultura presenta diversos métodos, con niveles diferentes de inversión, costo de producción y beneficios. Estos sistemas también pueden ser clasificados de acuerdo con su capacidad generadora de impacto. Iniciando con los sistemas conocidos como ecológicos, hasta los superintensivos, con elevado potencial contaminante. Para la producción de carpas en Europa, Kestemont (1995) presenta una evaluación de cada sistema y su poder degradador, concluyendo que cada sistema tiene condiciones ideales, pero que todos generan problemas ambientales, aunque, menores que otras actividades de producción animal (incluyendo otros peces como el salmón y la trucha) y agrícola. Los sistemas de producción más simples, como el extensivo, semiintensivo y el integrado con otras actividades agropecuarias, aunque son considerados como poco o nada contaminantes, generan problemas en el momento de la cosecha, lanzando lodos al medio ambiente con alta cantidad de excretas, alimento no consumido, nutrientes y hasta químicos usados en la producción.

Los cultivos tradicionales, la mayoría de los que se lleva a cabo en el estado, se basan en la utilización directa, o con procesos de filtración no adecuados, de agua del medio de abastecimiento (laguna o ríos); esta se hace pasar por los sistemas de producción (piletas de engorda), teniendo la adición de alimentos y diversos insumos, para obtener una producción de la especie en cultivo. El manejo inadecuado de estos insumos ocasiona un deterioro en la calidad del agua de cultivo, la

cual repercute en la salud de los organismos, llegando a ocasionar mortalidades masivas o en gran porcentaje de la población de la pileta, principalmente por la propagación rápida de las enfermedades y por afectación de branquias. El agua el flujo constante es dirigida por canales de drenaje hacia el cuerpo receptor, en donde es vertida y en la mayoría de los casos sin tratamiento previo. Las descargas de agua residuales de forma directa, llevan gran cantidad de contaminantes básicos (formas de nitrógeno, fosforo, sólidos suspendidos, residuos de alimentos, antibióticos, etc.), la presencia de estos, excediendo los límites permisibles establecidos por la Normatividad Mexicana (NOM-001-ECOL-1996)

## **2.5 Política ambiental y Acuicultura en México**

El desarrollo de la pesca y acuicultura en el estado está enmarcado en la Ley general de Pesca y Acuicultura sustentables (LGPAS), publicada en junio del 2007, contribuye al enriquecimiento del marco jurídico del sector de pesca y acuicultura, dando sustentabilidad a las actividades pesqueras y acuícolas; procurando las disposiciones necesarias para que las especies de flora y fauna acuáticas sean aprovechadas, protegidas, fomentadas y potenciadas de manera responsable, integral y sustentable a largo plazo.

A nivel federal se encuentra sujeta a las regulaciones contenidas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, la Ley Federal de Aguas Nacionales y La ley Federal de Derechos. En conjunto establecen la obligatoriedad de contar con la manifestación de impacto ambiental favorable, Registro nacional de pesca y acuicultura, concesión de agua (tipo acuícola), medidor de agua, concesión para descargar aguas residuales (contar con análisis de calidad de agua).

La Ley Federal de Derechos, en el Artículo 223 establece que por la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales, se pagará el derecho sobre agua, de conformidad con la zona de disponibilidad de agua en que se efectúe su extracción y de acuerdo a las cuotas señaladas en el cuadro específico. El estado de Hidalgo tiene zonas de disponibilidad 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9; en la región hidrológica administrativa XIII (valle de México, Fig. 7) y zonas de disponibilidad 7, 8, 9; en la región hidrológica administrativa IX (Golfo Norte).

La Acuicultura, como actividad de uso de agua tiene el cobro más bajo por m<sup>3</sup> empleado en la actividad (Tabla, 2). Por el uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la Nación como cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales, se causará el derecho de acuerdo con el tipo del cuerpo receptor en donde se realice la descarga, conforme al volumen de agua descargada y los contaminantes vertidos, en lo que rebasen los límites máximos permisibles establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas (Tabla, 3). El volumen de agua residual y la concentración de contaminantes descargados al cuerpo receptor se determinarán trimestralmente. Las concentraciones de contaminantes determinados se compararán con los siguientes límites máximos permisibles (Tabla, 4). Los cobros por rebasar los permisibles se encuentran en la Tabla 5.

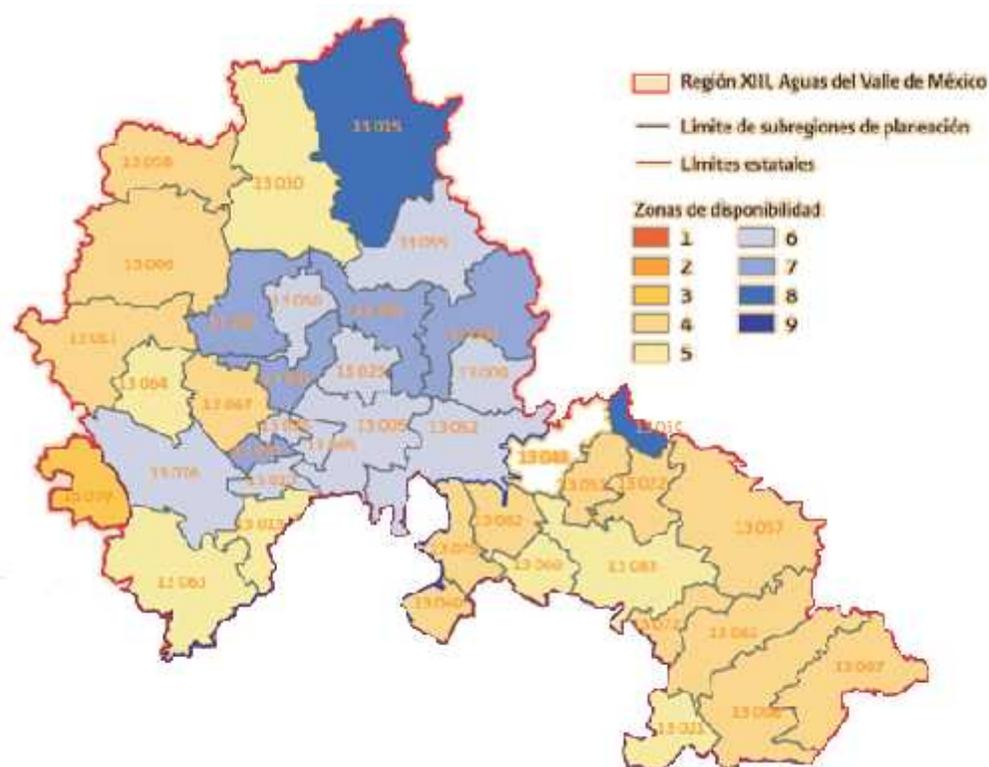


Figura 8. Zonas de disponibilidad de los municipios de Hidalgo pertenecientes a la región XIII para el cobro de derechos. Fuente: Estadísticas del Agua de la región hidrológico-Administrativa XIII, edición 2011.

Tabla 2. Cuotas de extracción para los diversos usos de acuerdo a la zona de disponibilidad para la zona hidrológico-administrativa XIII

uso	Zona								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	(centavos/m3)								
General	1828.94	1463.10	1219.24	1005.89	792.48	716.23	539.09	191.53	143.54
agua potable	36.23	36.23	36.23	36.23	36.23	36.23	16.87	8.43	36.23
Balnearios	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	0.51	0.24	0.11
Acuacultura	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.15	0.07	0.03
Agropecuario	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hidroelectricidad	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38

Tabla 3. Clasificación de cuerpos de agua en la zona.

Tipo de cuerpo receptor	D.F.	Estado de México	Hidalgo	Tlaxcala
<b>A</b> <sup>132</sup>	Todos los que no se señalan como B o C			
<b>B</b> <sup>133</sup>	Río Magdalena en la delegación Magdalena Contreras			
<b>C</b>		Presa Madín en los municipios de Naucalpan de Juárez, Jilotzingo y Cuautitlán Izcalli	Presa Jaramillo y bordo la Estanzuela en el municipio de Pachuca de Soto	

<sup>132</sup> se consideran tipo A, todos los que no se señalan como tipo B o C; se consideran tipo B todos los estuarios y humedales naturales. <sup>133</sup> se consideran tipo B, todos los embalses naturales o artificiales; a excepción de los que se clasifican como tipo C

Fuente: Artículo 278-A de la Ley Federal de Derechos, Disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales 2009, publicada DOF 13 de noviembre de 2008.

Tabla 4. Límites máximos permisibles de contaminantes establecidos en la Ley Federal de Derechos en materia de Agua 2009.

	Tipo de cuerpo receptor		
	A	B	C
Parámetros (mg/L)	Ríos, Aguas costeras y suelo	Ríos, embalses, Aguas costeras, Estuarios y Humedales Naturales	Ríos y embalses
	promedio mensual		
DBO	150	75	40
SST	320	200	100

Fuente: Artículo 278-B, inciso VII, de la Ley Federal de Derechos, Disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales 2009, publicada DOF 13 de noviembre de 2008.

Tabla 5. Cuotas a pagar cuando se rebasen los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos en la Ley Federal de Derechos en materia de Agua Nacionales 2009.

	Tipo de cuerpo receptor		
	A	B	c
Parámetros (mg/L)	Ríos, Aguas costeras y suelo	Ríos, embalses, Aguas costeras, Estuarios y Humedales Naturales	Ríos y embalses
	pesos por Kg de contaminantes al trimestre		
DBO	0.3137	0.3508	0.3691
SST	0.5388	0.6022	0.634

Fuente: Artículo 278-C de la Ley Federal de Derechos, Disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales 2009, publicada DOF 13 de noviembre de 2008.

La Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, tomando como referencia el tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos (*Tabla 3*). Cabe mencionar que en 1994 se inició un proyecto de norma (NOM -089-ECOL-1994), en la cual se establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de las actividades de cultivo acuícola, teniendo la categorías de aguas dulces y aguas marinas-salobres. Los límites establecidos para contaminantes básicos se resumen en la *Tabla 6*.

*Tabla 6.* Límites máximos permisibles en la normatividad vigente en México.

PARÁMETRO	NOM-001-ECOL-1996.					Ley Federal de Derechos en materia de aguas nacionales 2010				proyecto NOM -089-ECOL-1994	
	Ríos			Embalses Naturales y Artificiales		USO				Promedio	Instantáneo diario
	A	B	C	B	C	1	2	3	4		
Temperatura	40	40	40	40	40						
pH						6-9	6-9	6.5-8.5	6-9		
Oxígeno disuelto						4		4	5		
Sólidos Sedimentables	1	1	1	1	1						
SST (mg/L)	150	75	40	75	40	50	50	30	30	35	60
DBO (mg/L)	150	75	30	75	30					30	50
Nitrógeno total (mg/L)	40	40	15	40	15					2	4
Nitratos (NO <sub>3</sub> -como N)						5				0.04	
Nitritos (NO <sub>2</sub> - como N)						0.05				0.01	
Nitrógeno amoniacal (como N)								0.06	0.01		
Fósforo total (mg/L)	20	20	5	20	5	0.1		0.05	0.01	0.2	0.5
Coliformes fecales (NMP/100ml)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	240		

Nota: A (Uso en riego agrícola), B (uso público urbano), C (protección de vida acuática); Solidos suspendidos totales( SST), Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO), Numero Más Probable (MNP)

## 2.6 SUSTENTABILIDAD DE LA ACTIVIDAD ACUÍCOLA

La acuicultura a escala mundial tiene como reto: proveer al mercado, ofrecer alternativas para enfrentar el hambre en el mundo y abastecer la demanda de alimentos generada por el crecimiento de la población mundial (Avilés-Quevedo y Vázquez-Hurtado, 2006), todo lo anterior mediante una producción sustentable y amigable con el ambiente, generando productos de alta calidad nutricional, funcionales, sanos, inocuos y bio-seguros (Magallón y Villareal, 2007, FAO 2012). Para llegar a una producción sustentable, se mencionan diversos ejes o factores a considerar, sin embargo se mantienen tres aspectos básicos, impacto económico de la producción, el efecto que el desarrollo industrial tiene en el ambiente y la capacidad de integrar a los diferentes sectores de la sociedad a la producción (Avilés-Quevedo y Vázquez-Hurtado, 2006). Los

anteriores relacionados por los ejes de articulación de desarrollo tecnológico, desarrollo institucional y el desarrollo jurídico y normativo de la actividad (Magallón y Villareal (2007).

FAO (2012) mencionan que las actividades acuícolas para un crecimiento sostenible deben tener un cambio de comportamiento y transición hacia un crecimiento verde mediante: i) adoptar un enfoque eco sistémico de la acuicultura (EEA) con sistemas de tenencia justos y responsables con objeto de que los usuarios de los recursos pasen a gestionarlos; ii) integrar la acuicultura en la gestión de las cuencas hidrográficas y las zonas costeras; iii) apoyar el desarrollo y la inversión en tecnología “verde” (por ejemplo, métodos de pesca de bajo impacto por menor consumo de combustible; sistemas innovadores de producción acuícola y una gestión más adecuada de los desechos); iv) sensibilizar a los consumidores y al sector acerca de la importancia de dar preferencia a los productos pesqueros y acuícolas sostenibles.

En materia de Acuicultura Sustentable, en el Estado de Hidalgo el Plan de Desarrollo Estatal 2011-2016, señala que se carece de un marco normativo estatal, lo que impide entre otras cosas, la realización de funciones que actualmente le competen al Gobierno Federal, siendo las principales; la inspección y vigilancia de los cuerpos de agua y unidades de producción, la emisión de permisos de pesca comercial y deportiva, la concesión de uso de agua para el sector acuícola y pesquero y dictamen para la realización de estudios de impacto ambiental para la implementación de nuevos proyectos acuícolas.

El desarrollo de la actividad acuícola en Hidalgo, se encuentra dentro del eje 2 de acción contemplados en el plan de desarrollo estatal 2011-2016, con el objetivo de fortalecer el sector acuícola mediante programas y procesos, que incrementen el financiamiento para la diversificación productiva, ampliación de mercados, innovación tecnológica, capacidad productiva y profesionalización del mismo.

**Con las siguientes líneas de acción:**

- Crear a partir de una visión de largo plazo, el programa de desarrollo acuícola estatal, incluyendo el fortalecimiento del marco legal e institucionales de la política acuícola y la armonización de sus leyes y reglamentos.
- Promover esquemas de financiamiento específicos para la diversificación productiva en granjas acuícolas
- Propiciar la asociación de unidades de producción que faciliten el acceso al financiamiento acceso a la asesoría y acompañamiento
- Fortalecer las estrategias de comercialización y mercadeo
- Crear los mecanismos necesarios para que los productores tengan acceso a la asesoría y acompañamiento sistemáticos, a fin de facilitarles la obtención y certificación de productos.
- Impulsar procesos para fortalecer la comercialización y crecimiento en los eslabones de transformación e industrialización
- Impulsar la creación de esquemas formativos para la profesionalización del sector.

Dentro del mismo plan se señala que la producción pesquera del estado se reporta sin un registro oficial, debido a que la mayoría se destina para el autoconsumo, no se cuenta con suficientes grupos organizados y por consiguiente se carece de un Registro Nacional de Pesca. Además menciona que el desarrollo de los mercados regionales se ve limitado ya que los canales de

comercialización siguen siendo los inadecuados, por el establecimiento de intermediarios y porque los productores enfrentan la incertidumbre para preservar sus productos.

Un aspecto importante a señalar, es lo mencionado en la Carta Acuícola Nacional 2012, y son las directrices para la actividad piscícola en México, en las cuales se resalta la importancia de llevar a la sustentabilidad la actividad. Dichas directrices son:

- a) Alimentos inocuos y de calidad.
- b) Promover el cuidado y reciclamiento del recurso agua.
- c) Programa Nacional de Bioseguridad para la certificación sanitaria continua de las líneas de reproductores, huevo y crías.
- d) Elevar los estándares de calidad del producto para penetrar en el mercado extranjero, altamente competitivo.
- e) Diseño de mejores sistemas de cultivos que permitan bajar los costos de operación.
- f) Mejorar la eficiencia de la producción para ofertar el producto a precios competitivos.
- g) Estimular el comercio para incrementar el consumo nacional y extranjero.
- h) Impulsar la creación de Unidades de Manejo Acuícola (UMAC) y planes de manejo, lo anterior para lograr el desarrollo ordenado y sustentable de la acuicultura.

## **X. JUSTIFICACIÓN**

La acuicultura es una actividad productiva importante para el estado de Hidalgo, jugando un papel importante dentro de la seguridad alimentaria local y regional. Sin embargo, es una actividad que no ha representado prioridad para programas gubernamentales y el crecimiento que ha presentado es con baja tecnificación y capacitación de los pobladores que la ejercen. Lo anterior da como resultado que sea una actividad poco explotada, desde el punto de vista de rentabilidad y que carezca fuera de márgenes de sustentabilidad.

Como consecuencia no se genera información con respecto a la parte ambiental de la actividad, por lo cual no se tiene un estudio que demuestre o evidencie el impacto generado por los efluentes de granjas piscícolas.

Pero dado el gran crecimiento que ha tenido esta industria en años pasados; y a los grandes volúmenes de agua e insumos que requiere para su actividad y los sistemas de cultivo empleados se hace necesario el realizar este tipo de estudios para determinar posible impacto que pueden generar las granjas piscícolas por vertido de efluentes y asimismo generar la información base que permita el diseñar herramientas como estrategias de mitigación ambiental acorde a la entidad.

## X. OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Determinar el estado de la actividad Piscícola en el Estado de Hidalgo, mediante la realización de un diagnóstico y evaluación ambiental, para proponer una herramienta de mitigación y/o prevención de contaminación ambiental.

Para la realización de este trabajo se consideraron dos componentes principales, determinar si existe una problemática ambiental y generar propuesta de una herramienta de prevención y/o mitigación ambiental factible para la actividad en el Estado.

### Objetivos particulares

#### Parte I: DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD PISCÍCOLA EN EL ESTADO

- Realizar un análisis FODA, mediante la generación de una base de datos de información general de la actividad desde el punto de vista de productor e instituciones implicadas, permitiendo elaborar un diagnóstico de la actividad en el Estado.
- Realizar la evaluación del desempeño ambiental de la actividad mediante el cumplimiento de estándares ambientales vigentes establecidos por la normatividad mexicana.
- Realizar el cálculo teórico del aporte de Nitrógeno y Fósforo a los cuerpos receptores que se realiza por medio de los efluentes acuícolas en el estado, mediante las fórmulas de Ghaly *et al.*, (2005) y Jover (2000), determinando el potencial de impacto en dichos cuerpos.
- Caracterizar agua residual (efluente) de una “granja tipo” de cultivo de Tilapia en cuanto a lo establecido por la NOM-ECOL-001-1996 para biocontaminantes (Nitrógeno y Fósforo) y parámetros físico-químicos in situ (temperatura, Sólidos suspendidos totales, pH).

#### Parte II: PLANTEAMIENTO DE UNA HERRAMIENTA DE MITIGACIÓN Y/O PREVENCIÓN DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL.

- Determinar la opción más viable de las estrategias que se pueden implementar como herramienta de mitigación de efluentes acuícolas, mediante la revisión bibliográfica de los posibles tratamientos a aplicar y realización de un análisis tomando parámetros de diseño las características de AR de la granja tipo (características de la unidad de producción), entorno social, y características del agua residual.
- Determinar las características y factores del diseño a establecer.
  - Caracterización biológica, física y química de soportes locales (residuos de cebada y dos variedades de tezontle) para su uso potencial dentro del sistema.
  - Determinar el potencial de remoción de nutrientes de hortalizas (lechuga y cilantro), para su uso como fito-remediador de efluentes piscícolas.

## XI. MATERIALES Y MÉTODOS.

### Parte I: DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD PISCÍCOLA EN EL ESTADO

La metodología general empleada en la parte 1 del proyecto se esquematiza de forma general en la figura 9 y se describe más adelante.

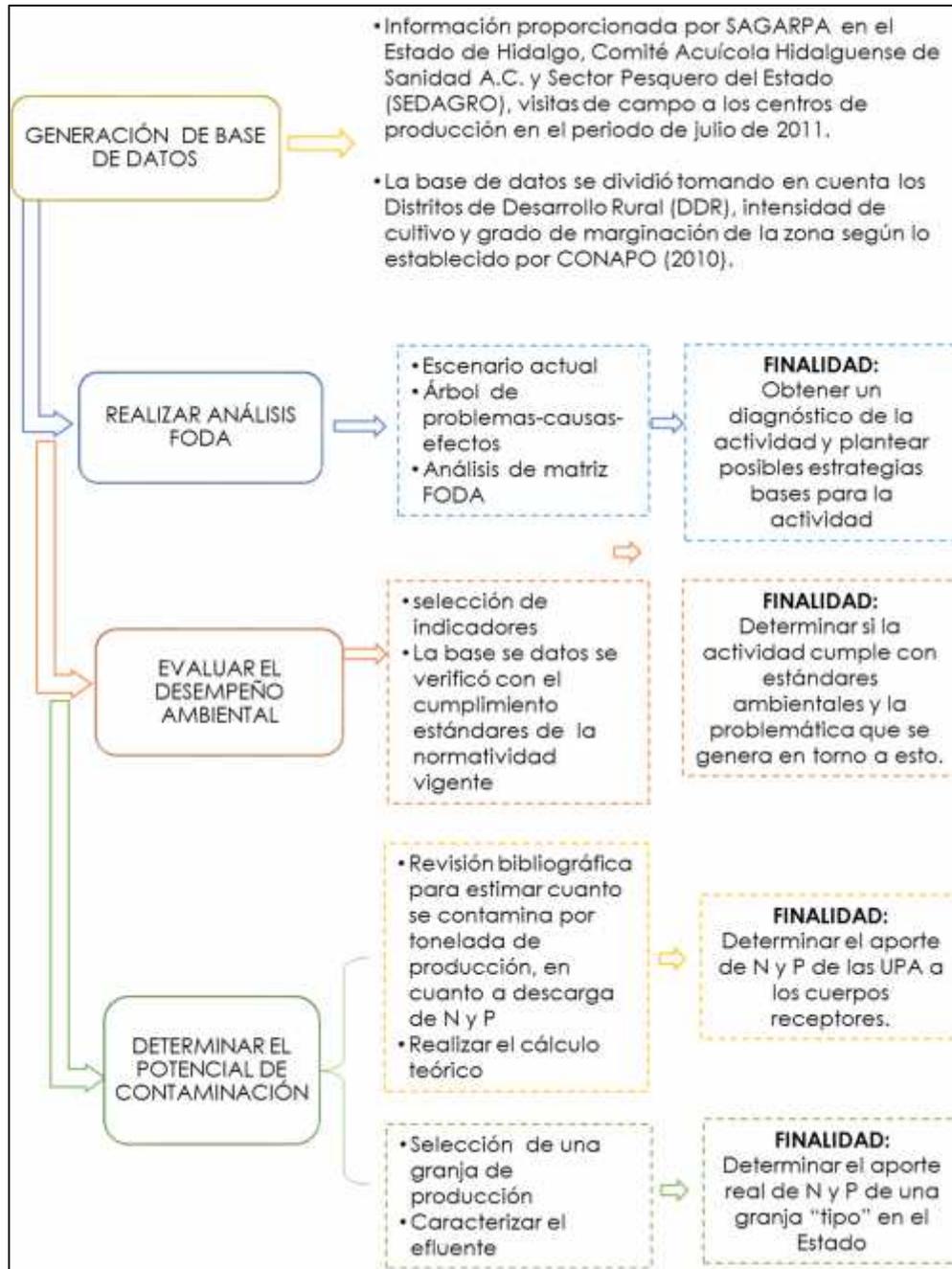


Figura 9. Esquema general de la metodología para la parte 1 del proyecto.

El estudio se inició en generando una base de datos con información registradas en la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) en el Estado de Hidalgo; para lo cual se accedió a bases de la misma Secretaría, Comité Acuícola Hidalguense de Sanidad A.C. y Sector Pesquero del Estado, registrando datos generales de

producción y cumplimiento con la normatividad vigente. De misma forma, en el periodo de julio de 2011 a agosto 2012, se realizaron visitas a los centros de producción para actualizar la información existente y reunir la información de nuevos productores:

1. Área total de producción
2. Estanquería (infraestructura)
3. Especie cultivada
4. Densidades de siembra
5. Tipos de alimentación y tasas de la misma
6. Inocuidad piscícola
7. Dificultades presentes en el cultivo
8. Época de cosecha y destino de la misma

La base de datos se dividió tomando en cuenta los Distritos de Desarrollo Rural (DDR), intensidad de cultivo y grado de marginación de la zona según lo establecido por CONAPO (2010).

Los DDR considerados son: Huejutla (01), Zacultipan (02), Tulancingo (03), Pachuca (04), Mixquiahuala (05) y Huichapan (06) (Fig. 10). Para la intensidad de cultivo se consideraron cinco grupos: autoconsumo ( $<0.5 \text{ org/m}^2$ ), extensivo ( $0.5-1 \text{ org/m}^2$ ), semi-intensivo ( $1-5 \text{ org/m}^2$ ), intensivo ( $5-20 \text{ org/m}^2$ ) y super-intensivo ( $> 20 \text{ org/m}^2$ ). Los municipios según su grado de marginación se encuentran en la tabla 7.



DDR 1: Atlapexco, Huautla, Huzalingo, Huejutla, Jalcotan, San Felipe Orizatlán, Xochiatipan, Yahualica

DDR2: Calnali, Eloxochitlán, Juárez Hidalgo, Lolotla, Metzquititlán, Molango, Tepehuacan de Guerrero, Tianguistengo, Tlahuiltepa, Tlanchinol, Xochicoatlán, Zacualtipán

DDR 3: Acatlán, Acaxochitlán, Agua Blanca, Cuautepec, Huhuetla, Metepec, San Bartolo Tutotepec, Santiago Tulantepec, Singuilucan, Tenango de Doria, Tulancingo

DDR 4: Almoloya, Apan, Atotonilco el Grande, Emiliano Zapata, Epazoyucan, Huasca de Ocampo, Mineral del Chico, Mineral del Monte, Mineral de la Reforma, Omitlán de Juárez, Pachuca, San Agustín, Tlaxiaca, Tepeapulpo, Tizayuca, Villa de Tezontepec, Zapotlán de Juárez, Zempoala

DDR5: Actopan, Ajacuba, Alfajayucan, Atitaliaquia, Atotonilco de tula, Cardonal, Chilcuatla, El Arenal, Francisco I. Madero, Ixmiquilpan, Mixquiahuala, Progreso de Obregón, San Salvador, Santiago de Anaya, Tasquillo, Tepeji del Rio, Tepetitlán, Tetepango, Tezontepec de Aldama, Tlahuelilpan, Tlaxcoapan, Tula de Allende

DDR 6: Chapantongo, Chapulhuacan, Huichapan, Jacala, La Mision, Nicolas Flores, Nopala, Pacula, Pisaflores, Tecozutla, Zimapán.

Figura 10. Delimitación geográfica de los Distritos de Desarrollo Rural (DDR) en el estado de Hidalgo, y su conformación municipal.

Tabla 7. Municipios clasificados según el índice de marginación establecido por la CONAPO 2010

MUY ALTA	DDR 1	Huazalingo, Xochiatipan, Yahualica
	DDR 2	Tepehuacán de Guerrero
	DDR 3	Huehuetla, San Bartolo Tutotepec
	DDR 4	
	DDR 5	
	DDR 6	La Misión
ALTA	DDR 1	Atlapexco, Huautla, San Felipe Orizatlán
	DDR 2	Calnali, Lolotla, Metztlán, Tianguistengo, Tlahuiltepa, Tlanchinol
	DDR 3	Acaxochitlán
	DDR 4	
	DDR 5	
	DDR 6	Chapulhuacán, Nicolás Flores, Pacula, Pisaflores
MEDIA	DDR 1	Huejutla de Reyes, Jaltocán
	DDR 2	Eloxochitlán, Juárez Hidalgo, Molango de Escamilla, San Agustín Metzquititlán, Xochicoatlán, Zacualtipán de Ángeles
	DDR 3	Acatlán, Agua Blanca de Iturbide, Cuautepec de Hinojosa, Metepec, Singuilucan, Tenango de Doria
	DDR 4	Almoloya, Atotonilco el Grande, Huasca de Ocampo, Mineral del Chico, Omitlán de Juárez
	DDR 5	Alfajayucan, Cardonal, Chilcuautla, El Arenal, San Salvador, Ixmiquilpan, Santiago de Anaya, Tasquillo, Tezontepec de Aldama, Tepetitlán
	DDR 6	Chapantongo, Huichapan, Nopala de Villagrán, Jacala de Ledezma, Tecozautla, Zimapán
BAJA	DDR 1	
	DDR 2	
	DDR 3	Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Tulancingo de Bravo
	DDR 4	Apan, Epazoyucan, San Agustín Tlaxiaca, Villa de Tezontepec, Zapotlán de Juárez, Zempoala
	DDR 5	Actopan, Ajacuba, Atotonilco de Tula, Francisco I. Madero, Mixquiahuala de Juárez, Progreso de Obregón, Tepeji del Río de Ocampo, Tetepango, Tlahuelilpan, Tlaxcoapan
	DDR 6	
MUY BAJA	DDR 1	
	DDR 2	
	DDR 3	
	DDR 4	Emiliano Zapata, Mineral de la Reforma, Mineral del Monte, Pachuca de Soto, Tepeapulco, Tizayuca
	DDR 5	Atitalaquia, Tula de Allende
	DDR 6	

De la base de datos generada se eliminaron granjas inactivas, didácticas, y aquellas que corresponden a otro tipo de cultivo.

Para llevar al cabo el **diagnóstico de la acuicultura en el estado de Hidalgo**, se realizaron dos etapas. La primera que ya se mencionó (generar la información para el análisis), se asistió a cursos de capacitación técnica impartidos por los sistemas productos implicados, para conocer el grado de conocimiento técnico de los productores y se asistió a reuniones, en diversas instituciones, para conocer las demandas del sector. Con la base generada se realizó un escenario actual de la actividad, un mapa conceptual de la actividad, el árbol de problemas-causas-efectos y análisis de matriz FODA, lo anterior permitió un el diagnóstico de la actividad y plantear posibles estrategias bases para la actividad.

Para la **evaluación del desempeño ambiental**, se siguieron las recomendaciones de García *et al.*, (2001), donde indica que se puede realizar mediante la selección de indicadores apropiados desde el punto de vista económico, social y ambiental. Para los indicadores ambientales a considerar, deben estar bajo los principios de mantener los bienes y servicios que el medio ofrece a la acuicultura, contribuir a mejorar la huella ecológica de la actividad y fomentar la sostenibilidad ambiental, teniendo como resultado a considerar la energía empleada, entradas/salidas, cumplimiento con estándares ambientales, existencia de estudio de impacto ambiental, uso de certificaciones y buenas practicas.

Sustentados en la confiabilidad de la información entregada por el productor, y en las capacidades de control y fiscalización de las instituciones públicas sectoriales, los datos obtenidos se verificaron la normatividad vigente para hacer una evaluación del desempeño ambiental de la actividad en el Estado mediante el cumplimiento de estándares ambientales necesarios para establecer y operar una unidad de producción acuícola en el país.

Para **determinar el potencial de contaminación de la actividad**,

a) Cálculo teórico

primero se realizó un cálculo teórico tomando en cuenta la producción total y estimación de producción residual de nitrógeno (N) y fósforo (P) para cultivo de bagre, carpa y tilapia, según lo menciona Ghaly *et al.* (2005), por cada tonelada de producto fresco se obtienen 60 kg N y 12 kg de P; y para cultivo de trucha según lo menciona por Jover (2000), por cada tonelada de producto fresco se obtienen 50 kg de N y 6 kg de P.

b) Caracterización de efluente

**Descripción de la unidad de producción piscícola.**

La unidad de producción, Granja Eco-turística Muñoz, está ubicada en la barranca del Vite, Huasca de Ocampo, municipio de Hidalgo, México. La localidad se encuentra a una mediana altura de 1760 metros sobre el nivel del mar y en las coordenadas longitud: -98.499167 y Latitud 20.259722. La particularidad de esta barranca, es que se genera un micro ecosistema sin variaciones drásticas de las condiciones ambientales que caracterizan al Estado. La unidad de producción cuenta con 4 estanques de cultivo rectangulares (15\*5\*1.2m), 1 rectangular de (3\*5\*2), 1 estanque circular (6\*2), un área de cuarentena, área de eviscerado, cuarto de alimentación y una bodega. Su cultivo principal es *Oreochromiss niloticuss* (tilapia del Nilo) y

*Oreochromis mossambicus* spp. (Variedad híbrido rojo). La alimentación es comercial y en raciones de 3 veces al día, en base a la Tabla del alimento comercial empleado. Los recambios de agua del 25% son determinados de forma empírica por el productor (observaciones de coloración y materia suspendida). El agua de abastecimiento es manantial (sin registro) con un flujo de 8 l/s. Cada estanque tiene una línea de llenado y drenado independiente. Las líneas de drenado se concentran en una línea de salida general, la cual es vertida de forma directa a un arroyo. Esta unidad de producción cuenta con certificación Buenas Prácticas de Manejo Acuícola.



Figura 11. Imagen aérea de la unidad de producción acuícola. Se puede observar los 4 estanques rectangulares de cultivo principal, un estanque circular y otro rectangular donde se coloca el producto de venta.

### **Trabajo de campo y laboratorio.**

Se realizó un muestreo semanal de agua de entrada y efluentes de la Granja Eco-turística Muñoz. Se colectaron 3 muestras de cada punto de muestreo (1L cada una), se colocaron en una hielera para su transporte al laboratorio de Química en Alimentos 2- Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, para su posterior análisis. De forma semanal se determinó la concentración de Nitrógeno total (NT), Fósforo total (PT); y cada 15 días se contabilizaron Coliformes totales (CT), en base a las Normas Oficiales Mexicanas (NMX-AA-026-SCFI-2001, NMX-AA-029-SCFI-2001 y NMX-AA-042-1987, respectivamente). En el sitio de muestreo se midió temperatura (T°C), Oxígeno disuelto (OD), sólidos suspendidos totales (SST) y pH, con ayuda de un multi-paramétrico portátil (SESSION 115).



Figura 12. Colecta de muestras y toma de parámetros físico-químicos.

### **Trabajo de escritorio**

Para determinar la relación entre las variables evaluadas se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) y Análisis de Factores (AF). Como primer paso se analizó la matriz de correlación para ver si este tipo de análisis es aplicable a la naturaleza de los datos, se determinaron el número de componentes (factores) por medio de una gráfica de sedimentos y se realizó una rotación de factores mediante varimax-normalizada. Los análisis se realizaron con ayuda del software STATISTICA 7.0.

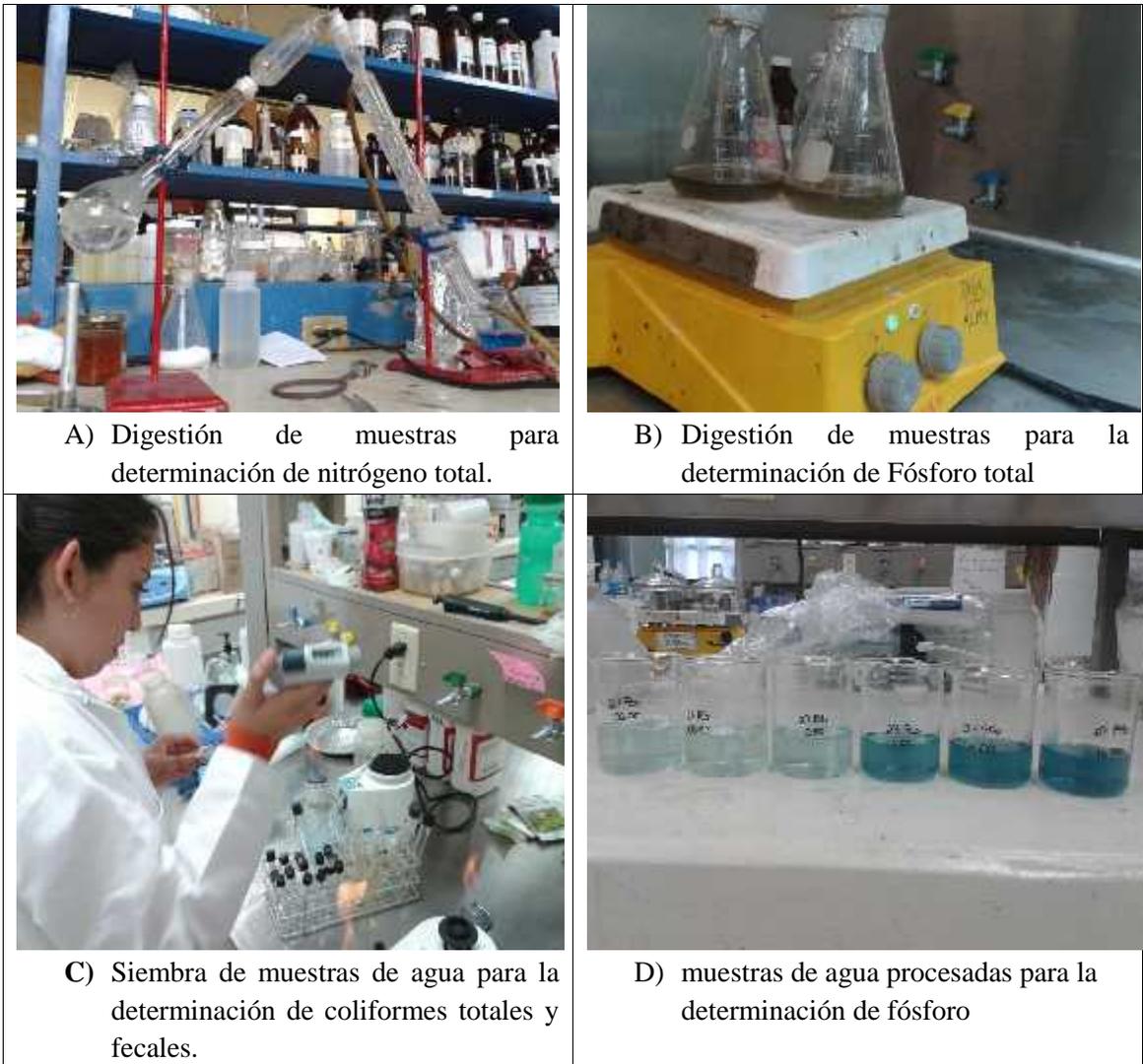


Figura 13. Procesamiento de muestras para la determinación de Nitrógeno total, Fósforo total y coliformes totales.

**Parte II: PLANTEAMIENTO DE UNA HERRAMIENTA DE MITIGACIÓN Y/O PREVENCIÓN DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL.**

La metodología general empleada en la parte 2 del proyecto se esquematiza de forma general en la figura 14 y se describe más adelante.

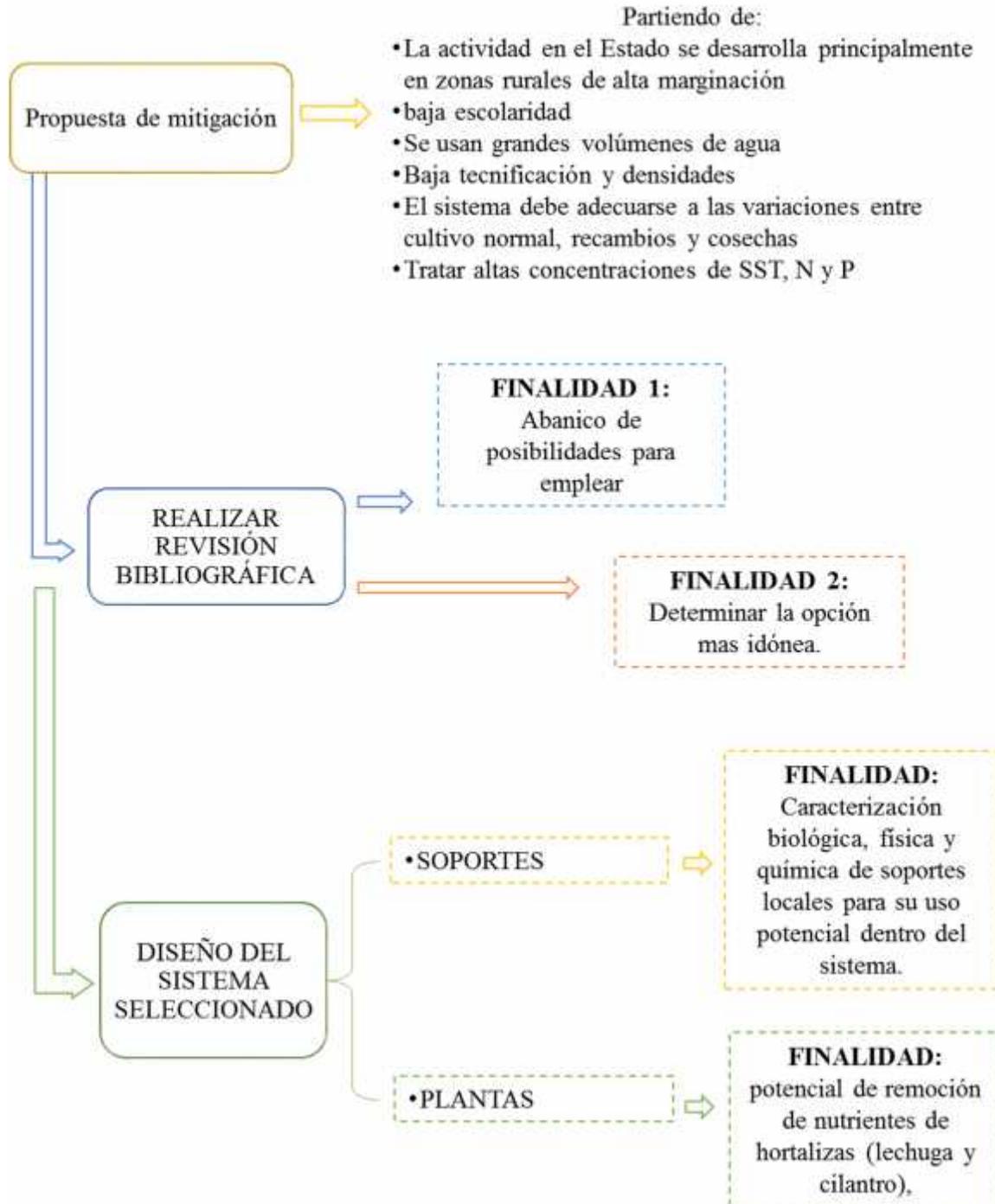


Figura 14. Esquema general de la metodología para la parte 2 del proyecto.

Para el diseño del sistema acuapónico se consideraron dos puntos relevantes, la elección del sustrato mediante su caracterización y la elección de las plantas a emplear mediante la eficiencia de remoción. Además bajo la revisión bibliográfica realizada se considera que el factor social juega un papel importante en la selección de los mismos, por el costo, la operación y manejo, y buscando una estrategia integrada a un concepto de sustentabilidad.

La caracterización de los materiales locales para usar como sustrato, se inició con la colecta de los residuos de cebada, estos se obtuvieron del Valle de Apan cosecha 2010, Hidalgo, México. Para su acondicionamiento se redujo el tamaño de partícula con ayuda de un molino forrajero.

La caracterización física incluyó: 1) Granulometría, para lo cual se tamizaron 100g de muestra por 3 min en un ROTAB con tamices numero 14 (1.4mm), 18 (1mm), 35 (500 UM), 40 (425 UM), 50 (300UM), 60 (250 UM), 70 (212 UM) y <70 (<212 UM); 2) Densidad aparente (Da), 3) Densidad real (Dr) y espacio poroso total (EPT) mediante las especificaciones de la NOM-021-RENACT.

Para la caracterización química se consideró: 1) pH, 2) Conductividad eléctrica (CE) medidos en agua mediante especificaciones de la NOM-021-RENACT y 3) técnica de espectroscopía IR de los sustratos de forma “natural” y los tratamientos del mismo (TA= fermentación en agua 5, 10 y 20 días; y TB= lavado con agua hirviendo 5, 10 y 20 min).

Para la caracterización biológica consistió en una modificación del análisis estático básico de fitotoxicidad reportado en la bibliografía (Zucconi *et al.*, 1981; Tiquia, 2000; Emino y Warman, 2004, Araujo y Monteiro, 2005, Varenero, Rojas y Arellano, 2007, Sobrero y Ronco 2004). Se prepararon suspensiones-diluciones (residuo-agua) en la proporción determinada para cada etapa, los materiales evaluados fueron cascarilla y paja de cebada, como testigo se empleó agua destilada. Se colocaron 20 semillas de lechuga (*Lactuca sativa L, marca comercial*) en cajas petri y se les adicionó 10 ml de cada tratamiento.

Para %G se contabilizaron las semillas con aparición de ápice radicular a las 24 h. Para el índice de germinación las semillas se incubaron por un periodo de 120 hrs a 23 °C, terminado el tiempo se midió la elongación de tallo y raíz de cada tratamiento, calculándose el índice de germinación (Ig):

$$I_g, \% = \left(\frac{G}{G_0}\right) \left(\frac{L}{L_0}\right) * 100$$

Donde: G = Número de semillas germinadas en solución del sustrato; G0 = Número de semillas germinadas en el blanco; LR = Longitud radicular medida en la solución de sustrato; y LR0 = Longitud radicular medida en el blanco.

La toxicidad fue evaluada por la medición de los efectos subletales (inhibición de la prolongación de la raíz) mediante lo descrito por Torres et al. (2006). El porcentaje de inhibición de la prolongación de la raíz (IP) se realizó mediante la fórmula:

$$\% \text{e inhibición } (I_p) = \left( \frac{m - c}{c - r} \right) * 100$$

IP negativa: Tóxica (inhibición de la prolongación de la raíz).

IP positiva: Se consideró estimulación del crecimiento.

IP = 0, No tóxica.

Etapa 1. Se realizó un bioensayo para determinar el efecto de la concentración del residuo en el extracto acuoso (T0= agua destilada; T1= 1:200; T2= 1:95; T3=1:40; T4=1:20, T5=1:10 y T6= 1:5) y los parámetros químicos pH, salinidad (SAL), sólidos suspendidos totales (SST) y conductividad eléctrica (CE), en el porcentaje de germinación de semillas de lechuga (*Lactuca sativa*).

Etapa 2. De la concentración determinada como inhibitoria para germinación (1:40), se consideró una dilución más concentrada (1:25) y una de menor concentración (1:75). Se realizó un segundo bioensayo para determinar el efecto Fitotóxico de la concentración del extracto en el porcentaje de germinación (%G), índice de Germinación (IG) e índice de fitotoxicidad (IP) (Vargas Tapia, et al., 2008; Rojas et al., 2010; Torres *et al.*, 2006).

Las determinaciones físicas, químicas y biológicas se hicieron con cinco replicas, el diseño experimental fue completamente al azar y la comparación de medias se hizo mediante la prueba de Tukey ( $P = 0.05$ ) y un análisis de componentes principales (ACP) para relacionar las variables químicas con la respuesta biológica, con ayuda del software STATITICA 7.0.

Para la evaluación del potencial fitoremediador de plántulas, se seleccionaron lechuga (*lactuca sativa var oscinata*) y espinaca (*spinacia oleracea*). El ensayo se inició con plántulas de lechuga y espinaca de 8 días de edad, germinadas hidropónicamente a 25°C y 7 h luz/d. El ensayo se realizó mediante el método de raíz flotante, 10 plántulas en 200 ml de agua residual de cultivo de peces por una semana, a 25°C y 7 h luz/d. Se consideró la remoción de fósforo, como indicador de fitoremediación ya que en medio acuático es el factor limitante en procesos de eutrofización. La concentración inicial de fósforo en el agua fue de 1.23 mg/l.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 6.1. PARTE I: DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD DIAGNÓSTICO DE LA ACTIVIDAD ACUÍCOLA EN EL ESTADO DE HIDALGO

#### 6.1.1. DIAGNÓSTICO DE LA ACTIVIDAD ACUÍCOLA EN EL ESTADO DE HIDALGO

##### 6.1.1.1. Escenario para el periodo 2012-2013

La información de las unidades de producción por Distritos de Desarrollo Rural, Grado de marginación e intensidad de cultivo, se presentan de forma resumida en las Fig. 15, 16 y 17, respectivamente.

Se tiene un registro de 610 unidades de producción acuícola (UPA), de las cuales 14% se encuentran inactivas; una superficie de cultivo de 46.79 hectáreas, densidad promedio de cultivo de 6.14 org/m<sup>2</sup> y producción de 622.5 toneladas de producto fresco. De las 529 UPA activas, 4 funcionan como unidades de confinamiento y el resto son unidades de crianza y/o engorda.

En Hidalgo se cultivan 4 grupos de peces: trucha, tilapia, carpa y bagre, observándose la presencia de un solo grupo de cultivo o más, en estanques separados, teniendo que 247 UPA solo cultivan un grupo y 181 UPA mínimo dos. El cultivo más difundido es de tilapia (32%), carpa (22%) y trucha (14%). Donde existen más de dos grupos de cultivo se observó la preferencia de la combinación de carpa-tilapia (75%) y tilapia-bagre (13%).

Se realizó un análisis de correlación de Spearman (datos no paramétricos,  $p < 0.05$ ), encontrando una correlación significativa entre DDR con el grado de Marginación de la zona (0.45) y con la superficie (0.11); una correlación entre la producción e intensidad de cultivo (0.16) y con la superficie (0.34), correlación entre la intensidad de cultivo y la superficie (-0.11) y con la marginación (-0.09), correlación entre marginación y grupo cultivo (0.26).

Con los datos colectados es importante calcular la eficiencia de producción, entendiendo esta como las toneladas de producto fresco por hectárea de cultivo, ya que esta nos indica la rentabilidad de la actividad en el Estado. Partiendo de lo anterior, se observa que en DDR 5 y DDR 3, son los que representan el mayor número de UPA's establecidas (42% y 19%), mayor superficie de cultivo (47% y 33%) y mayor producción (20 y 33%, respectivamente); Sin embargo su eficiencia de producción es muy baja, de 5.83 ton y 13.25 ton, respectivamente. Contrario a DDR4 y DDR6 donde se observa una superficie de cultivo baja <3ha (6%), con una producción de 17% y 22% de la total, y una eficiencia de producción de 38.54 ton y 52.93 ton, respectivamente.

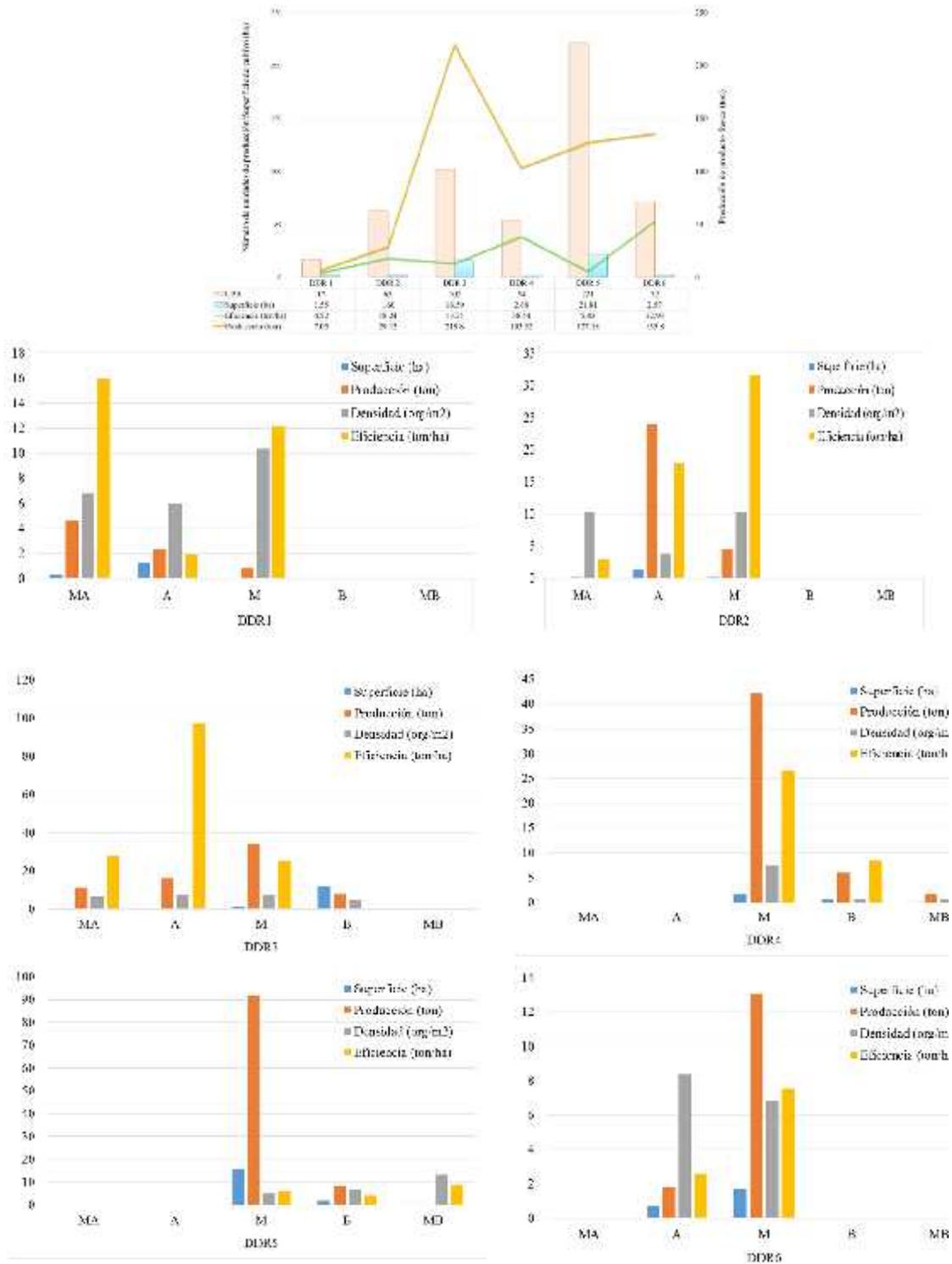


Figura 15. Actividad acuícola desarrollada en los Distritos de Desarrollo Rural (DDR) en el Estado de Hidalgo, separadas por grado de marginación según los índices de la CONAPO (2011) en Muy alto (MA), Alto (A), Medio (M), Bajo (B), MB (Muy Bajo).

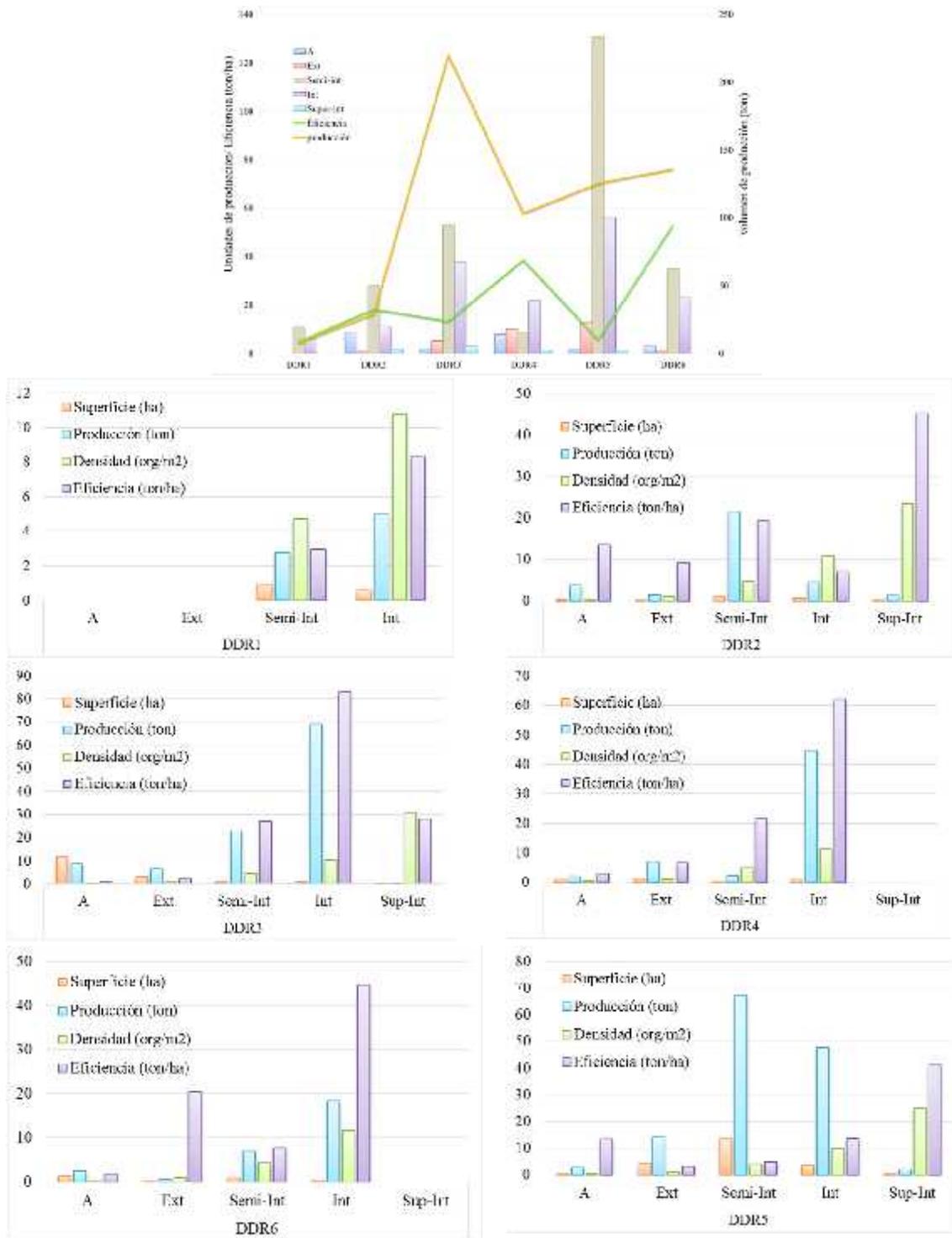


Figura 16. Actividad acuícola desarrollada en los Distritos de Desarrollo Rural (DDR) en el Estado de Hidalgo, separadas por Intensidad de cultivo, Autoconsumo (A), Extensivo (Ext), Semi intensivo (Semi-int), Intensivo (Int), Superintensivo (Sup-Int).

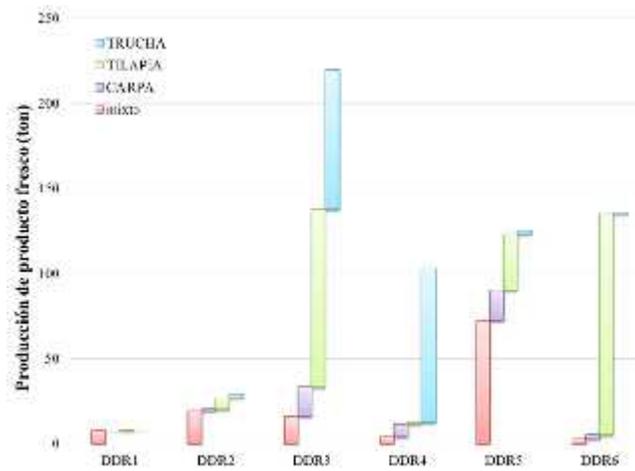


Figura 17. Preferencia de cultivo por DDR.

En conjunto la actividad representa una fuente importante de ingresos económicos para el Estado (18). SAGARPA en los anuarios en el periodo de 2007-2013, reporta que es potencia en el cultivo de peces a nivel nacional, siendo el segundo productor de trucha (solo por debajo de Edo. de México), el segundo productor de carpa, el octavo productor de tilapia y el onceavo productor de bagre. Se puede observar que los cultivos de trucha y bagre, son los que representan mayor ingreso económico para entidad teniendo que en promedio el precio por tonelada en el periodo de estudio se encuentra entre 54.2 y 53.4 miles de pesos respectivamente; y los cultivos de carpa y tilapia son los de mayor difusión, representan un ingreso de 22.3 y 27.4 miles de pesos respectivamente. En los últimos 5 años se ha observado un incremento en la producción de trucha, esto debido a que representa mayor aporte económico que las otras especies teniendo que del 2007 al 2010 la producción se sextuplicó. Sin embargo, de forma general no se observa un crecimiento en la actividad, a partir del 2010 a la fecha teniendo para el 2013 una producción de 60.04 ton de bagre, 116.98 ton de carpa, 160.34 ton tilapia y 298.06 ton. de trucha, representado en conjunto un ingreso de 37.49 millones (sin contar otras especies).

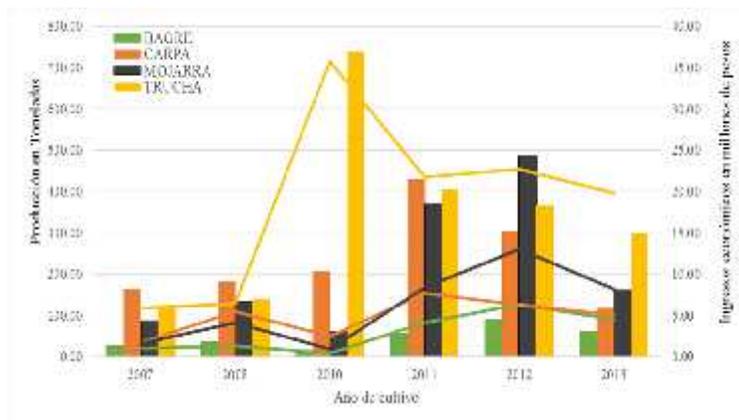


Figura 18. Serie histórica de producción de la actividad acuícola en el estado de Hidalgo por grupo de cultivo y los ingresos económicos generados en el mismo periodo. Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, a partir de los anuarios estadísticos de SAGARPA 2007-2013.

### 6.1.1.2. Mapa conceptual de la cadena productiva acuícola en el Estado

Con la información, se generó un mapa conceptual de la actividad, en donde se puede observar la presencia de 4 eslabones principales, proveedores de insumos, productores agrupados en (sistemas de producción y/o centro de acopio), vías de comercialización y consumidor final (Fig. 19).

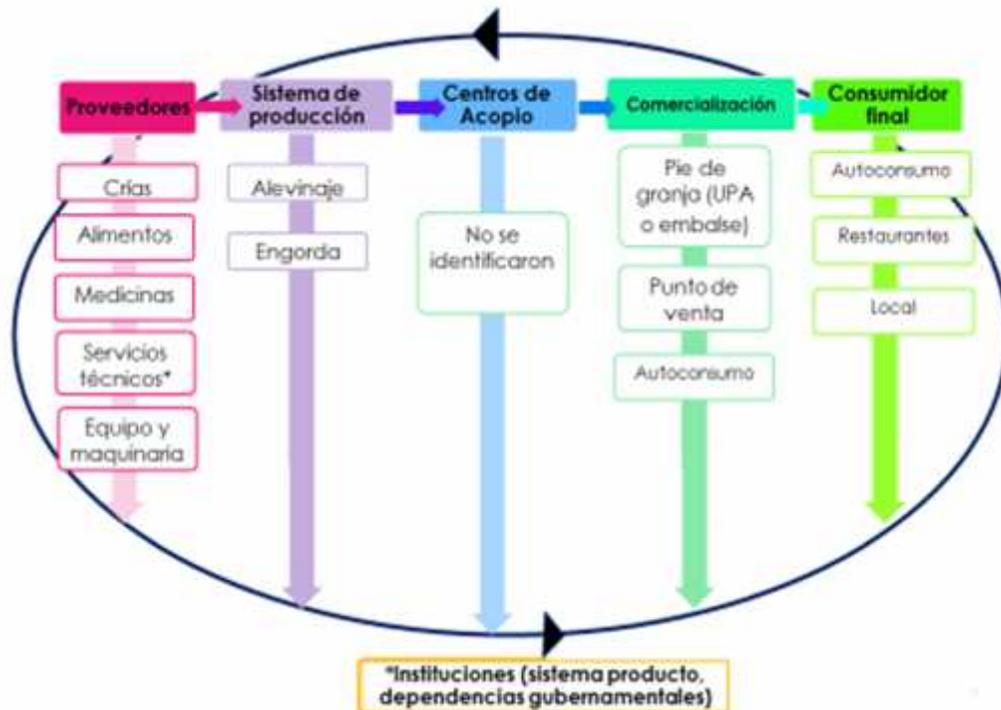


Figura 19. Mapa conceptual de la Cadena productiva acuícola en el Estado de Hidalgo.

En lo que corresponde a los proveedores de crías, la situación es que productores dedicados al autoconsumo se abastecen de crías a bajo precio o donación por parte de programas de Gobierno del Estado. En unidades de producción en donde la visión es comercial, se tiene que el abastecimiento puede ser alevines de criaderos del estado de Veracruz, Puebla o Estado de México; o bien compra de huevecillos que se eclosionan en las unidades de producción sin embargo estos son muy pocos casos ya que la gran mayoría no cuenta con áreas de eclosión. La adquisición de alimentos se realiza con comerciantes locales, que van desde veterinarias a comerciantes especializados en alimentos balanceados, por lo cual el costo del alimento se incrementa por la presencia de intermediarios. Lo anterior con lleva a que productores de baja escala optan por alimentar a las crías con alimento de un solo gramaje o bien con alimento no adecuado, como restos de tortillas, verduras, maíz, etc. En respuesta a lo anterior, los sistemas producto buscan el efectuar compras consolidadas con el proveedor directo, sin embargo para realizar esto se generan problemas de organización entre los productores para alcanzar la cantidad de compra de alimento. El empleo y adquisición de antibióticos, es directo a tiendas veterinarias, pero es raro el uso de los antibióticos debido al costo de su aplicación. Por lo cual es de uso muy común la aplicación de baños de sal como medio de control y prevención de enfermedades.

Por otra parte proveedores de servicios técnicos y de asesoría a la actividad, en Hidalgo no se tiene presencia de especialistas dedicados a este tipo de servicios, según lo comentado por los

productores entrevistados, y esta tarea es efectuada por los sistemas productivos del estado, técnicos de instituciones gubernamentales, como SEDAGRO y CASH. Otra manera de brindar servicios de asesoría, debería ser mediante la presencia indirecta de instituciones educativas por medio de la transferencia científica y tecnológica hacia el sector productivo. Sin embargo, esta es nula, y los pocos proyectos que se han generado están enfocados en la granja de policultivo de Tezontepec de Aldama, la cual se encuentra bajo la dirección de gobierno del Estado.

En cuanto a los sistemas de producción se tiene que de las 611 UPA, de las cuales 2 unidades son de alevinaje (Criadero de Amajac y Policultivo de Tezontepec de Aldama) y el resto se dedican a engorda de organismos. Hay que mencionar que en varias granjas se tiene la presencia de un área de eclosión y alevinaje, como en San Miguel Regla y truchas zembo, sin embargo aquí se compra el huevo a centros de alevinaje de Puebla, Veracruz o EUA, y solo es de auto siembra.

En cuanto a centros de acopio, es decir lugares donde se concentre el producto para su comercialización, como lo pueden ser mercados de pescadores, procesadoras, etc., no se tiene registro de un centro así, ya que el producto se vende principalmente a pie de granja, en poca cantidad a restaurantes o en mercados locales. Lo anterior refleja la ausencia de un canal de comercialización identificado, generando que el producto de venta dure más tiempo en los estantes de venta, incrementando el consumo de alimento e insumos para su mantenimiento; por lo cual la actividad se torna poco rentable para los productores y el precio del producto se incrementa. Teniendo así el reflejo de la poca organización de los productores y baja intervención de los sistemas productos para lograr la comercialización del producto total, ya que si se habla de compras consolidadas, también se debería de hablar de ventas consolidadas en las cuales los productores se organicen para cubrir la demanda de clientes potenciales que requieren cantidad y calidad de producto constante, como lo son centros comerciales en la región, comercializadoras, restaurantes grandes. El generar este tipo de ventas “en volumen”, implican una estandarización real del precio del producto.

#### **6.1.1.3. Identificación de Árbol de problemas-causas-efectos (árbol P-C-E) de la actividad acuícola en el Estado de Hidalgo**

Como segundo paso se analizaron las problemáticas que enfrenta la actividad y se generó el árbol P-C-E para el problema central identificado. Se identificaron dos problemas centrales, la baja rentabilidad de la actividad (Fig. 20) y el incumplimiento con la normatividad (Fig. 21). La primera de ellas relacionada directamente con el proceso productivo y la segunda relacionada con fuerzas administrativas externas a las unidades de producción.

Se presenta una baja rentabilidad de la actividad en el Estado (Fig. 20), pese a que Hidalgo ocupa el segundo lugar en producción a nivel nacional, la actividad no es rentable () y la producción se debe al gran número de UPA´s establecidas. Entre las causas identificadas, se tiene que existen factores que encarecen el proceso de producción, como lo son los costos elevados de alimentos y crías, el desconocimiento de técnicas y sistemas producción que aumenten la producción y disminuyan los insumos empleados durante la actividad, además por si solo la adquisición de alimentos representa un costo elevado para los productores. Otra causa es la carencia de un canal de comercialización, ya que la mayoría del producto se comercializa a pie de granja o bien es destinado a autoconsumo, el precio del producto no es competitivo con el que se oferta en centros comerciales, en parte a los elevados costos de producción y a la falta de visión comercial de los productores. Además no se está dando un valor agregado al producto por lo cual el abanico de consumidores se ve reducido. Una gran causal, es la falta de organización de los productores y dentro de la unidades de producción, ya que

en la mayoría de los casos las empresas están constituidas por los integrantes de la familia. Como parte de la desorganización se refleja en que no se llevan registros de la producción y seguimiento de los mismos, no pudiendo comparar entre un ciclo de cultivo y otro, y establecer de forma empírica protocolos de producción dentro de las unidades. Además no se realizan siembras programadas, afectando de forma directa la formación de un canal de comercialización al no tener cantidad de producto constante. Los efectos que se observan es la Entrada de producto (por medio de comercializadoras) de otros estados para abastecer la demanda local, generando pérdidas de ingresos económicos a la región y el crecimiento y expansión de los sistemas acuícolas en los estados abastecedores. Un efecto es la degradación de recursos naturales, ya que al tener desconocimiento de manejo y técnicas adecuadas para los cultivos, se emplean insumos desmedidos, ejemplo de esto es una baja densidad de cultivo, suministro de alimento a saciedad y gran volumen de agua, con llevan a un impacto mayor en el cuerpo de agua receptor (recurso agua). Lo anterior se refleja en un incumplimiento con la normatividad al impactar al medio ambiente, por lo cual los productores no pueden acceder a apoyos gubernamentales.

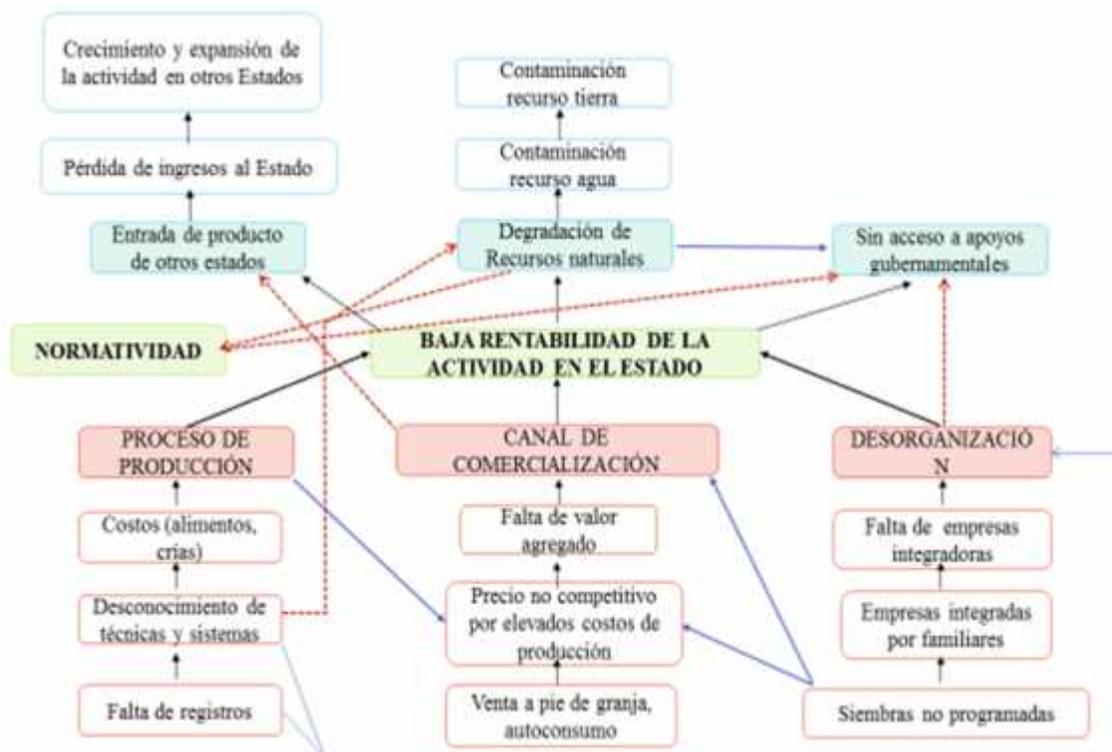


Figura 20. Árbol de Problemas-Causas-Efectos (P-C-E) determinado para la problemática identificada como Baja Rentabilidad.

El segundo problema central identificado (Fig. 21), refiere a un incumplimiento con la normatividad, las causas de este radican en el proceso de producción, el entorno social en el que se desarrolla la actividad, trámites para el establecimiento de UPA's y el papel que juegan las instituciones implicadas en el desarrollo de la actividad. Analizando el proceso de producción, se hace referencia al vertido de efluentes no tratados los cuales se ha reportado pueden llevar una alto contenido de materia orgánica y nutrientes disueltos, debidos a altas densidades de cultivo y/o

prácticas de manejo inadecuadas. El entorno social juega un papel importante ya que en gran parte de las zonas donde se efectúa la actividad presentan altos índices de marginación, pobreza extrema y baja escolaridad. Por lo cual el conocimiento y manejo adecuado de los sistemas de cultivo es de forma empírica y con base en observaciones diarias. El incumplimiento de permisos para el establecimiento y operación de las UPA's, debido a las características sociales y desarticulaciones en las dependencias implicadas para los trámites. Por una parte estos trámites son tardados y complicados para los productores, faltando asesoría y acompañamiento en los trámites por parte de los sistemas producto. En la parte de cumplimiento con la normatividad para que un proyecto se designe como viable debe cumplir con la elaboración de un estudio de manifestación de impacto ambiental, concesión de uso de agua y RNAyP; los cuales deberían obtenerse en ese orden, sin embargo de forma general se obtienen en el orden que sea, reflejando así una desarticulación entre las dependencias implicadas en el proceso. Finalmente no se cuenta con una guía técnica para la implementación de proyectos acuícolas, la cual permita saber al productor los requerimientos con que cumplir.

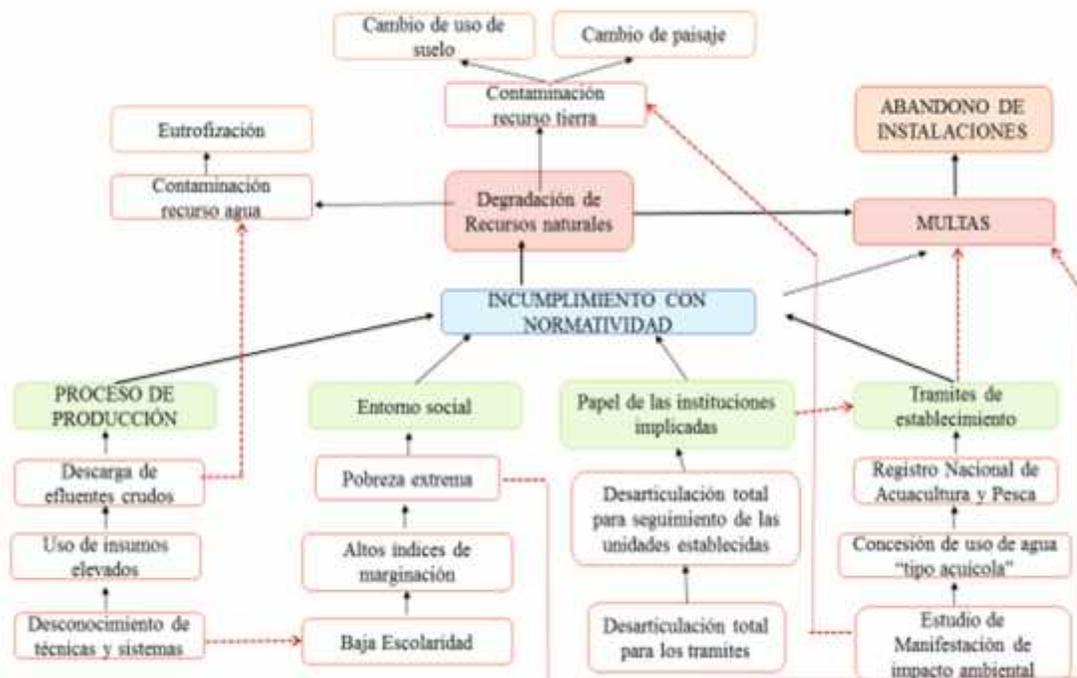


Figura 21. Árbol de P-C-E determinado para la problemática identificada como Baja Rentabilidad

#### 6.1.1.4. Listado FODA del sector acuícola

Con ayuda del mapa conceptual se elaboró el listado FODA (Tabla 8) y cruce de la matriz (Tabla 9) para la actividad.

Tabla 8.. Listado FODA encontrados para la actividad acuícola en el Estado de Hidalgo basados en Escenario actual, mapa conceptual y árbol P-C-E.

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La ubicación geográfica cercana al centro del país</li> <li>• Existencia de los comités sistema-producto.</li> <li>• El conocimiento técnico del área por parte de las autoridades competentes</li> <li>• Recursos naturales que brindan calidad en los sistemas de cultivo (fuentes de agua)</li> <li>• Paisajes conservados en zonas cercanas a las UPA</li> <li>• Ferias locales, eventos de pesca, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencial de consumidores y existencia de grandes comercializadoras del producto</li> <li>• Capacidad técnica para la capacitación de los productores por parte de las autoridades</li> <li>• Presencia de universidades con líneas de investigación en cadenas productivas</li> </ul>
DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ubicación de las UPA: Muchas se encuentran en zonas inaccesibles.</li> <li>• Carencia de un canal de comercialización.</li> <li>• Falta de organización.</li> <li>• Carencia de valor agregado</li> <li>• Falta de vinculación adecuada entre el sector productivo y el sector científico-académico.</li> <li>• Baja rentabilidad</li> <li>• Problemas al tramitar los permisos y cumplimiento con la normatividad.</li> <li>• No se cuenta con personal técnico para el manejo de las instalaciones o bien lo implicados en la actividad no cuentan con la capacidad técnica debida.</li> <li>• No se llevan registros de producción.</li> <li>• Costo elevados de los insumos (alimento)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unidades con densidades de siembra</li> <li>• Bajas rentabilidades.</li> <li>• Precio bajo del producto.</li> <li>• Falta de valor agregado.</li> <li>• Comercialización local (mayormente a pie de granja).</li> <li>• Mayores costos de producción y una limitada capacidad de negociación con proveedores y autoridades.</li> <li>• Perdidas de cultivo.</li> <li>• Flujo de información y transferencia tecnológica deficiente o carente al sector</li> <li>• Multas por parte de las instituciones correspondientes, al no cumplir con trámites.</li> <li>• Abandono de las instalaciones.</li> </ul>

Tabla 9. Estrategias del Cruce F-O, D-O y F-A, D-A, encontrados para la actividad acuícola en el Estado de Hidalgo.

	FORTALEZAS	DEBILIDADES
<b>OPORTUNIDADES</b>	<p><b>POTENCIALIDADES</b></p> <p>Generar un canal de comercialización hacia el centro del país</p> <p>Consolidar cadenas productivas más estables y rentables</p> <p>Generar una vinculación adecuada entre el sector productivo y el sector científico-académico, para establecer líneas de investigación enfocadas a la actividad y en demandas reales del sector.</p> <p>Establecer Programas de capacitación constantes a productores con suma de esfuerzos de las instituciones implicadas, dejando de ser esfuerzos aislados y teniendo capacitaciones más completas que lleguen a la mayor parte de productores.</p> <p>Participación en las ferias locales mediante puntos de venta y restaurantes</p> <p>Ecoturismo</p>	<p><b>DESAFÍOS</b></p> <p>Campañas para aumentar el consumo local del producto</p> <p>Generar centros de acopio de producto vivo de venta, con la finalidad de que los productores en zonas inaccesibles puedan tener el producto disponible a comercialización</p> <p>Establecer mercados de pescadores</p> <p>Establecimiento de empresas integradoras para aumentar la comercialización del producto y poder acceder recursos económicos.</p> <p>Capacitación técnica-práctica para dar valor agregado al producto y sub-productos de la actividad</p> <p>Programa de regularización de trámites y concesiones en cumplimiento con la normatividad</p> <p>Generar compras consolidadas</p>
<b>AMENAZAS</b>	<p><b>ELIMINAR RIESGOS</b></p> <p>Generar un canal de comercialización local</p> <p>Establecimiento de empresas integradoras para aumentar la comercialización del producto.</p> <p>Generar una vinculación adecuada entre el sector productivo y el sector científico-académico</p> <p>Programa de regularización de trámites y concesiones en cumplimiento con la normatividad</p> <p>Establecimiento de incentivos por el cumplimiento con la normatividad</p>	<p><b>ELIMINAR BARRERAS</b></p> <p>Establecer Programas de capacitación constantes a productores con suma de esfuerzos de las instituciones implicadas, dejando de ser esfuerzos aislados y teniendo capacitaciones más completas que lleguen a la mayor parte de productores.</p>

Basados en el cruce de matriz anterior se proponen 9 estrategias para la actividad y a continuación se describen.

(1) El establecer Programas de capacitación constantes a productores con suma de esfuerzos de las instituciones implicadas; esto ayudaría a eliminar esfuerzos aislados, permitiendo capacitaciones más completas y mayor cobertura en asesoría a productores al sumar recursos económicos y técnicos de las diversas instituciones y sistemas producto. Por su parte el sector productivo obtendría mayor conocimiento técnico, obteniendo un manejo de cultivo y productividad más estable.

(2) Programa de regularización de trámites y concesiones en cumplimiento con la normatividad vigente, este debe ser un programa incluyente del factor social, contemplando montos y cuotas accesibles por zonas de marginación, la posibilidad de brindar asesoría, establecer incentivos a productores que cumplan con trámites, lo anterior permitiría un mayor cumplimiento y beneficios ambientales.

(3) Generar una vinculación adecuada entre el sector productivo y el sector científico-académico. Para establecer líneas de investigación enfocadas a la actividad y en demandas reales del sector, permitiendo así la transferencia científica-tecnológica constante al sector productivo, aumentando la producción.

(4) Consolidar cadenas productivas más estables y rentables. Esto permite tener producto de venta de calidad y cantidad estable para su comercialización.

(5) Campañas para aumentar el consumo local del producto, implementación de centros de acopio de producto vivo de venta, mercados de pescadores, participación en ferias locales. Lo anterior debido a que en la mayoría de los casos la estrategia de venta es a pie de granja y la población estatal no sabe de la existencia de unidades de producción en el estado. Con la mayor difusión del producto, se pretende aumentar su consumo.

(6) Establecimiento de empresas integradoras por zonas de cultivo. Esto permitiría a los productores realizar compras consolidadas de insumos a menor precio (al comprar por volumen) y el poder ofertar producto a comercializadoras que requieren volumen y calidad de producción.

(7) Capacitación técnica-práctica para dar valor agregado al producto y sub-productos de la actividad. Teniendo así un aprovechamiento integral de la producción obtenida, además de proporcionar variantes del producto al consumidor final, ampliando este abanico de consumidores.

(8) Generar un canal de comercialización hacia el centro del país. Genera la posibilidad de aumentar el mercado y como consecuencia la producción.

(9) Generar proyectos de Ecoturismo sustentables. Aprovechar las zonas donde están establecidas las unidades de producción mediante el ecoturismo sustentable.

**6.1.2. DESEMPEÑO AMBIENTAL DE LA ACTIVIDAD ACUÍCOLA EN EL ESTADO DE HIDALGO. (Resultados de artículo enviado a: )**

Los resultados muestran que existe un desempeño ambiental no satisfactorio, en el cumplimiento con los requisitos establecidos para instalación y operación de la actividad acuícola en el Estado (Fig. 22 y Fig. 23).

De forma general se tiene que el 48.6% de las unidades de producción cuenta con RNPA, 7.66% con estudio de manifestación de impacto ambiental, 20.9% concesión de agua y 49.9% tienen seguimiento por parte de sanidad acuícola del Estado. Al analizar el cumplimiento con estándares ambientales por grado de marginación (Fig. 23), se tiene que las UPA establecidas en zonas de marginación alta y muy alta presentan mayor cumplimiento de estándares ambientales.

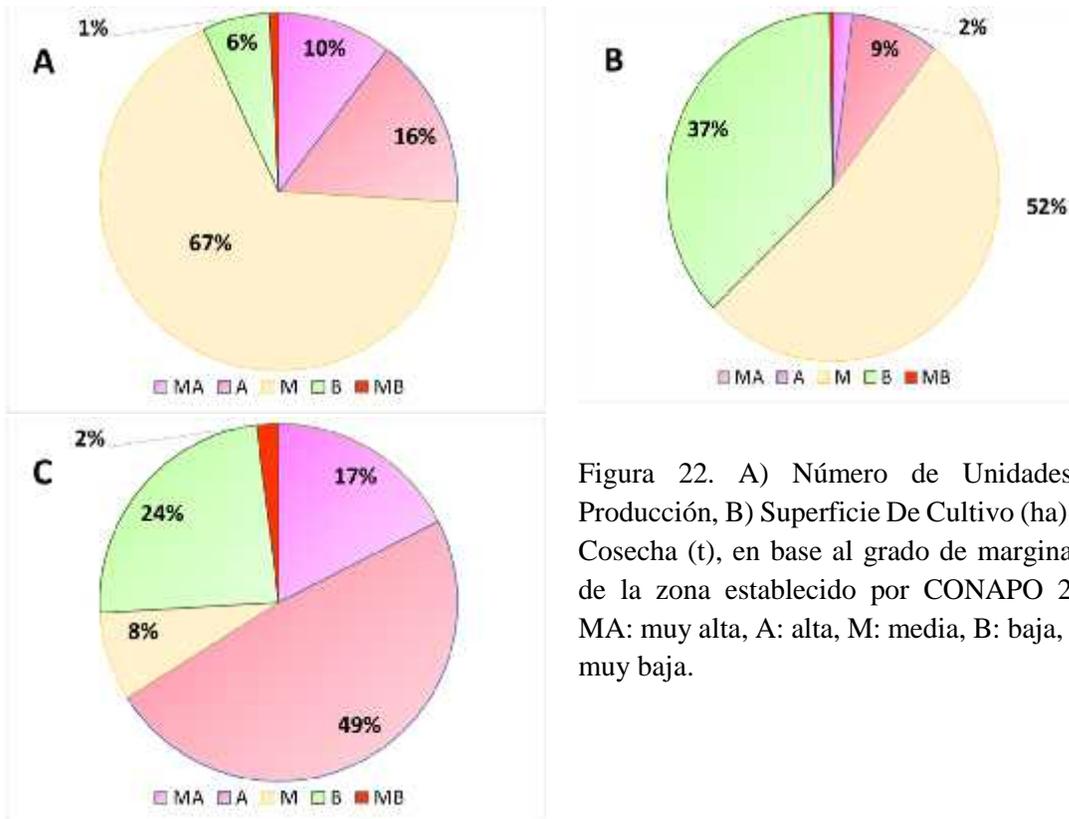


Figura 22. A) Número de Unidades de Producción, B) Superficie De Cultivo (ha) y C) Cosecha (t), en base al grado de marginación de la zona establecido por CONAPO 2010. MA: muy alta, A: alta, M: media, B: baja, MB: muy baja.

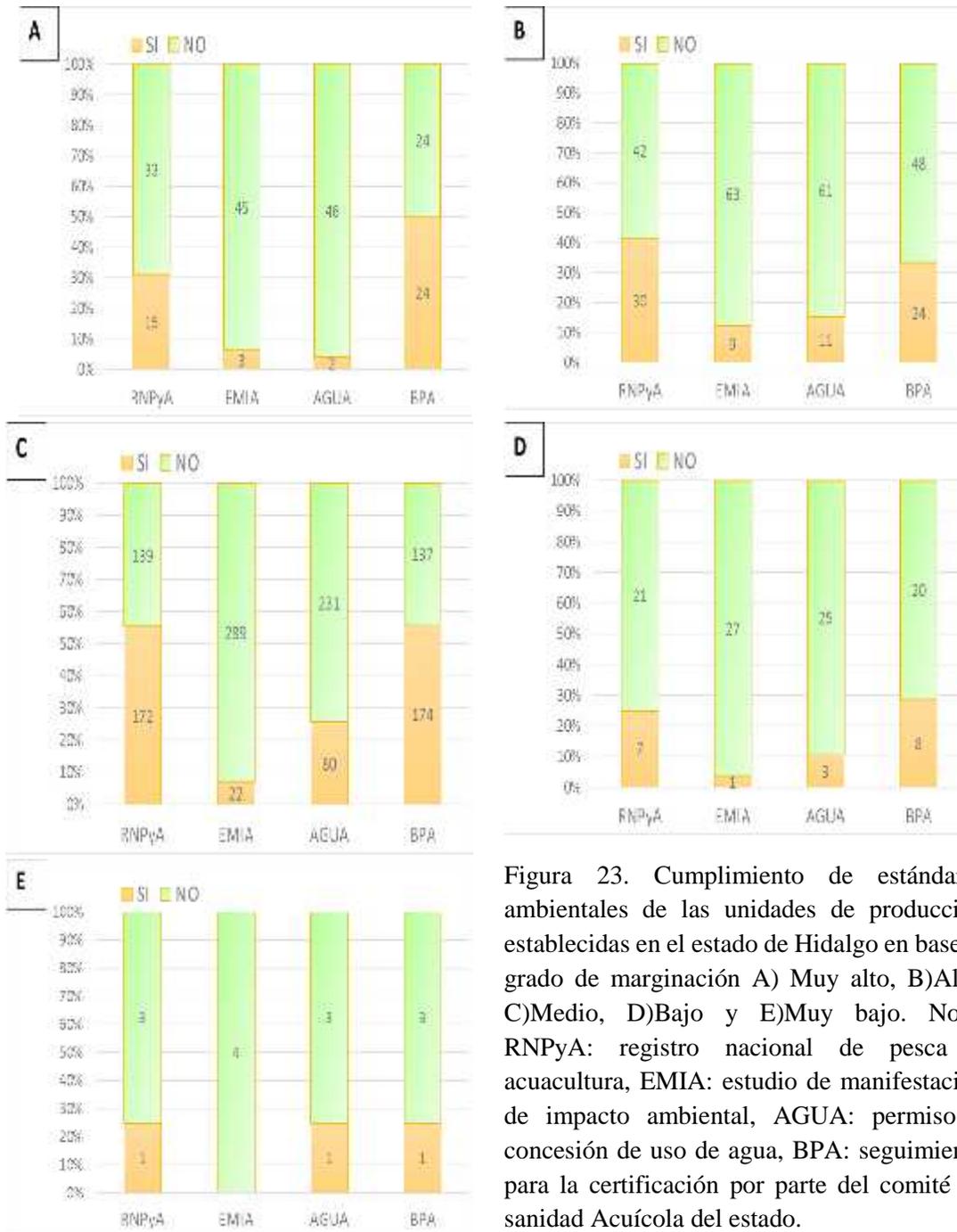


Figura 23. Cumplimiento de estándares ambientales de las unidades de producción establecidas en el estado de Hidalgo en base al grado de marginación A) Muy alto, B)Alto, C)Medio, D)Bajo y E)Muy bajo. Nota: RNPYA: registro nacional de pesca y acuicultura, EMIA: estudio de manifestación de impacto ambiental, AGUA: permiso y concesión de uso de agua, BPA: seguimiento para la certificación por parte del comité de sanidad Acuícola del estado.

### 6.1.3. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DE LA ACTIVIDAD ACUÍCOLA EN EL ESTADO DE HIDALGO.

**Artículo publicado en:** Ingeniería–Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Vol. 16, No.3, 2012, ISSN 1665-529-X.

Se reporta un total de 610 UPA, de las cuales 10% se encuentran inactivas; una superficie de cultivo de 47.8 hectáreas, densidad promedio de cultivo de 6.14 org/m<sup>2</sup> y producción de 446.6 t de producto fresco. De las 546 UPA activas, 4 funcionan como unidades de confinamiento y el resto son unidades de crianza y/o engorda. La mayoría de las UPA (42%) están establecidas en el DDR 05-Mixquiahuala. De la superficie total de cultivo la mayor superficie se encuentra en el DDR 5 con 218,076.67 m<sup>2</sup> y DDR 3 con 165,898.05 m<sup>2</sup>; 47% y 36% de la superficie respectivamente. La menor superficie de cultivo se tiene en DDR 1-Huejutla con 15,545.8 m<sup>2</sup> y DDR 4-Pachuca con 26,806 m<sup>2</sup>. En cuanto a producción, el mayor productor es el DDR 3 con 219.801 t/año (35%), seguido por el DDR 6 con 135.802 t/año (22%), DDR 5 con 125.2316 t/año (20%) y DDR 4 con 103.317 t/año (17%) (Tabla 10).

En Hidalgo se cultiva *Cyprinus carpio specularis* (carpa común variedad espejo) y *C. carpio rubrofruscus* (barrigona), *Ctenopharyngodon idellus* (carpa herbívora), *Aristichthys nobilis* (carpa cabezona), *Hypophthalmichthys molitrix* (carpa plateada); *Oncorhynchus mykiss* (trucha arcoíris), *Oreochromis niloticus* (tilapia del nilo), *O. aureus* (tilapia azul) y *O. mossambicus* (tilapia mosambica). Sin embargo, en la totalidad de las UPA se tiene presencia de más de una especie perteneciente al mismo género, por lo cual se les denominan grupos de cultivo carpa, trucha y tilapia; en 34% de las UPAs se tiene la presencia de cultivo mixto de carpa y tilapia. La preferencia de cultivo es mixto (34%), tilapia (29%), carpa (22%) y trucha (14%), sin embargo la mayor producción es de tilapia (275 t/año) y trucha (177.7 t/año), principalmente en DDR 3-6 y 4 respectivamente.

Tabla 10. Características de los sistemas de cultivo presentes en los DDR en el estado de Hidalgo.

DDR1: Huejutla	DDR2: Zacualtipan	DDR3: Tulancingo	DDR4: Pachuca	DDR5: Mixquiahuala	DDR6: Huichapan
UPA: 17	UPA: 63	UPA: 102	UPA: 54	UPA: 221	UPA: 72
Superficie: 15,545.80 m <sup>2</sup>	Superficie: 15,964.26 m <sup>2</sup>	Superficie: 165,898.5 m <sup>2</sup>	Superficie: 26,806 m <sup>2</sup>	Superficie: 218,076.67 m <sup>2</sup>	Superficie: 25,657.86 m <sup>2</sup>
Especie: tilapia/bagre	Especie: tilapia	Especie: trucha, tilapia	Especie: trucha	Especie: carpa, carpa/tilapia	Especie: tilapia
Producción: 7.03 t/año	Producción: 29.12 t/año	Producción: 219.8 t/año	Producción: 103.32 t/año	Producción: 127.18 t/año	Producción: 135.80 t/año
Tipo: semi-intensivo	Tipo: semi-intensivo	Tipo: semi-intensivo, intensivo	Tipo: intensivo	Tipo: semi-intensivo, intensivo	Tipo: semi-intensivo, intensivo
Densidad media: 6.67 org/m <sup>2</sup>	Densidad media: 5.92 org/m <sup>2</sup>	Densidad media: 7.07 org/m <sup>2</sup>	Densidad media: 6.44 org/m <sup>2</sup>	Densidad media: 5.42 org/m <sup>2</sup>	Densidad media: 6.84 org/m <sup>2</sup>
Agua: manantial	Agua: manantial	Agua: manantial, arroyo	Agua: manantial	Agua: manantial	Agua: pozo
Flujo: 10.91 l/s	Flujo: 5.33 l/s	Flujo: 7.98 l/s	Flujo: 8.28 l/s	Flujo: 6.02 l/s	Flujo: 17.25 l/s
Marginación: alto	Marginación: alto	Marginación: alto	Marginación: alto	Marginación: alto, medio	Marginación: alto

El 57% de las UPA se encuentran en zonas de muy alta o alta marginación, el resto en zonas de media marginación (23%), baja (16%) y muy baja (4%) (Tabla 11). Como fuente de abastecimiento

se emplean 60 manantiales, 40 arroyos, 31 ríos, 27 pozos, 2 lagunas y 3 presas. Principalmente las UPA usan agua de manantial (54%), arroyos (10%), pozo (12%), río (9%) y un pequeño porcentaje usa fuentes alternas (11%); como lo son filtración (7%), precipitación pluvial (3%) y agua de canal de riego (1%), con flujos que varían entre los 2 y 300 l/s. En el estado se practica una piscicultura semi-intensiva (50 %) e intensiva (30 %), y solo el 8% son extensivas, 10% de autoconsumo y 2% super-intensivas. Aunque, una gran parte de la superficie de cultivo en el estado corresponde a sistemas de autoconsumo (30%). En los sistemas de producción de autoconsumo y extensivas, se emplean fuentes alternas de agua (16%). Del total de las UPA registradas solo el 7% cuentan con estudio de impacto ambiental o bien no aplica, 41% cuenta con registro nacional de pesca y 22% tiene concesión para uso de agua. No se tiene registro de que se realice un monitoreo de las descargas de agua por parte de las unidades de producción.

Tabla 11. Clasificación de las unidades de producción acuícola por intensidad de cultivo.

Intensidad	# UPA	Superficie (ha)	Densidad cultivo (org/m <sup>2</sup> )	Producción (ton/año)	Grupo cultivo	Abastecimiento de agua	Cumplimiento con la normatividad *
Autoconsumo	59	14.4	Promedio: 0.31 Max: 0.5	Promedio: 19.7 Promedio: 0.41 Max: 7.6	Carpa (37%) y Tilapia (33%)	manantial (54%) flujo medio: 4.85 l/s Máximo: 30 l/s Fuentes alternas: 17%	RNP: 24 EMIA: 6 Concesión: 12 Programa BPA: 15 Certificación BPA: 2
Extensivo	43	8.6	Promedio: 0.94 Max: 1.0	Promedio: 29.7 Promedio: 0.71 Max: 5.2	carpa (66%)	manantial (36%) flujo promedio: 6.58 l/s Máximo: 50 l/s fuentes alternas: 22% (precipitación pluvial: 16%; canal de riego: 6%)	RNP: 21 EMIA: 6 Concesión: 9 Programa BPA: 17 Certificación BPA: 0
Semi-intensivo	274	17.7	Promedio: 4.26 Max: 5.0	Promedio: 123.7 Promedio: 2.17 Max: 6.0	tilapia (28%) y carpa (26%)	manantial (59%) flujo medio: 6.47 l/s Máximo: 150 l/s; fuentes alternas : 8% (filtración)	RNP: 135 EMIA: 15 Concesión: 43 Programa BPA: 142 Certificación BPA: 4 (3 en proceso)
Intensivo	160	6.9	Promedio: 10.57 Max: 20	Promedio: 230.57 Promedio: 1.82 Max: 26	trucha (20%)	manantial (46%) Flujo medio: 11.15 l/s Máximo: 105 l/s	RNP: 98 EMIA: 25 Concesión: 51 Programa BPA: 100 Certificación BPA: 22
Super-intensivo	10**	0.4	Promedio: 23.41 Max: 40	Promedio: 83.5 Promedio: 9.28 Max: 35	trucha, tilapia, mixto 33% todas	río (66%), manantial (30%) Flujo medio: 36.14 l/s Máximo: 180 l/s	RNP: 5 EMIA: 2 Concesión: 5 Programa BPA: 7 Certificación BPA: 5

\* Número de Unidades de Producción que cuentan con Registro Nacional de Pesca (RNP), Estudio de Manifestación de Impacto Ambiental (EMIA), monitoreo y reconocimiento de Buenas Practicas de manejo Acuícola (BPA). \*\* 7 UPA no presentan un manejo y siembra estable durante el año.

A partir de la información obtenida y con la metodología descrita, para el cálculo teórico de aporte de Nitrógeno y fósforo (Tabla 12); se observó que en un año se vierten 12 ton de nitrógeno y 5 ton de fósforo a los cuerpos de agua receptores. El DDR-03 es donde se vierte la mayor cantidad de nitrógeno y fósforo, 6 ton y 2 ton respectivamente. El DDR-01 es el que presenta menor vértido de nitrógeno y fósforo, 140.6 kg y 84.36 kg respectivamente. Al analizar por intensidad de cultivo (Tabla 13), se detectó que las UPA son las que representan mayor aporte de nitrógeno y fósforo a los cuerpos receptores, de 6.9 ton/año y 1.65 ton/año respectivamente. Los sistemas de autoconsumo son

los que representan menor aporte de nitrógeno y fósforo, 0.39 ton/año y 0.24 ton/año respectivamente. El análisis del aporte por unidad de cultivo, mostró que las granjas de intensidad super-intensiva son las de mayor aporte con 295 g/año de nitrógeno y 9.85 g/año de fósforo (Tabla 14).

Tabla 12. Vértido de nitrógeno y fósforo (kg/año) en los diferentes DDR. En base a las estimaciones de Ghaly *et al.* (2005) y Jover (2000).

DDR	Superficie de cultivo (ha)	Producción (t/año)	N /DDR (kg/año)	P/DDR (kg/año)
1	1.5	7.0	140.6	84.4
2	1.5	29.1	640.9	337.7
3	16.6	219.8	6,861.1	2,144.6
4	2.7	103.3	4,786.8	695.8
5	21.8	127.2	2,604.1	1,514.2
6	2.6	135.8	2,743.0	1,624.2
Total	46.79	622.3	17,776.5	6,400.9

Tabla 13. Vertido de nitrógeno y fósforo (kg/año) en los diferentes sistemas de cultivo (intensidad) de forma total, en base a las estimaciones de Ghaly *et al.* (2005) y Jover (2000).

Intensidad	UPA	Superficie de cultivo (ha)	Producción total (t/año)	Nitrógeno (t/año)	Fósforo (t/año)
Autoconsumo	59	14.4	19.7	0.4	0.2
Extensivo	43	8.6	29.7	0.6	0.4
Semi-intensivo	274	17.7	124.1	3.5	1.3
Intensivo	160	6.7	189.6	6.9	1.7
Super-intensivo	10	0.4	83.5	1.8	1.0
Total	546	47.8	446.6	12.9	4.6

Tabla 14. Vertido de nitrógeno y fósforo (kg/año) en los diferentes sistemas de cultivo (intensidad) por cada unidad de producción, en base a las estimaciones de Ghaly *et al.* (2005) y Jover (2000).

Intensidad	Nitrógeno (kg/año)	Fósforo (kg/año)
Autoconsumo	16.4	9.9
Extensivo	19.8	11.9
Semi-intensivo	12.1	5.01
Intensivo	44.0	10.5
Super-intensivo	295.9	163

#### 6.1.4. POTENCIAL DE IMPACTO POR EFLUENTES PISCÍCOLAS EN EL ESTADO DE HIDALGO. CASO DE ESTUDIO GRANJA SEMI-INTENSIVA DE CULTIVO DE TILAPIA.

Las características del agua de entrada registradas se describen a continuación y se muestran en *Tabla 15* y Fig. 24A. La temperatura media fue de  $24.4^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 1.29$ ); con una temperatura mínima de  $22.5^{\circ}\text{C}$  en Abril y una máxima de  $26^{\circ}\text{C}$  en Septiembre, lo cual demostró su variación con respecto al mes de muestreo ( $p < 0.05$ , Fig. 16). Por otra parte el pH ( $7.8 \pm 0.1$ ), OD ( $5.3 \text{ mg/L} \pm 0.2$ ), SST ( $237 \text{ mg/L} \pm 8.2$ ) se mantienen sin variaciones significativas en el tiempo ( $p < 0.05$ , Fig. 16). En cuanto a la concentración de nutrientes en el agua de entrada, se determinaron concentraciones bajas de Nt y Pt, de  $0.1 (\pm 0.03)$  y  $0.02 (\pm 0.006) \text{ mg/L}$  respectivamente. El conteo de CT mostró niveles bajos  $3 \text{ NMP/ml}$ .

Las características del agua de salida registradas se describen a continuación y se muestran en *Tabla 15* y Fig. 24 B. La temperatura media fue de  $24.06^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 1.29$ ), no mostró diferencia significativa con la temperatura del agua de entrada y se observó un comportamiento igual ( $p < 0.05$ , Fig. 24 B). Los parámetros de pH y OD, muestran diferencias significativas con respecto al agua de entrada y no muestran diferencias significativas en el tiempo ( $p < 0.05$ ). El pH presenta un valor medio ( $7.97 \pm 0.3$ ) mayor que el agua de entrada y tiende a ser ligeramente alcalino con los días de cultivo (8.6). Por otra parte la concentración de OD es menor en el agua de salida ( $4.7 \text{ mg/L} \pm 0.69$ ). En lo que respecta a SST, Nt y Pt, muestran diferencias significativas con respecto al agua de entrada y variación en el tiempo ( $p < 0.05$ ). La concentración de SST es mayor en el agua de salida ( $321 \pm 66.0 \text{ mg/L}$ ), con valor máximo de  $515 \text{ mg/L}$  y mínimo de  $250 \text{ mg/L}$ . La concentración de Nt ( $7.75 \pm 3.1 \text{ mg/L}$ ) y Pt ( $1.48 \pm 0.7 \text{ mg/L}$ ), con valores máximos y mínimos para NT de  $16.7 \text{ mg/L}$  y  $4.58 \text{ mg/L}$ ; y para Pt de  $3.34 \text{ mg/L}$  y  $0.97 \text{ mg/L}$  respectivamente.

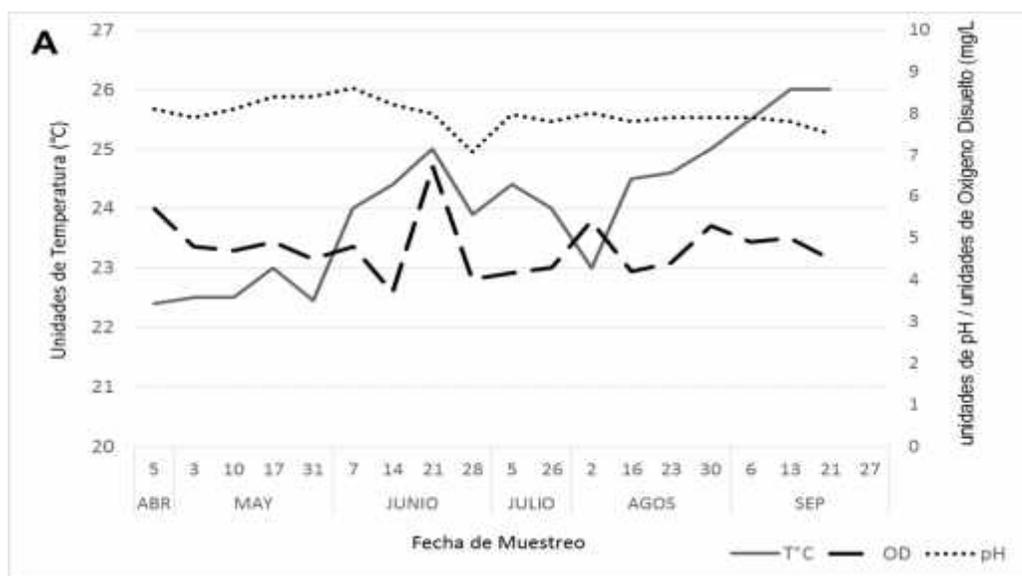


Figura 24A. Variación mensual de los parámetros físicos y químicos del agua de salida. Nota: Temperatura ( $T^{\circ}\text{C}$ ), Oxígeno Disuelto (OD), pH, sólidos suspendidos totales (SST), Nitrógeno total (Nt) y fósforo total (Pt).

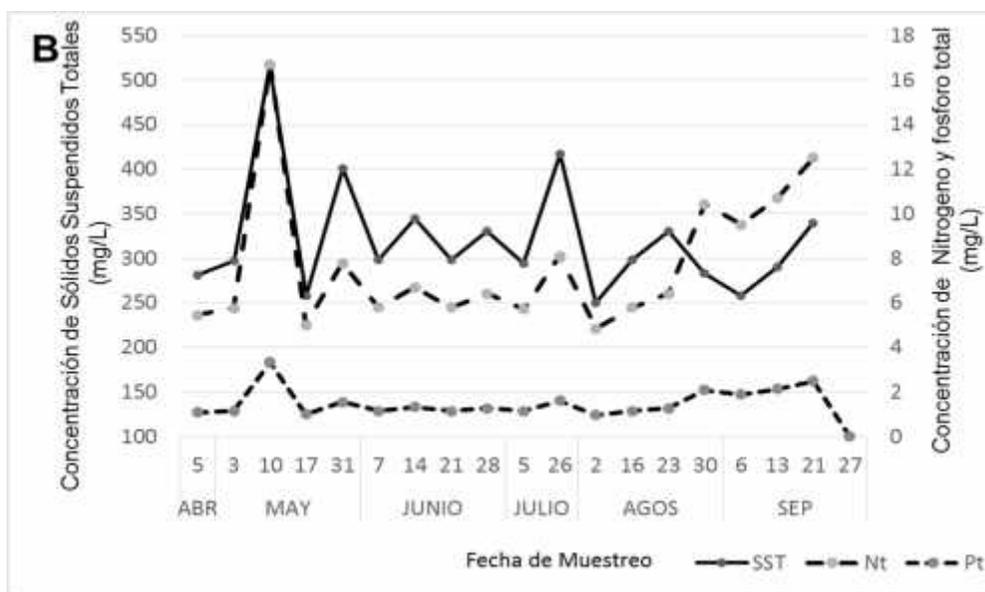


Figura 24B. Variación mensual de los parámetros físicos y químicos del agua de salida. Nota: Temperatura (T°C), Oxígeno Disuelto (OD), pH, sólidos suspendidos totales (SST), Nitrógeno total (Nt) y fósforo total (Pt).

Tabla 15. Parámetros determinados en las muestras de agua de entrada y salida de granja piscícola, agrupadas en base a procedencia de la muestra y mes de muestreo

MES	ENTRADA					
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
T°C	22.4 (±0.01)	22.6 (±0.27)	24.3(±0.5)	24.2 (±0.28)	24.2 (±0.88)	25.8 (±0.29)
OD (mg/L)	5.6 (±0.01)	5.47 (±0.13)	5.2 (±0.22)	5.1 (±0.14)	5.4 (±0.22)	5.1 (±0.15)
pH	7.9 (±0.01)	7.77(±0.10)	7.73 (±0.13)	7.8(±0.01)	7.75 (±0.06)	7.73 (±0.06)
SST (mg/L)	231.00 (±0.01)	233.5 (±3.41)	232.25 (±2.98)	229.00 (±2.83)	242.00 (±7.75)	249.67 (±3.055)
NT (mg/L)	0.09 (±0.01)	0.11 (±0.03)	0.09 (±0.05)	0.11 (±0.05)	0.10 (±0.01)	0.12 (±0.05)
PT (mg/L)	0.02 (±0.01)	0.023 (±0.01)	0.019 (±0.01)	0.02 (±0.01)	0.02 (±0.01)	0.023 (±0.01)
CT (NMP/L)	3 (±0.01)	6 (±3.89)	4.5 (±3.01)	3 (±0.01)	3 (±0.01)	3 (±0.01)
MES	SALIDA					
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
T°C	22.4 (±0.01)	22.6 (±0.26)	24.3(±0.49)	24.2 (±0.28)	24.3 (±0.87)	25.8 (±0.29)
OD (mg/L)	5.7 (±0.01)	4.7 (±0.17)	4.8 (±1.34)	4.2 (±0.09)	4.8 (±0.61)	4.8 (±0.27)
pH	8.1 (±0.01)	8.2 (±0.24)	7.98 (±0.65)	7.89 (±0.12)	7.90 (±0.09)	7.73 (±0.21)
SST (mg/L)	281.00 (±0.01)	367.75 (±115.23)	317.75 (±23.61)	355.5 (±86.97)	290.25 (±33.23)	295.67 (±40.79)
NT (mg/L)	5.46 (±0.01)	8.82 (±5.38)	6.17 (±0.46)	6.90 (±1.69)	6.87 (±2.46)	10.91 (±1.5)
PT (mg/L)	1.09 (±0.01)	1.76 (±1.08)	1.23 (±0.09)	1.38 (±0.34)	1.37 (±0.49)	2.18 (±0.30)
CT (NMP/L)	64 (±0.01)	101.5 (±45.42)	72.25 (±30.69)	75 (±0.01)	84 (±12.73)	75 (±0.01)

Nota: Temperatura (T°C), Oxígeno Disuelto (OD), pH, solidos suspendidos totales (SST), Nitrógeno total (Nt), fósforo total (Pt) y coliformes totales (CT). (±DESVEST)

Sin embargo, al comparar con el muestreo realizado durante 72 horas (Fig. 25 A y B), se puede observar que los resultados descritos durante los meses de muestreo, pueden corresponder a días de cultivos normales, es decir sin movimiento de agua. Lo mencionado anteriormente, se debe a que durante el muestreo de 72h y que se programó durante movimientos de agua, se observó que la concentración de SST inicia en 500 mg/l, pero esta aumenta conforme las horas de recambio (aproximadamente 5h) hasta llegar a 2400 mg/l de SST. La diferencia entre los muestreos, se debe a que en el muestreo de febrero (Fig. 25A) se inició el recambio del estanque 1, el cual se suspendió debido a que en el estanque 4 se presentaron problemas de baja de oxígeno destinándose el agua a dicho estanque. Al día siguiente el estanque 4 se le realizó un recambio de 100%, y que una vez estabilizado el día anterior, el 27 de febrero se bajó completamente el nivel del agua, se barrió el fondo del estanque y se llenó nuevamente (Fig. 25B).

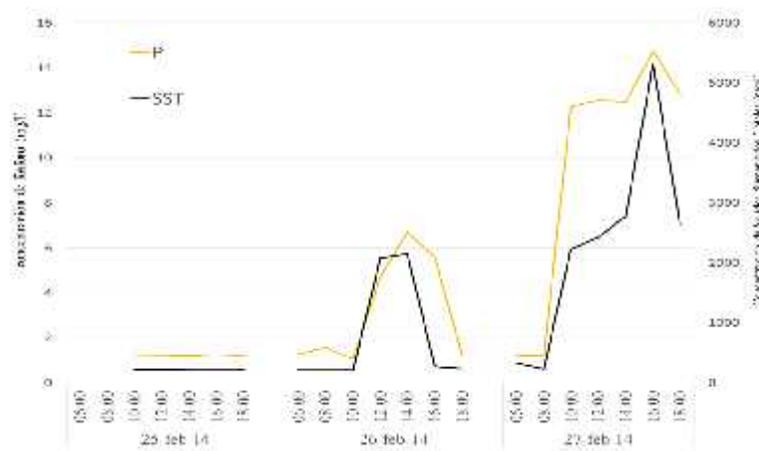


Figura 25A. Variación de los parámetros físicos y químicos del agua de salida, en muestreo de 72 h realizado en febrero 2014, durante la realización de un recambio 26 de febrero. Nota: sólidos suspendidos totales (SST), Nitrógeno total (Nt) y fósforo total (Pt).

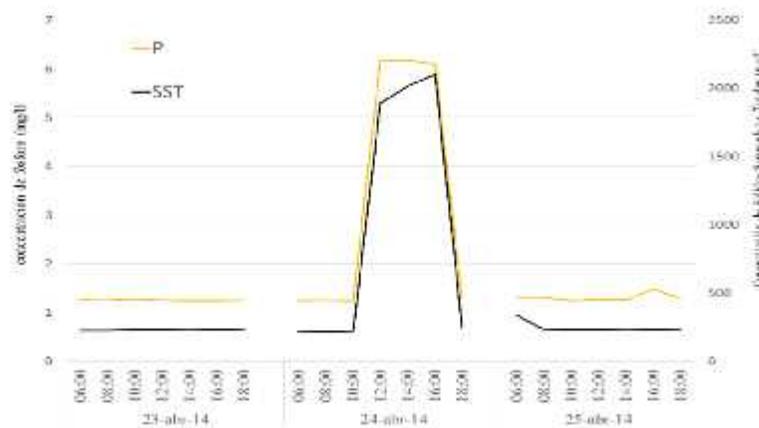


Figura 25B. Variación de los parámetros físicos y químicos del agua de salida, en muestreo de 72 h realizado en abril 2014. Nota: sólidos suspendidos totales (SST), Nitrógeno total (Nt) y fósforo total (Pt).

El análisis de ACP mostró que existe una correlación (Tabla 16) entre la procedencia de la muestra y el contenido de SST (0.7), NT (0.86), PT (0.86) y CT (0.88); y una correlación de la

temperatura con el mes de muestreo (0.88). Los parámetros de OD y pH, no muestran correlación evidente con otro parámetro. Para una mayor explicación se realizó AF, el cual determinó la formación de tres agrupaciones de variables (Fig. 18). La concentración de SST esta correlacionada con la explicación de la variación de los parámetros NT (0.85), PT (0.85) y CT (0.83). Así mismo se observa que la correlación entre las concentraciones de NT y PT es de 0.98. Además la variación en la concentración de NT y PT, están correlacionados con variación de CT (0.92).

TABLA 16. Matriz de correlación en base a ACP.

	MUESTRA	MES	T°C	O2	pH	SST	NT	PT	CT
MUESTRA	<b>1.00</b>	0.00	0.00	-0.42	0.43	<b>0.70</b>	<b>0.86</b>	<b>0.86</b>	<b>0.88</b>
MES	0.00	<b>1.00</b>	<b>0.88</b>	-0.16	-0.29	-0.06	0.07	0.07	-0.05
T°C	0.00	0.88	<b>1.00</b>	-0.01	-0.25	-0.14	0.01	0.01	-0.09
O2	-0.42	-0.16	-0.01	<b>1.00</b>	-0.02	-0.50	-0.39	-0.39	-0.31
pH	0.43	-0.29	-0.25	-0.02	<b>1.00</b>	0.30	0.34	0.34	0.56
SST	0.70	-0.06	-0.14	-0.50	0.30	<b>1.00</b>	<b>0.85</b>	<b>0.85</b>	<b>0.83</b>
NT	0.86	0.07	0.01	-0.39	0.34	0.85	<b>1.00</b>	<b>0.98</b>	<b>0.92</b>
PT	0.86	0.07	0.01	-0.39	0.34	0.85	0.98	<b>1.00</b>	<b>0.92</b>
CT	0.88	-0.05	-0.09	-0.31	0.56	0.83	0.92	0.92	<b>1.00</b>

Nota: Temperatura (T°C), Oxígeno Disuelto (OD), pH, solidos suspendidos totales (SST), Nitrógeno total (Nt), fósforo total (Pt) y coliformes totales (CT). En el texto el valor se mencionara como VMC (valor de matriz de correlación).

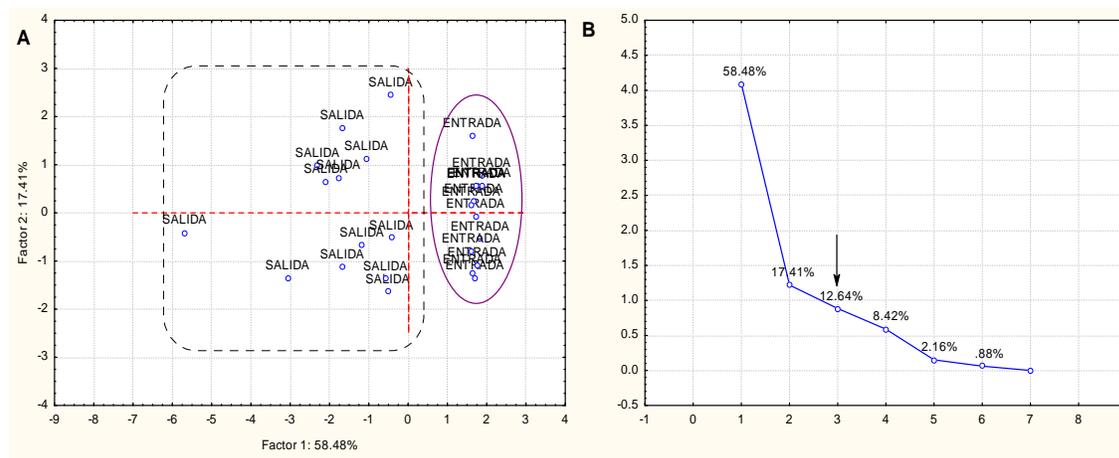


Figura 26. Gráficos ACP, lado izquierdo agrupamiento de los datos en base a la procedencia de la muestra. Derecha: gráfico de sedimentos para la formación de componentes.

La proyección de las variables en las primeras dos componentes y sin considerar la procedencia y mes de muestreo (Fig. 27), mostró la relación existente entre SST y Nt, Pt y en menor grado con CT. Al proyectar las variables en las componentes 1 y 3, se observa que se mantiene la relación entre el grupo SST-Nt-Pt-CT. Sin embargo en esta proyección se observa la correlación baja del pH con este grupo, esta correlación es de 0.3 a 0.5 (Tabla 16, matriz de correlación).

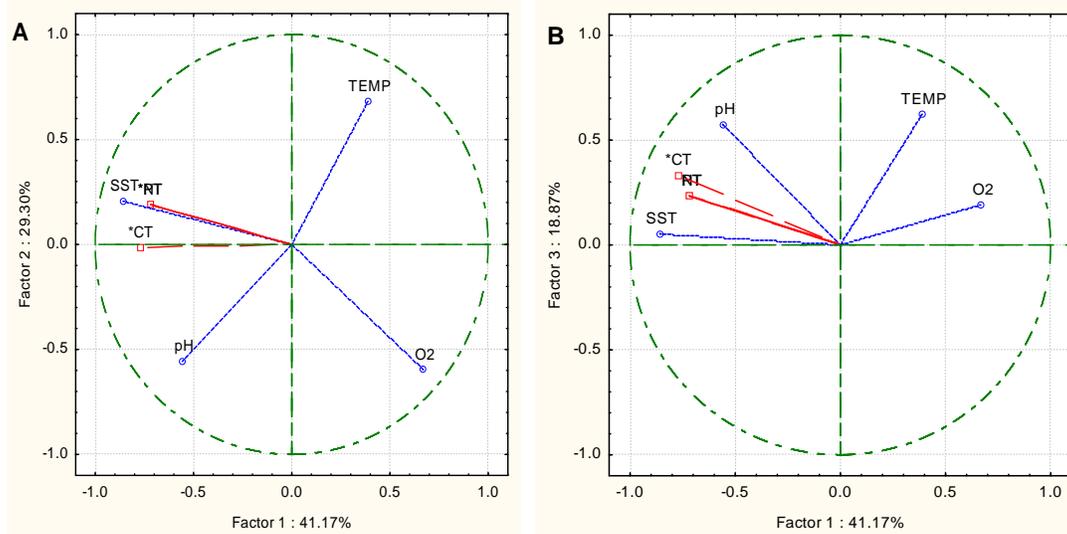


Figura 27. Proyección de las variables en estudio en CP 1-2 (A) y CP 1-3 (B). Nota: Temperatura (T°C), Oxígeno Disuelto (OD), pH, sólidos suspendidos totales (SST), Nitrógeno total (Nt), fósforo total (Pt) y coliformes totales (CT).

Para una mayor explicación se realizó AF, el cual determinó la formación de tres agrupaciones de variables (Fig. 28). El primer grupo muestra la fuerte correlación que existe entre la procedencia de la muestra y la concentración de SST, NT, PT y CT. Al comparar con la matriz de correlación (Tabla 2), se puede observar que la concentración de SST esta correlacionada con la explicación de la variación de los parámetros NT (0.85), PT (0.85) y CT (0.83). Así mismo se observa que la correlación entre las concentraciones de NT y PT es de 0.98. Además la variación en la concentración de NT y PT, están correlacionados con variación de CT (0.92). El segundo grupo está formado por la correlación existente entre el mes de muestreo y Temperatura.

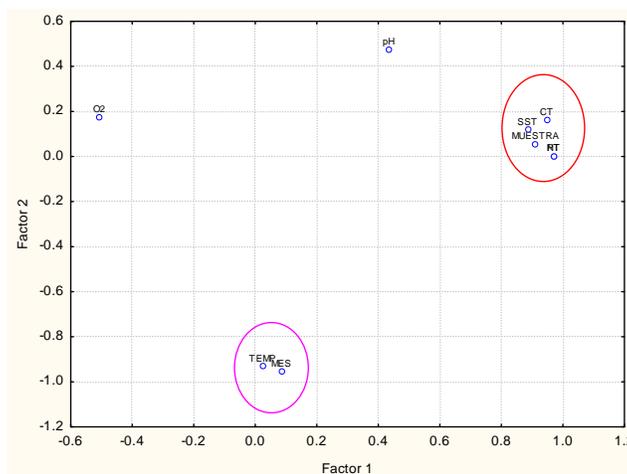


Figura 28. Grafico AF mediante la rotación de factores varimax normalizado.

Al comparar los resultados obtenidos mediante pruebas paramétricas y ACP, se concluye que la variable de Temperatura varía en el tiempo conforme al mes de muestreo ( $p < 0.05$ ,  $VMC = 0.88$ ),

aumentando hacia el mes de septiembre ( $24.4^{\circ}\text{C} \pm 1.29$ ), y no existe una diferencia significativa entre la temperatura del agua de entrada y salida ( $p < 0.05$ ). Los parámetros de pH y OD, muestran diferencias significativas con respecto a la procedencia de la muestra y no muestran diferencias significativas en el tiempo ( $p < 0.05$ ). El pH del agua de salida tiende a ser ligeramente alcalino (8.6), con respecto al agua de entrada con los días de cultivo. El ACP mostró un VMC bajo de la correlación de pH con respecto a la procedencia de la muestra (0.43); las variables que están determinando las características de agua salida (SST, Nt y Pt), y el pH afecta la concentración de CT (VMC=0.56). Por otra parte la concentración de OD es menor en el agua de salida ( $4.7 \text{ mg/L} \pm 0.69$ ). El ACP mostró que es una variable que presenta baja correlación con la variación de las otras variables. La concentración de SST, Nt y Pt, muestran diferencias significativas con respecto al agua de entrada, siendo mayor la concentración en el agua de salida, y variación en el tiempo ( $p < 0.05$ ). El ACP muestra que la variación en el tiempo de estas variables no está correlacionado al mes de muestreo, sin embargo esta variación está dada por la madurez del cultivo y el manejo del mismo. La variación de Nt y Pt, en el tiempo está determinada por la variación de la concentración de SST, y no por el mes de muestreo. La variación de CT, esta correlacionada con la procedencia de la muestra (mayor en agua de salida), y con el aumento de SST, NT y PT.

### **6.1.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

La acuicultura es tema que ocupa un lugar destacado dentro de las estrategias contra el hambre, la pobreza, el desarrollo rural y regional (FAO 2006; Rosales y Acevedo 2011). En el estado de Hidalgo, esta actividad se desarrolla en 73 de los 84 municipios del estado, beneficiando directamente a 7,476 ciudadanos (Carta acuícola y Pesquera del Estado de Hidalgo 2010). Más del 95% de las UPA se dedican a engorda de juveniles, el 57% se encuentran en zonas de alta marginación y el 30% de la superficie de producción es cultivo de autoconsumo, representando así fuente de alimento e ingresos para propietarios y población de la zona en general. Lo anterior se debe a que en México, como en la mayor parte del mundo, la acuicultura es una actividad complementaria de apoyo social a las comunidades rurales, con lo cual se pretendía combatir la pobreza y bajos niveles nutricionales de la población (Juárez 1987; Carta Acuícola y Pesquera del Estado de Hidalgo 2010).

La Actividad acuícola en el Estado, es una actividad productiva con potencial de explotación, pese a que SAGARPA (2013) reporta que es el segundo lugar en producción a nivel nacional, en el presente estudio se encontró que las instalaciones produciendo por debajo de la capacidad de carga del sistema (sub-estimadas), aspecto mencionado en la Carta Acuícola y pesquera del estado de Hidalgo (2010) mencionando que esto se debe principalmente a la poca tecnificación de las granjas como para mantener una densidad de carga más elevada. En el informe diagnóstico sectorial del estado de hidalgo (SAGARPA y Gobierno del Estado de Hidalgo, 2011), se menciona que la baja tecnificación es la razón por la que se presentan bajas rentabilidades. Sin embargo en el presente estudio se le atribuye a que no existe un canal de comercialización que permita la salida pronta del producto y que motive a los productores a mantener producciones más elevadas, y buscar financiamiento para la tecnificación de los sistemas. Una gran ventaja que presenta la actividad en Hidalgo es la calidad de los recursos con que cuenta para su desarrollo, por una parte se tiene el uso principal de agua de manantial, brindando mejores condiciones de cultivo y mejor sabor de producto final (Kubitza, 1999). Por otra parte, se cuenta con zonas de flora y fauna conservada (Carta Acuícola y pesquera del estado de Hidalgo, 2010), por lo cual se podría explotar desde el punto de vista de Ecoturismo, sin el daño o degradación del área.

En diversos informes estatales (Carta Acuícola y pesquera del estado de Hidalgo, 2010, PED 2011, SAGARPA Y SEDAGRO, 2011) se menciona que la actividad es una fuente significativa de ingresos económicos a la región, por lo que esta actividad es importante para el desarrollo de áreas rurales de Hidalgo, manifestando así la organización y visión empresarial de los productores para alcanzar estas cifras, y resaltando el importante papel desempeñado por los sistemas producto en la consolidación de las cadenas productivas. Sin embargo en el presente análisis encontramos que no existe visión empresarial, ni organización por parte de los productores (Figuras 3 y 4), formando parte de las causas del problema central de baja rentabilidad que se presenta y la ausencia de un canal de comercialización efectivo que permita la diversificación de consumidores, teniendo que todo el producto se destina a consumo directo (SAGARPA, 2013) y forma local. Lo que si se resalta es la participación de los sistemas producto, desde el punto de vista de seguimiento de los cultivos y fortalecimiento de las cadenas productivas.

Pese a la relevancia de la actividad, se identificaron dos problemas centrales en la cadena productiva, que no permiten que la actividad tenga el impulso y crecimiento adecuado, que se traduce en baja rentabilidad y en el incumplimiento de la normatividad. SAGARPA Y SEDAGRO (2011), mencionan que los problemas de la cadena productiva, radican desde dos puntos de vista (a) funcionarios y expertos; y (b) productores. Los funcionarios y expertos, considerando que los

problemas radican en la baja tecnificación, carencia de un canal de comercialización, presencia de intermediarios y la presencia de enfermedades, resaltando que el cumplimiento ambiental no es un factor que afecte la producción. Por su parte los productores consideran que el problema radica en la falta de organización entre ellos y en la falta de integración de cadenas eficientes de comercialización, y en segundo plano la tecnificación y cumplimiento con regulaciones ecológicas. En este estudio se observó que las causales radican en costos elevados de producción, el desconocimiento de técnicas y sistemas producción, carencia de un canal de comercialización, sin valor agregado al producto y la falta de organización de los productores y dentro de las unidades de producción. Desde un punto de vista el cumplimiento con regulaciones ambientales, no afecta a la producción obtenida en los ciclos de cultivo, sin embargo cuando el incumplimiento con la normatividad implica multas excesivas, se da el abandono de instalaciones y como consecuencia la disminución en la producción total del estado. Ejemplo de esto son unidades de producción en Carboneras, Mineral del Chico, las cuales fueron abandonadas por multas que no se pueden cubrir los productores.

Si analizamos lo mencionado en puntos anteriores, en los cuales los productores expresan que el cumplimiento con regulaciones ecológicas se encuentra en un segundo plano y los funcionarios públicos consideran que no afectan la producción, podemos entender las causales encontradas en este estudio para este incumplimiento, entorno social, el desconocimiento de trámites para el establecimiento y operación de UPA's, y la desorganización de las instituciones implicadas en el desarrollo de la actividad. El entorno social es un factor clave que debe considerarse para la aplicación de regulaciones y estrategias, ya que el costo de trámites es elevado para zonas de pobreza, la baja escolaridad y sumado a esto tramites tardados y no muy claros, por lo cual las políticas o estrategias a seguir en la formulación de un plan de regularización debe ser "incluyente" y "no permisivo" cómo se maneja en los reportes oficiales. Existen ejemplos en reglamentos y normas mexicanas en donde se imponen cuotas por uso de agua partiendo de diversos cuerpos de agua abastecedores, diferentes límites de contaminantes dependiendo el efluente y el cuerpo receptor, etc., por lo cual se podría plantear el poner cuotas por zona de marginación e intensificación del sistema de cultivo.

En México, el desarrollo de la acuicultura está enmarcado en la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentable (2007), y su regulación es de carácter federal, la cual está contenida en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Medio Ambiente (1988), Ley de Aguas Nacionales (1992), Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales (1994) y la Ley Federal de Derechos (2010). SAGARPA (2013c) menciona que para obtener una concesión de Acuicultura comercial, entre otros, se necesita acreditar su inscripción en Registro Nacional de Pesca y Acuicultura (RNPA), Estudio de Manifestación de Impacto Ambiental (EMIA), Concesión otorgada por la autoridad del agua (en los términos de la Ley de Aguas Nacionales y Pago de derechos por el otorgamiento de la concesión para la acuicultura comercial, conforme al artículo 191-A, fracción IV de la Ley Federal de Derechos).

De forma general se tiene que el 48.6% de las unidades de producción cuenta con RNPA, 7.66% con estudio de manifestación de impacto ambiental, 20.9% concesión de agua y 49.9% tienen seguimiento por parte de sanidad acuícola del Estado. SEDAGRO y SAGARPA (2010), resalta que la importancia de contar con RNPA, es debido a que es la fuente básica de consulta para conocer el inventario de activos y padrón de productores en el Estado; este trámite es gratuito, sin embargo reportan que para el 2009 solo el 38% de las UPA cuentan con dicha inscripción; en la base generada del 2011 se reportan el 48.6% y SAGARPA (2013) reporta que 368 UPA cuentan con ella (60%). SEDAGRO y SAGARPA (2010) mencionan la importancia de un proceso de concientización de

productores, como estrategia para combatir el rezago en la inscripción, la regularidad de los reportes y la fiabilidad de la información.

Los resultados muestran que existe un desempeño ambiental no satisfactorio, en el cumplimiento con los requisitos establecidos para instalación y operación de la actividad acuícola en el Estado. Este desempeño ambiental no satisfactorio, se debe principalmente a la unión de aspectos sociales y factores de “gobernanza”.

El grado de Marginación y pobreza extrema, son factores sociales relevantes (FAO 2010; Gobierno del Estado de Hidalgo ([Plan Estatal de Desarrollo, PED], 2011). SAGARPA (2011) menciona que 25.7% de la población de Hidalgo vive en pobreza alimentaria, 33% en pobreza de capacidades y el 54.2% en pobreza patrimonial; además, Hidalgo es uno de los estados más pobres del país y se clasifica con un alto grado de rezago social. En la base generada se encontró que las actividades acuícolas se realizan en el 60% de los municipios del estado, de los cuales el 50% son considerados de alta-muy alta marginación. De las UPA registradas el 26% se encuentran en zonas de alta-muy alta, 67% en media, 7% baja-muy baja (Fig. 1 A). SEDAGRO y SAGARPA (2010) y Velasco-Amaro *et al.* (2012), reportan que en Hidalgo el 54.3% y 57% de las unidades de producción, se encontraban en zonas de alta/muy altas grados de marginación, observando una disminución de casi el 50% en este estudio. Esta disminución se debe a que el índice de marginación cambio; en 1999 se tenían 41 municipios en alta/muy alta marginación y para el 2010 se tienen solo 21 municipios en la misma situación. Algo importante de resaltar es el hecho de que la mayor superficie de producción se encuentra en zonas de baja y media marginación, 37% y 32% respectivamente (Fig.1 B), sin embargo las zonas de alta y muy alta marginación se tiene la mayor producción 44.15 y 15.94 ton respectivamente, representando el 60% de la producción total del Estado (Fig. 1 C). Lo anterior evidencia que la actividad acuícola en zonas marginadas, representa una fuente de alimentos e ingresos económicos para los productores de pequeña escala o rural, y que comercializan sus productos de forma local.

Al analizar el cumplimiento con estándares ambientales por grado de marginación (Fig. 1), se tiene que las UPA establecidas en zonas de marginación alta y muy alta presentan mayor cumplimiento de estándares ambientales. Lo anterior se debe a que la mayoría de los programas de capacitación, seguimiento y apoyos se han dirigido a las zonas de mayor pobreza en la entidad (PED, 2011). SEDAGRO y SAGARPA (2010) mediante políticas de alto contenido social, ha destinado inversiones y apoyos de infraestructura a dichas zonas.

Ponce *et al.*, (2006) proponen que para alcanzar el desarrollo sostenible en la acuicultura, se debe realizar una inversión en la gente a través de la educación y capacitación, inversión en la investigación y desarrollo, mejoramiento en el flujo de información y comunicación, entre otros, buscando con estas medidas abatir la pobreza de las zonas rurales. A lo anterior, se hace referencia el trabajo que realizan, “por separado” los Sistemas Productos implicados, Dirección de Acuicultura del Estado y Sistema Hidalguense de Sanidad Acuícola, generando cursos de capacitación y seguimiento técnico para los productores. Secretaria de Desarrollo Agropecuario del Gobierno del Estado de Hidalgo (SEDAGRO, 2012), menciona que mediante programas de apoyo, realizó 2,125 asesorías a productores acuícolas y pesqueros de 425 localidades pertenecientes a 65 municipios del Estado y buscando dirigir los esfuerzos a localidades de mayor pobreza. PED (2011) menciona que las zonas donde se efectúa la actividad en el Estado, no se cuenta con grupos organizados y por consiguiente es una de las razones por la cual se carece del Registro Nacional de la Pesca, desempleo. Adicionalmente CONEVAL (2012) reportó que cerca del 20% de la población en el Estado presenta

pobreza alimentaria y a nivel nacional, Hidalgo ocupa el octavo lugar en marginación (CONAPO, 2012). Aun así, es necesario que esta actividad llegue al estatus de sustentabilidad para beneficio de los mismos habitantes, por lo cual se deben buscar opciones de tratamiento de efluentes adecuadas al grado de pobreza, marginación y educación de la zona.

FAO (2008) menciona que el termino gobernanza se refiere a un marco legislativo fácil de aplicar, transparente y previsible, una reglamentación que no sea demasiado engorrosa, así como estructuras institucionales y administrativas coherentes y coordinadas. De no cumplirse lo anterior, menciona que la aplicación de las reglamentaciones puede desincentivar a los acuicultores; como ejemplo la cantidad de normas y el tiempo necesario para aplicarlas es uno de los principales problemas que se presenta. Con respecto a lo anterior se tiene que en el Estado se encuentran un 5% de unidades de producción sin operar debido a problemas de permisos y concesiones de uso de agua (SEDAGRO & SAGARPA, 2010). Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) es la autoridad que otorga la concesión de Concesión de aprovechamiento de Aguas (superficiales y subterráneas) con un valor de \$3,076.96 sin IVA (CONAGUA, 2013). El pago por derecho de otorgamiento de una concesión para acuicultura comercial \$12,266.00 MXN (SAGARPA, 2013c). Dichos precios son altos, y considerando las zonas de marginación y que la producción obtenida es para autoconsumo, el productor no genera ganancias para cubrir el trámite y pago de los requisitos. Con el incumplimiento de requisitos de establecimiento y operación, se genera una flexibilidad en la “gobernanza”, alejado de un plan de regularización efectivo que contemple factores sociales-ambientales para el cumplimiento de los requisitos.

Una parte muy importante que menciona la Ley de Aguas Nacionales (1992): “quien use el recurso agua para actividades productivas, tiene la obligación de regresar el agua con la misma o mejor calidad de agua que con la que fue tomada del cuerpo abastecedor”, por lo cual se menciona el que se debe contar con obras de tratamiento previas a la descarga de agua para evitar la contaminación de cuerpos de aguas naturales receptores y se debe realizar un monitoreo de las descargas. En la base generada se encontró que no se cuenta con registro de monitoreo de calidad de efluentes, solo 3 de las unidades de producción tienen filtros biológicos de salida y el 10% de las UPA están optando por fuentes de agua alterna como la precipitación pluvial y a disminuir el uso de agua mediante sistemas de recirculación (SEDAGRO & SAGARPA, 2010).

Algo muy importante de mencionar es que en materia de acuicultura sustentable, se carece de un marco normativo estatal en materia pesquera, lo que impide, entre otras cosas, la realización de funciones que actualmente competen al Gobierno Federal, siendo las principales la inspección y vigilancia de los cuerpos de agua y unidades de producción, la emisión de permisos de pesca comercial y pesca deportiva, la concesión de uso de agua para el sector acuícola y pesquero y el dictamen para la realización de estudios de impacto ambiental para la implementación de nuevos proyectos acuícolas (SAGARPA, 2011; PED, 2011).

El estudio realizado permite concluir que existe un desempeño ambiental no satisfactorio, debido al incumplimiento de los requisitos de establecimiento y operación de las unidades de producción acuícola. Este incumplimiento se genera, debido a que en el Estado 50% de los municipios donde se realiza la actividad son de alta-muy alta marginación, y a que la gobernanza que aplica no se encuentra dirigida a esta parte de la población. Por lo cual existe la necesidad de establecer una Ley general del Pesca y Acuicultura del Estado de Hidalgo, que contemple los aspectos sociales y ambientales específicos de las zonas donde se efectúa la actividad. Generando las bases para un plan

de regularización efectivo, que contemple la parte social (marginación y pobreza) como un eje de acción para lograr los objetivos de regularización ambiental.

Por otra parte, México posee un gran potencial para la satisfacción de su seguridad alimentaria y el desarrollo rural, tanto local como regional (FAO 2006). Sin embargo su crecimiento debe ser propiciado y tomando en consideración el impacto que podría ejercer sobre el ambiente. Con respecto a lo anterior en el análisis realizado en este trabajo se encontró que solo 7% de las unidades de producción cuentan con estudio de impacto ambiental o bien no aplica, 41% cuenta con RNPA y 22% tiene concesión de uso de agua, generando así una problemática en el cumplimiento de estándares ambientales. Este incumplimiento de la normatividad vigente se debe a tres razones principales: 1) flexibilidad política (Rosales y Acevedo, 2011); 2) marginación y pobreza en las zonas donde se efectúa la actividad (FAO 2006, Carta Acuícola y Pesquera del Estado de Hidalgo 2010) y 3) han demostrado que la actividad es “no contaminante” (Carta Acuícola y Pesquera del Estado de Hidalgo 2010).

En lo que respecta a la “flexibilidad política”, informes oficiales (Carta Acuícola y Pesquera del Estado de Hidalgo 2010) mencionan que las granjas establecidas antes de que entrara en vigor la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente (1988), quedan exentas de la presentación de estudio de impacto ambiental ya que se trata de un área impactada. Sin embargo se tiene registro de que en el periodo de 1965 a 1995 se establecieron 66 UPA y de 1996 a la fecha se han establecido 544 de las UPA actuales; teniendo que el 11% de las UPA fueron establecidas en el periodo previo a que entrará en vigor dicha ley, por lo cual más del 80% de las unidades deberían contar con dicho trámite y solo el 7% cuenta con ello. Otros trámites son contar con RNPA, concesión de uso de agua, muestreo bimestral de aguas residuales, medidas y obras de tratamiento y mitigación de efluentes, con la finalidad de proteger y evitar la contaminación del recurso agua, como lo establece la Ley de Aguas Nacionales (1992) y Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentable (2007); por lo cual todas las granjas establecidas deberían contar dichos trámites y medidas preventivas. Sin embargo se observa que solo el 41% de las UPA cuentan con RNPA (pese a que el trámite es gratuito) y 22% tienen concesión de uso de agua, y ninguna presenta con medidas u obras de prevención para contaminación de los cuerpos de agua receptores. Rosales y Acevedo (2011) enfatizan que la actividad no ha llegado a su potencial máximo de producción y regularización en cuanto a la normativa a cumplir, ya que existe una carencia de flujo de información hacia este sector productivo, teniendo que a las problemáticas que se presentan durante su desarrollo se dan respuestas políticas en lugar de respuestas tecnológicas y científicas. Es importante resaltar que el 23% de las UPA se encuentran establecidas en áreas que se consideran conservadas (Carta Acuícola y Pesquera del Estado de Hidalgo 2010), por lo cual existe la necesidad de regularizar y mejorar el manejo de las UPA establecidas en dichas zonas con la finalidad de que no sean impactadas.

La segunda razón es el grado de marginación y pobreza donde están establecidas las unidades de producción (57%), debido principalmente a que en gran parte del mundo la actividad nace como una estrategia de combate al hambre (FAO 2010), y en el Estado de Hidalgo se maneja una política con alto contenido rural y social (Carta Acuícola y Pesquera del Estado de Hidalgo 2010). Adicionalmente CONEVAL (2012) reportó que cerca del 20% de la población en el Estado presenta pobreza alimentaria y a nivel nacional, Hidalgo ocupa el octavo lugar en marginación (CONAPO 2012). Aun así, es necesario que esta actividad llegue al estatus de sustentabilidad para beneficio de los mismos habitantes, por lo cual se deben buscar opciones de tratamiento de efluentes adecuadas al grado de pobreza, marginación y educación de la zona. Ponce *et al.* (2006) proponen que para alcanzar

el desarrollo sostenible en la acuicultura, se debe realizar una inversión en la gente a través de la educación y capacitación, inversión en la investigación y desarrollo, mejoramiento en el flujo de información y comunicación, entre otros, buscando con estas medidas abatir la pobreza de las zonas rurales.

La Carta acuícola y Pesquera del Estado de Hidalgo (2010) menciona que la actividad es “no contaminante”; todas las actividades representan un impacto y contaminación al medio ambiente, si bien la acuicultura al lado de otras actividades, como la agricultura, industrias, aguas municipales, etc., se considera menos contaminante (Kestemont 1995, Pardo *et al.* 2006). Sin embargo en la región no se cuenta con un reporte publicado, que demuestre o no este impacto. Además de que no se realiza muestreo ambiental bimestral de los efluentes dentro de las granjas por el costo que este implica. En otros países se ha demostrado que la piscicultura tiene impactos negativos en los cuerpos receptores, Karakassis *et al.* (2005) determinaron en costas del Mediterráneo que el aporte de nitrógeno y fósforo totales liberados representan aproximadamente 5% de la descarga antropogénica anual y repercute en el aumento de 0.01%, bajo una tasa de producción de 150000 toneladas. Mariano *et al.* (2010) analizaron la contaminación generada por actividades acuícolas en siete lagunas altoandinas, en Judín, Perú, en las cuales se cultiva de forma intensiva trucha arco iris, con una producción de 10-20 t/año, observando que un periodo de 12 años existe un deterioro en el cuerpo receptor por la acumulación de materia orgánica.

Otra problemática preocupante de la acuicultura mexicana que mencionaron Álvarez (1996) y FAO (2006), es la utilización descontrolada de los recursos hídricos continentales; en el Estado de Hidalgo las fuentes de abastecimiento que se emplean son: 60 manantiales, 40 arroyos, 31 ríos, 27 pozos, 2 lagunas y 3 presas de la entidad, pero principalmente se usa agua manantial (54%) con flujos máximos de 150 l/s. En la Carta Acuícola Nacional (2011), se menciona que las tecnologías de cultivo para carpa y tilapia, se debe usar agua para compensar lo perdido por evaporación o bien recambios de agua de 5% al día, para cultivos de tilapia y trucha, flujos de 10 l/s (en sistemas intensivos) y 90 l/s (en sistemas de raceways). Con respecto a lo anterior se encontró que más del 95% de los sistemas de cultivo en Hidalgo están por encima de los flujos de agua, esto se debe a la infraestructura con que se cuenta, el poco conocimiento e información de la tecnología de cultivo y que no se cuenta con personal capacitado en el manejo de las unidades de producción.

La literatura especializada muestra diversos esfuerzos por calcular teóricamente el aporte de nutrientes que representan las actividades acuícolas a los sistemas acuáticos, tomando como base el incremento de peso total, ingestión de alimento y retención de nutrientes, tasa de alimentación y los residuos que se pueden generar a partir de esta, observando que los datos obtenidos por estimación son muy similares a los encontrados en muestreos ambientales o incluso por debajo de la descarga real (Bergheim y Asgard 1996; Jover 2000; Bureau *et al.* 2003; Sindilariu 2007). En este estudio se realizó una estimación teórica del aporte de nitrógeno y fósforo, los cuales son considerados como contaminantes básicos en la ley de aguas nacionales de México y tienen importancia ecológica en el proceso de eutrofización en los cuerpos de agua receptores (Hua *et al.* 2008). Se detectó que los sistemas intensivos en conjunto representan el mayor aporte anual de nitrógeno (6.9 t) y de fósforo (1.6 t); y por unidad de cultivo los sistemas super-intensivos son los que representan el mayor aporte con 295 kg de nitrógeno y 163.5 kg de fósforo por cada unidad de producción. En promedio se tiene que por cada tonelada de pescado se obtiene de forma residual 24.8 kg de nitrógeno y 11.5 kg de fósforo, los cuales podrían representar un peligro en el proceso de eutrofización de los cuerpos de agua, ya que hay cuerpos de agua abastecedores-receptores que proveen del recurso agua a varias

granjas, como ejemplo la Laguna de Zacualtipan de la cual se abastecen y descargan cuatro granjas de cultivo intensivo, con flujos mayores a los  $30 \text{ ls}^{-1}$ . Otro caso importante es la Laguna de San Miguel Regla, abastecida por agua del manantial La Cruz y del agua de descarga de la U.P.A. Parque Ecoturístico San Miguel Regla, la cual es la granja más grande del Estado con una producción anual de 35 t de producto fresco. Mariano *et al.* (2010) en un periodo de 12 años demostró el deterioro de la laguna con una producción de 10 ton /año. En otros casos de estudio se ha demostrado la utilidad de las estimaciones teóricas, ya que los datos obtenidos por estimación son muy cercanos a los datos reales de descarga, sin embargo es necesario realizar el monitoreo ambiental, con la finalidad de determinar la descarga real de los sistemas e implementar tecnologías de bajo costo y fácil manejo, para evitar la contaminación de cuerpos de agua, que representan fuentes de abastecimiento para poblaciones marginadas.

Es importante mencionar los esfuerzos que se están realizando actualmente en el Estado, los sistemas productos implicados en la actividad y gobierno del estado, están realizando programas de capacitación con la finalidad de hacer más rentables las UPAs establecidas. De igual forma se están implementando sistemas de recirculación (actualmente 5 en el estado) y el uso de fuentes de abastecimiento alternas como la precipitación pluvial y uso de agua de canal. Además, se está trabajando con las políticas y los programas de gobierno para llevar la actividad, primero a la regularización y su posterior sustentabilidad; el inconveniente es que la actividad acuícola no es prioritaria para la agenda estatal ni nacional.

La mayor problemática de la acuicultura, se menciona, es el aumento de sólidos residuales y materia orgánica en cuerpos receptores, mediante efluentes no tratados, debida a las excreciones de los peces y el alimento no consumido (Buschmann, 2001; Liu *et al.*, 2002; Vita *et al.*, 2002; Vergara *et al.*, 2005; Pardo *et al.*, 2006; Cao *et al.*, 2007; Martínez-Córdova *et al.*, 2009; Somer, 2009). La magnitud del problema, se relaciona con la intensificación del sistema de cultivo, consecuentemente la cantidad de alimento artificial empleada, así como el manejo del alimento y las prácticas de alimentación (Tacon and Forster, 2003; Crab *et al.*, 2007; Deutsch *et al.*, 2007). En cuanto a la caracterización del agua residual del efluente de una granja de cultivo, al ACP mostró que la variación en el tiempo de la concentración de SST, Nt y Pt, está dada por la madurez del cultivo y el manejo del mismo. Es decir conforme aumenta el tiempo de cultivo, aumenta la biomasa cultivada, aumenta el alimento suministrado; y por lo tanto aumenta la materia orgánica no consumida en el fondo del estanque la cual es removida con los movimientos de agua. Lo anterior es reforzado por lo mencionado por Tacon and Forster (2003); Crab *et al.*, (2007); Deutsch *et al.*, (2007), los cuales mencionan que las características del efluente varían dependiendo del sistema, intensidad y tiempo de cultivo.

Uno de los parámetros más importantes es la concentración de SST, la cual es mayor en el efluente de la granja ( $321 \pm 66.0 \text{ mg/L}$ ), con valor máximo de  $367.75 (\pm 115.23) \text{ mg/l}$ ; durante días normales de cultivo. Estos sólidos residuales se deben principalmente a materia orgánica, excreciones de los peces y el alimento no consumido (Buschmann, 2001; Liu *et al.*, 2002; Vita *et al.*, 2002; Vergara *et al.*, 2005; Pardo *et al.*, 2006; Cao *et al.*, 2007; Martínez-Córdova *et al.*, 2009; Somer, 2009). La concentración de Nt y Pt, como mostró el ACP están relacionados directamente con la concentración de SST, y se encontraron valores de  $7.75 (\pm 3.1) \text{ mg/L}$  y  $1.48 (\pm 0.7) \text{ mg/l}$ , respectivamente. Al compararlos con la NOM-001-ECOL-1996, tenemos que las concentraciones encontradas como valor promedio, se encuentran dentro de los límites permisibles, Nt de 15 y Pt 5

mg/l, pero no es el caso para SST donde la concentración permitida es de 40 mg/l, y se está 7 veces por encima del límite establecido.

Al comparar con el muestreo realizado durante 72 horas (Fig. 17), se observó que la concentración de SST inicia en 500 mg/l, pero esta aumenta conforme las horas de recambio (aproximadamente 5h) hasta llegar a 2400 mg/l de SST, debido al movimiento del agua en el estanque y a que se barre el fondo del estanque sacando la materia orgánica acumulada en el fondo de la estanquería. Estos resultados coinciden con lo reportado para diversos cultivos semi intensivos de Carpa (Endut *et al.* 2010), Tilapia (Ghaly *et al.* 1995) y Trucha (Adler *et al.* 2003), en los cuales se reportan altas concentraciones de P (50.4 mg L<sup>-1</sup>), N (60 mg L<sup>-1</sup>), SST (1000 mg L<sup>-1</sup>) y MO (290 L<sup>-1</sup>). Además, se ha reportado que en días de cosecha y limpieza la concentración puede elevarse (Michael 2003), Sindilariu y Reiter (2006), mencionan que puede existir un incremento en la concentración de SST de 256 mg/l a 3,896 mg/l, durante el movimiento de agua (recambio) y hasta 14,980 mg/l durante la cosecha del producto final. Teniendo así que al comparar con la NOM-001-ECOL-1996, las concentraciones encontradas durante el movimiento de agua para SST se encontrarían 60 veces por encima del límite establecido y para Pt solo 1 mg/l arriba de lo permitido. Estas concentraciones de Pt dependen mucho de las características de los piensos y FCR (Samuel-Fitwi *et al.* 2012).

## 6.2. PARTE II: PLANTEAMIENTO DE UNA HERRAMIENTA DE MITIGACIÓN Y/O PREVENCIÓN DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

### 6.2.1. ACUAPONÍA COMO HERRAMIENTA DE MITIGACIÓN DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN LA ACTIVIDAD ACUÍCOLA

#### Resumen

La acuicultura es una actividad de gran importancia para los países en desarrollo, ya que se emplea como estrategia de desarrollo rural. Sin embargo esta actividad ha crecido sin parámetros de sostenibilidad por lo cual ha tenido impactos importantes en los cuerpos receptores. La principal problemática es el aporte de bionutrientes, teniendo como impacto principal la eutrofización de los cuerpos de agua. Actualmente se buscan estrategias que ayuden a disminuir la contaminación, mediante sistemas integrados en acuaponía. Las mayores experiencias se tienen con lechuga, la cual ha demostrado potencial de remoción de N y P hasta de un 98%.

**Palabras clave:** hidroponía, mitigación, prevención, contaminación ambiental.

#### a) Introducción

La acuicultura es tema que ocupa un lugar destacado dentro de las estrategias contra el hambre, pobreza, el desarrollo rural y regional de los países (FAO, 2006; Rosales y Acevedo, 2011). En la actividad, existe una gran diferencia entre países desarrollados y en desarrollo; mientras que en los países desarrollados se manejan altas densidades de producción, alta tecnificación y disminución de uso de agua; en los países en desarrollo se maneja una acuicultura de autoconsumo, con alta demanda de recursos y baja tecnificación (FAO, 2006; 2010; 2012). Teniendo que existe una extensa penetración de la actividad en el medio rural, difundiéndose como estrategia social en comunidades, con la finalidad de combatir pobreza y bajos niveles de nutrición de la población (Juárez-Palacios, 1987; FAO, 2010; 2012). Actualmente, la acuicultura es considerada una actividad exitosa generadora de alimentos, fuente crucial de ingresos y medios de subsistencia para millones de personas en todo el mundo, siendo la actividad de producción de proteína animal con mayor crecimiento anual (6.6 %) (FAO, 2010). Sin embargo es criticada por ser una actividad poco sustentable, y por afectar los cuerpos receptores impactando al medio, los clásicos estudios ambientales mencionan principalmente el aporte de nutrientes y materia orgánica, patógenos, introducción de organismos genéticamente modificados (Buschmann, 2001; Sipaúba-Tavares et al., 2002; Samuel-Fitwi et al., 2012). Recientemente se han analizado las emisiones globales de la actividad, considerando principalmente gases invernadero originados del consumo de energía y sus contribuciones al calentamiento global y acidificación del océano (Samuel-Fitwi et al., 2012).

La mayor problemática es el aumento de sólidos residuales y materia orgánica en cuerpos receptores, mediante efluentes no tratados, debida a las excreciones de los peces y el alimento no consumido (Buschmann, 2001; Liu et al., 2002; Vita et al., 2002; Vergara et al., 2005; Pardo et al., 2006; Cao et al., 2007; Martínez-Córdova et al., 2009; Somer, 2009). La magnitud del problema, se relaciona con la intensificación del sistema de cultivo, consecuentemente la cantidad de alimento artificial empleada, así como el manejo del alimento y las prácticas de alimentación (Tacon y Forster, 2003; Crab et al., 2007; Deutsch et al., 2007). El crecimiento acelerado de la actividad y el aumento de sus efluentes exige la aplicación de mejores prácticas de manejo para detener la alteración del ambiente y llevar su producción a parámetros de sostenibilidad (Lopes-Thompson et al., 2002; Adler et al.,

2003; Mora et al., 2003; Marinho-Soriano et al., 2009; Somer, 2009). Dos métodos pueden ser utilizados para disminuir el impacto ambiental causado por los efluentes; el primero implica una disminución de la cantidad de efluentes por medio de Buenas Prácticas de Manejo y el segundo método consiste en mejorar la calidad del efluente antes de ser lanzado al medio ambiente (Martínez-Córdova et al., 2009). Estos incluyen tratamientos biológicos, químicos y físicos para remover nutrientes disueltos como Nitrógeno (N), Fósforo (P), Sólidos Suspendidos Totales (SST), y Materia Orgánica (MO) (Adler et al., 1996 a, b, 2000a, b, 2003).

Algunas técnicas empleadas para mejorar la calidad del efluente son sedimentación (Mora et al., 2003, Ramos et al., 2010), filtración y biorremediación (Marinho-Soriano et al., 2009; Miranda et al., 2009; Martínez-Córdova et al., 2009; Ramos et al., 2010; Marino et al., 2011), moluscos (Miranda et al., 2009; Martínez-Córdova et al., 2009), absorción por macroalgas (Marino-Soriano et al., 2009; Ramos et al., 2010), biofiltros y tapetes microbianos (Lopes-Thompson et al., 2002; Mora et al., 2003; Barón-Sevilla et al., 2004; Bender y Phillips 2004; Banerjee et al., 2010; Lezama-Cervantes et al., 2010). Las características del efluente varían dependiendo del sistema e intensidad de cultivo (Tacon y Forster 2003; Crab et al., 2007; Deutsch et al., 2007), Ghaly et al., (2005) reportaron altas concentraciones de P ( $50.4 \text{ mg L}^{-1}$ ), N ( $60 \text{ mg L}^{-1}$ ), SST ( $1000 \text{ mg L}^{-1}$ ) y MO ( $290 \text{ L}^{-1}$ ) en aguas residuales de un sistema semi intensivo de Tilapia. Sin embargo, los efluentes de la industria acuícola son difíciles de tratar debido a que se generan grandes volúmenes de agua residual (Adler et al., 2003). Actualmente las investigaciones buscan incorporar estos efluentes en sistemas acuapónicos en sistemas de recirculación acuícola (RAS), obteniendo así un beneficio económico y ambiental (Sipaúba-Tavares et al., 2002; Adler et al., 2003; Lennard y Leonard 2006; Trang y Brix, 2012). Sin embargo, los sistemas RAS implican una alta tecnificación y consumo de energía, por lo cual su uso en zonas rurales está limitado, por los servicios presentes en las zonas de cultivo, principalmente la energía eléctrica.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la información existente de sistemas acuapónicos usados en sistemas de recirculación acuícola y analizar su potencialidad de ser empleados como estrategia de mitigación en la contaminación por efluentes piscícolas en sistemas de producción donde no se pueden establecer sistemas de recirculación.

## b) ¿QUÉ ES LA ACUAPONÍA?

Acuaponía, se define como, el cultivo de plantas dentro de sistemas de recirculación acuícola (Rakocy et al., 2004; 2006; García-Ulloa et al., 2005; ATTRA, 2006; Lennard y Loenard, 2006; Ramírez et al., 2008; 2009; Roosta y Hamdipour, 2011; Roosta y Mohsenian, 2012). En términos generales, se trata de generar un sistema en el cual los desechos orgánicos producidos por algún organismo acuático (peces, crustáceos, moluscos, etc.), se conviertan a través de la acción bacteriana, en nutrientes disponibles, como nitrato y fosfato, que sirven como fuente de alimento para plantas (Ghaly et al., 2005; Lennard y Loenard, 2006; Endut et al., 2010). Estas a su vez, al absorber estos nutrientes, limpian el agua para los peces actuando como filtro biológico (Adler et al., 2003; Lennard y Loenard, 2006; Nelson y Pade, 2007; Ramírez et al., 2008). El sistema parte de la premisa, que los desechos de los peces son muy similares a los requerimientos nutricionales de las plantas (Rakocy et al., 2004; 2006); y que solo una fracción del alimento suministrado -20 a 30%—, se metaboliza e incorpora como tejido, mientras que el resto (cerca del 70%) se pierde en el proceso de excreción, alimento no consumido y diluido (Endut et al., 2010; Roosta y Mohsenian, 2012). El concepto no es nuevo, los

primeros sistemas aparecieron en China en los años 1500, Incas en Perú y Aztecas en México (Jones, 2002). Actualmente, esta actividad está ganando atención como un sistema bio-integrado de producción de alimentos, utilizándose en los sistemas de circulación cerrados de acuicultura (Rakocy et al., 2004; 2006; Diver, 2006).

En términos generales un sistema acuapónico consta de tanque de peces (u otros organismos acuáticos), clarificador (o filtro de sólidos), biofiltro, componente hidropónico para plantas, sistemas de bombeo de agua y de aireación (Rakocy et al., 2004; 2006; Nelson y Pade, 2007; Ramírez et al., 2009). Dentro del componente hidropónico, los medios de soporte empleados y las plantas utilizadas son importantes. Como medio de soporte generalmente se usan camas de arena, grava, agregados de cultivo, camas de flotación (o raft) y películas de nutrientes (Nutrient Film Technique: NFT) (McMurtry et al., 1997; Diver, 2006; Lennard y Leonard, 2006; Rakocy et al., 2004; 2006). Un buen sustrato o medio de soporte, en un sistema hidropónico actúa como medio de filtración (ATTRA, 2006; Lennard y Leonard, 2006) y mantiene un reservorio de nutrientes en la zona cercana a las raíces y provee de un adecuado espacio poroso para la respiración de las raíces (McMurtry et al., 1997; Sikawa y Yakupitiyage, 2010). Los componentes hidropónicos presentan ventajas conferidas por sus componentes, por ejemplo las camas de medios de soporte actúan como filtro reduciendo SST y MO (ATTRA, 2006; Lennard y Leonard, 2006), eliminando así la necesidad de un biofiltro. Los sistemas de Raft y NFT comparadas con las camas de cultivo, su construcción es fácil, económica y los componentes son de bajo peso, sin embargo el volumen de agua requerida es bajo (Lennard y Leonard, 2006).

La selección de plantas, en sistemas acuapónicos está relacionado con la densidad de peces en el cultivo y la subsecuente concentración de nutrientes en el efluente (ATTRA, 2006; Graber y Junge, 2009). Rakocy et al., (2004; 2006) y Ghaly et al., (2005) reportan que la elección de las plantas a cultivar debe basarse en plantas con importancia económica, ya que al generarse en grandes cantidades si estas no tienen utilidad pueden representar un problema de residuos. García-Ulloa et al., (2005) mencionan que es necesario conocer la biología de las plantas seleccionadas para optimizar el aprovechamiento de los nutrientes que se generen en el sistema. Graber y Junge (2009) mencionan que las investigaciones deben estar enfocadas en la selección de cultivos caracterizados por alta productividad y su capacidad de reciclar los nutrientes. Se ha reportado el uso de lechugas, hierbas de olor y hortalizas (espinacas, cilantro, perejil, etc), ya que presentan bajos requerimientos nutricionales y tienen el potencial de ser adaptados a sistemas de cultivo acuapónicos (ATTRA, 2006; Ramírez et al., 2008; 2009; Roosta y Hamidpour, 2011). Por otra parte, plantas con producción de fruto (tomates, chiles, pepino, etc) requieren un nivel nutricional alto por lo cual su cultivo se dificulta, pero pueden ser estabilizados dentro de estos sistemas (ATTRA, 2006; Ramírez et al., 2009; Roosta y Hamidpour, 2011).

#### c) PROPUESTA DE LA ACUAPONÍA COMO HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

No se tienen experiencias (publicadas) de la aplicación de la acuaponía como estrategia de prevención y/o mitigación de la contaminación a cuerpos receptores, ya que los estudios se han enfocado en hacer RAS más rentables, obteniendo un segundo producto de cultivo alternativo. Sin embargo estudios como Castellani et al., (1999), Rakocy et al., (2004; 2006) se menciona el potencial fitorremediador de esta herramienta para el tratamiento de efluentes acuícolas; lo cual permite la idea de no solo limitarlo a sistemas RAS, sino ser empleada como estrategia de mitigación, en sistemas de paso en unidades de producción en los cuales, la zona de establecimiento y características impidan el establecer sistemas

de recirculación. Como actividad productiva la acuaponía constituye una práctica amigable con el ambiente, ya que permite el reciclaje de los desechos generados (MO, SST, compuestos nitrogenados, formas de fosforo) y los utiliza para generar plantas, bien manejados se integran en la filosofía de sostenibilidad y producción más limpia (PML) (Jones, 2002; ATTRA, 2006; Ramírez et al., 2008; 2009). Diversos estudios (Quilleré et al., 1995; Rakocy et al., 2004; 2006; Ghaly et al., 2005, Trang y Brix, 2012) han demostrado que pisciculturas intensivas asociados a cultivos vegetales en hidroponía, permiten la utilización de los residuos contenidos en el efluente, siendo una forma de mejorar el efluente. Esta mejora se debe a los microorganismos que se desarrollan como parte del biofilm en el medio de soporte (si existe), el desarrollo adecuado de las raíces ya que forman un tapete, y a la eficiencia de absorción de nutrientes por las mismas, la cual aumenta en el tiempo con el desarrollo de las raíces (McMurtry et al., 1997; ATTRA, 2006; Lennard y Leonard, 2006; Sikawa y Yakupitiyage, 2010).

i. Remoción de Sólidos Suspendidos

Los sólidos suspendidos, representan el principal aporte de materia orgánica en el efluente del agua de cultivo (Bushman, 2001). Este es un parámetro a considerar en el diseño de sistemas acuapónicos (Rakocy et al., 2004; 2006), considerando un filtro externo o incluir un medio de soporte en el sistema con la finalidad remover la cantidad de SST (Adler, 1998; Sikawa y Yakupitiyage, 2010). Ghaly et al., (2005, Fig. 29) reportan eficiencias de remoción de 24.2% y 91%, en periodos de germinación y crecimiento de cereales. Así mismo muestran que en periodo de crecimiento, el centeno y cebada remueven un 91%, 79% alfalfa y 74% trébol, sin un medio de soporte. Pan et al., (2007) reportan que un sistema integrado de césped inglés-placas de filtración puede remover hasta 66%. Sikawa y Yakupitiyage (2010) muestran el potencial de lechuga al remover 61%, teniendo soporte de arena/grava. Endut et al., (2010) muestran que el tiempo de residencia hidráulica (TRH) influye en la remoción de SST, teniendo que a un mayor tiempo de residencia la remoción aumenta.

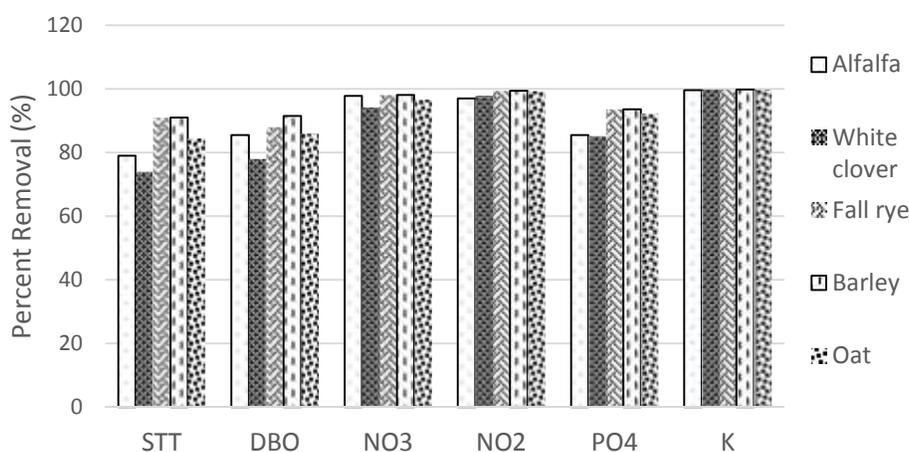


Figura 29. Eficiencias de remoción presentada por un grupo de cereales, basados en Ghaly et al., (2005).

ii. Remoción de Compuestos Nitrogenados (NC).

Los compuestos nitrogenados son importantes, ya que la presencia de estos estimula el crecimiento de microorganismos y aportan nutrientes a la planta en crecimiento (Ghaly et al., 2005), en los efluentes de acuicultura se pueden encontrar presentes  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$  y  $\text{NH}_4$  principalmente (Rijn, 1996). Naegel (1977) reportó la reducción de nitrato en efluentes de acuicultura cercanos a 78% usando plantas de tomate y 89% cuando se emplearon plantas de lechuga. Gloger et al., (1995) reporta la reducción de un 24% usando lechuga. Adler et al., (2003) reportan 60% de remoción de  $\text{NO}_3$  por *Lactuca sativa* var. *Ostinata*. Ghaly et al., (2005) mostraron el potencial fitoremediador de cereales, al encontrar altos porcentajes de remoción de  $\text{NO}_3$  98.1%, 97.8% y 94.2%, para centeno y cebada, Alfalfa y trébol, respectivamente. Para  $\text{NO}_2$  99.4%, 97.9% y 97% para centeno y cebada, trébol y Alfalfa. Kamal (2006) muestra el potencial de pimiento morrón (*Capsicum annum* l), con dos densidades de plantas 10 y 12  $\text{m}^2$ ; obtiene para  $\text{NO}_3$  48.2 y 30.73%;  $\text{NO}_2$  42.8 y 37.7%,  $\text{NH}_4$  54 y 41% de remoción respectivamente. Lennard y Leonard (2006) reportan el potencial lechuga en soportes (grava) y NFT, obteniendo que la remoción de  $\text{NO}_2$  es mayor con la presencia de medio de soporte (91%) comparada con NFT (71%). Pan et al., (2007) muestra el potencial de remedidor del césped ingles al remover 72% de NT. Endut et al., (2010, Fig. 30) reporta eficiencias de remoción para espinaca acuática (*Ipomoea aquatica*) demostrando que existe una relación con el tiempo de residencia hidráulica del sistema (TRH: 4.5, 2.3, 1.5, 1.1 y 0.9 h). Para  $\text{NO}_3$  disminuye conforme disminuye el TRH, de 62.4 a 42.3%; y  $\text{NO}_2$  aumenta conforme disminuye el TRH 67.2 a 89.5%. Lo anterior se debe, a que un TRH elevado y un flujo de  $\text{O}_2$  bajo, promueven el proceso de desnitrificación y una alta eliminación de  $\text{NO}_3$  es observada con un TRH bajo. Una disminución en el TRH quizás disminuye el tiempo de contacto del nitrato y bacterias desnitrificadoras, disminuyendo el rendimiento de los hidropónicos. Trang y Brix (2012) reportan el potencial de *lactuca sativa* e *Ipomoea aquatica* al remover el 50% NT; 50 y 62%  $\text{NH}_4$  respectivamente. Graber y Junge (2009) muestran el potencial de la Berenjena, tomate, pepino al remover 9, 34 y 17% de NT.

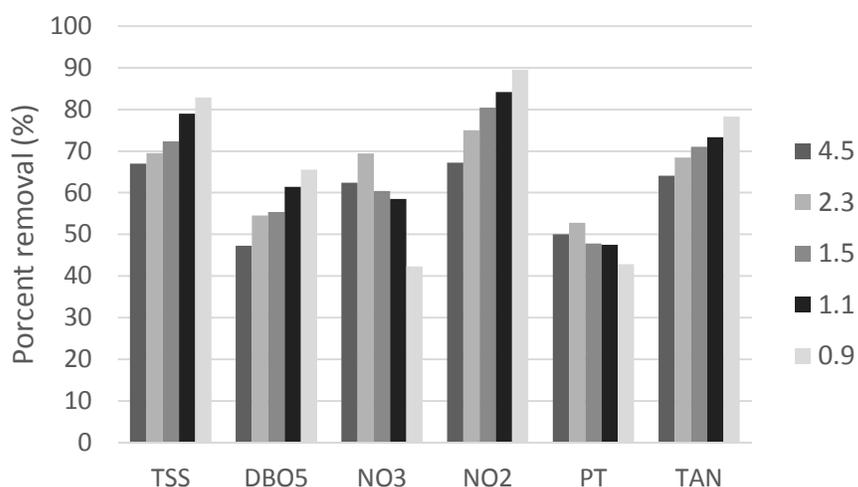


Figura 30. Potencial de remoción de espinaca acuática a diferentes tiempos de retención hidráulica, basados en Endut et al. (2010)

Un número de mecanismos son responsables de la remoción de formas de N, un mecanismo es la absorción a través del sistema radicular desde el medio de crecimiento (Vaillant et al., 2004; Endut

et al., 2010). Las plantas prefieren  $\text{NO}_3$  a  $\text{NH}_4$  debido a (a)  $\text{NH}_4$  interactúa con otros cationes donde el  $\text{NO}_3$  es altamente soluble, (b) la tasa de liberación de  $\text{NO}_3$  por difusión es mucho más alta que la de  $\text{NH}_4$ , (c) a concentraciones relativamente  $\text{NH}_4$  es tóxico para las plantas, (d) el consumo de  $\text{NO}_3$  evita la competencia que ocurre por las enzimas de las raíces entre  $\text{NH}_4$  y otros iones cargados positivamente (Schlesinger, 1996; Ghaly et al., 2005). Un segundo mecanismo es la remoción de sólidos suspendidos es la asimilación bacteriana, esto por microorganismos en la columna del agua o por biofilms asociados con los tapetes de las raíces de las plantas o medios de soporte (Vaillant et al., 2004; Endut et al., 2010).

### iii. Remoción de formas de fósforo

El fósforo (P) es considerado el mayor nutriente limitante del crecimiento en el medio acuático (Marschener, 1988), bajo condiciones normales se encuentra en forma de iones de ortofosfato inorgánico o compuestos orgánicos disueltos en el agua (Holtan et al., 1988). Existen reportes que demuestran el potencial fitoremediador de plantas de lechuga (*Lactuca sativa*), Gloger et al., (1995) reportan 23% de remoción de  $\text{PO}_4$ , Adler et al., (2003) muestra que la variedad *oscinata* remueve el 98% P, Sikawa y Yakupitiyage (2010) reportan 32% de remoción de  $\text{PO}_4$ . Lennard y Leonard (2006) reportan el potencial de remoción en soportes (grava) y NFT, obteniendo que la remoción de  $\text{PO}_4$  es similar con o sin soporte (50%). Ghaly et al., (2005) reporta la eficiencia de remoción  $\text{PO}_4$  por cereales, en un 94% para alfalfa y trébol, y 85% para centeno y cebada. Graber y Junge (2009) muestran el potencial de la Berenjena, tomate, pepino al remover 5, 37 y 27% de PT. Endut et al., (2010) *Ipomoea aquatica* reporta una remoción de 50% de  $\text{PO}_4$  independientemente del TRH y con un medio de soporte de arena. Adler (1998) reporta que el P también puede ser removido por las partículas del medio de soporte, en particular por arcillas. La forma biológicamente disponible de P en sistemas acuáticos incluye P soluble reactivo y soluble no reactivo, gracias a la actividad bacteriana las cuales convierten de formas inorgánicas a formas orgánicas, y viceversa, jugando un rol clave en la biodisponibilidad de los elementos para las plantas (Holtan, et al., 1988). La remoción de P puede deberse a diversos medios de soporte según lo menciona Sikawa y Yakupitiyage (2010), ya que las arcillas pueden absorber P en sus partículas.

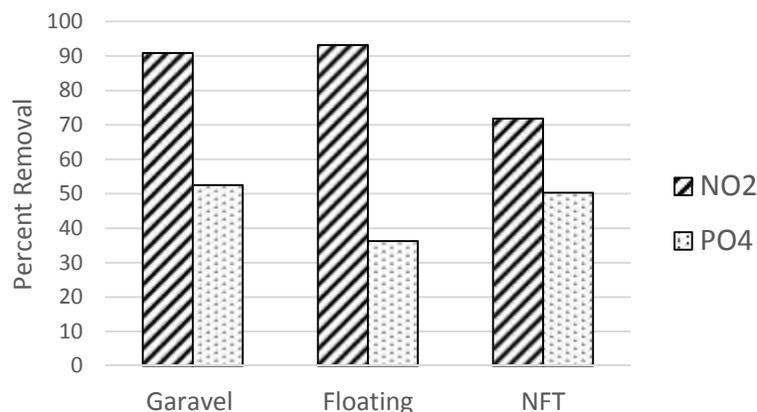


Figura 31. Potencial de remoción de plantas de lechuga con tres medios de soporte basados en Lennard y Leonard (2006).

De forma cotidiana, la acuicultura de autoconsumo y en zonas rurales, implica la descarga directa de efluentes en cuerpos de agua receptores, generando así un aporte de nutrientes y posteriormente problemas de eutrofización. La acuaponía se presenta como una alternativa viable, para la prevención de contaminación en zonas rurales, integrada en sistemas de paso.

## 6.2.2. DISEÑO DEL SISTEMA ACUAPÓNICO

### 6.2.2.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICA QUÍMICA Y BIOLÓGICA DE RESIDUOS AGRÍCOLAS DE CEBADA Y TEZONTLE ROJO; PARA SU USO POTENCIAL EN SISTEMAS ACUAPÓNICOS

Las características físicas obtenidas de los residuos, mostró que la granulometría (1-0.5 cm), EPT(> 70%)<sup>9</sup>, Dr (<1.5 g/cm<sup>3</sup>) y pH (6-7) (*Tabla 17 y 18*), están dentro de los parámetros recomendados para ser empleados como sustratos dentro de sistemas agrícolas sin suelo.

*Tabla 17.* Granulometría de los sustratos orgánicos después de la molienda y los valores recomendables.

Granulometría (mm)	2-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.1
recomendable	<5%	70-80%		< 20%
cascarilla	12.9	74.2		12.9
paja	7.5	73.0		19.4

*Tabla 18.* Características físicas determinadas a los sustratos locales. Densidad aparente (Da), Densidad real (Dr) y espacio poroso total (EPT) mediante las especificaciones de la NOM-021-RENACT.

muestra	FÍSICAS			QUÍMICAS	
	Dr (gr/cm <sup>3</sup> )	Da (gr/cm <sup>3</sup> )	EPT	pH	CE
Paja	0.74 (±0.02)	0.24 (±0.02)	73.0 (±0.02)	6.03 (±0.03)	3.5 (±0.9)
Cascarilla	1.4 (±0.2)	0.4 (±0.02)	71.4 (±0.02)	6.1 (±0.02)	6.09 (±1.2)
Tezontle	2.14 (±0.02)	1.06 (±0.02)		7.39 (±0.18)	83.26 (±20.17)

En el análisis de fitotoxicidad mostró que existen efectos tóxicos de los residuos de cebada, y estos tienen relación entre el tipo de residuo que se maneje y la concentración del mismo ( $r=0.91$ ) (*Tabla 19*); ya que el porcentaje de germinación disminuye conforme aumenta la concentración del residuo y es mayor el efecto en residuos de paja comparados con cascarilla. El análisis de correlación mostró que tiene una correlación directa con el pH del extracto ( $r=0.93$ ).

En la etapa 2, *Tabla 20*, se observó que existe un efecto negativo de los residuos de cebada en el porcentaje de germinación (%G), índice de Germinación (IG) e índice de fitotoxicidad (IP); y este es más evidente conforme aumenta la concentración extracto. Contrario a lo observado en los extractos con tezontle, ya que en estos se tiene un efecto positivo %G, IG e IP.

Tabla 19. Valores medios determinados para las variables químicas para las suspensiones–diluciones de los residuos agroindustriales de PAJA y CASCARILLA de cebada puros (“natural”). (T0= agua destilada; T1= 1:200; T2= 1:95; T3=1:40; T4=1:20, T5=1:10 y T6= 1:5)

		PH	SST	CE	% G
	T0	7.68 ( $\pm 0.01$ ) <sup>a</sup>	0.01 ( $\pm 0.01$ ) <sup>a</sup>	0.83 ( $\pm 0.01$ ) <sup>a</sup>	92.5 ( $\pm 1.29$ ) <sup>a</sup>
<b>PAJA</b>	TP1	6.88 ( $\pm 0.066$ ) <sup>b</sup>	0.41 ( $\pm 0.06$ ) <sup>b</sup>	0.10 ( $\pm 0.005$ ) <sup>b</sup>	87.5 ( $\pm 2.08$ ) <sup>b</sup>
	TP2	6.23 ( $\pm 0.05$ ) <sup>c</sup>	0.58 ( $\pm 0.001$ ) <sup>c</sup>	0.12 ( $\pm 0.001$ ) <sup>b</sup>	90 ( $\pm 1.63$ ) <sup>b</sup>
	TP3	5.71 ( $\pm 0.10$ ) <sup>d</sup>	1.04 ( $\pm 0.001$ ) <sup>d</sup>	2.06 ( $\pm 0.001$ ) <sup>c</sup>	22.5 ( $\pm 2.38$ ) <sup>c</sup>
	TP4	4.77 ( $\pm 0.026$ ) <sup>e</sup>	1.83 ( $\pm 0.001$ ) <sup>e</sup>	3.53 ( $\pm 0.032$ ) <sup>d</sup>	0 <sup>d</sup>
	TP5	4.63 ( $\pm 0.03$ ) <sup>e</sup>	3.28 ( $\pm 0.005$ ) <sup>f</sup>	6.25 ( $\pm 0.038$ ) <sup>e</sup>	0 <sup>d</sup>
	TP6	4.99 ( $\pm 0.025$ ) <sup>f</sup>	5.58 ( $\pm 0.023$ ) <sup>g</sup>	10.19 ( $\pm 0.024$ ) <sup>f</sup>	0 <sup>d</sup>
<b>CASCARILLA</b>	TC1	6.3 ( $\pm 0.07$ ) <sup>a</sup>	0.07 ( $\pm 0.03$ ) <sup>a</sup>	5.7 ( $\pm 0.03$ )	90.7 ( $\pm 1.79$ ) <sup>a</sup>
	TC2	6.1 ( $\pm 0.02$ ) <sup>b</sup>	0.08 ( $\pm 0.02$ ) <sup>a</sup>	5.9 ( $\pm 0.01$ ) <sup>a</sup>	85.2 ( $\pm 2.83$ ) <sup>b</sup>
	TC3	6.1 ( $\pm 0.09$ ) <sup>b</sup>	0.08 ( $\pm 0.01$ ) <sup>a</sup>	5.8 ( $\pm 0.01$ )	83.5 ( $\pm 1.54$ ) <sup>b</sup>
	TC4	6.1 ( $\pm 0.13$ ) <sup>b</sup>	0.08 ( $\pm 0.01$ ) <sup>a</sup>	5.9 ( $\pm 0.02$ ) <sup>a</sup>	80.7 ( $\pm 2.62$ ) <sup>b</sup>
	TC5	5.7 ( $\pm 0.06$ ) <sup>c</sup>	0.08 ( $\pm 0.03$ ) <sup>a</sup>	5.8 ( $\pm 0.03$ )	77.4 ( $\pm 1.77$ ) <sup>c</sup>
	TC6	5.7 ( $\pm 0.11$ ) <sup>c</sup>	0.08 ( $\pm 0.02$ ) <sup>a</sup>	5.7 ( $\pm 0.04$ )	68.3 ( $\pm 3.53$ ) <sup>d</sup>

NOTA: letras diferencias entre columna dentro del residuo.

Tabla 20. Efecto de la concentración del extracto (residuo) en la elongación de raíz (ER), elongación de tallo (ET), porcentaje de germinación (%G), índice de germinación (IG) e índice de fitotoxicidad (IP).

muestra		ER	ET	%G	IG	IP
<b>PAJA</b>	T0	3.4 <sup>a</sup> ( $\pm 1.10$ )	3.6 <sup>a</sup> ( $\pm 0.88$ )	90 ( $\pm 6.12$ )	-	-
	1:25	0.5 <sup>b</sup> ( $\pm 0.38$ )	1.5 <sup>c</sup> ( $\pm 0.93$ )	68 ( $\pm 28.17$ )	10.2	-85
	1:40	0.06 <sup>c</sup> ( $\pm 0.48$ )	2.1 <sup>b</sup> ( $\pm 1.23$ )	84 ( $\pm 10.83$ )	20.6	-76
	1:60	1.0 <sup>b</sup> ( $\pm 0.48$ )	2.9 <sup>a</sup> ( $\pm 1.23$ )	92 ( $\pm 7.58$ )	28.6	-69
<b>CASCARILLA</b>	T0	3.1 <sup>a</sup> ( $\pm 0.87$ )	2.9 <sup>a</sup> ( $\pm 0.59$ )	87 ( $\pm 4.47$ )	-	-
	1:25	1.7 <sup>b</sup> ( $\pm 0.64$ )	2.6 <sup>a</sup> ( $\pm 0.94$ )	88 ( $\pm 9.08$ )	50.5	-47
	1:40	1.3 <sup>ab</sup> ( $\pm 0.64$ )	2.2 <sup>a</sup> ( $\pm 0.96$ )	65 ( $\pm 9.35$ )	41	-57
	1:60	2.1 <sup>ab</sup> ( $\pm 0.92$ )	3.1 <sup>a</sup> ( $\pm 0.78$ )	87 ( $\pm 7.58$ )	60.3	-35
<b>TEZONTLE</b>	T0	1.85 <sup>a</sup> ( $\pm 0.79$ )	2.2 <sup>a</sup> ( $\pm 0.39$ )	94 ( $\pm 4.18$ )	-	-
	1:25	2.4 <sup>a</sup> ( $\pm 0.99$ )	2.23 <sup>a</sup> ( $\pm 0.53$ )	97 ( $\pm 2.74$ )	130.9	29.5
	1:40	2.42 <sup>a</sup> ( $\pm 1.03$ )	2.21 <sup>a</sup> ( $\pm 0.53$ )	92 ( $\pm 2.74$ )	102.1	30.8
	1:60	2.48 <sup>a</sup> ( $\pm 0.87$ )	2.12 <sup>a</sup> ( $\pm 0.52$ )	93 ( $\pm 5.70$ )	104.6	34

Este efecto se observa en la pendiente obtenida en la ecuación de crecimiento entre la relación raíz-tallo, Fig. 32, en donde se observa que para los residuos de cebada la pendiente de los tratamientos es menor con respecto al testigo, y entre los tratamientos disminuye con la concentración. Para cascarilla se tiene que las pendientes siguen la siguiente efecto  $T1 (0.420)=T2 (0.429)<T3(0.46)<T0(0.93)$ , y estadísticamente se encontró evidencia estadística que corrobora lo observado en las pendientes (Tabla 20).

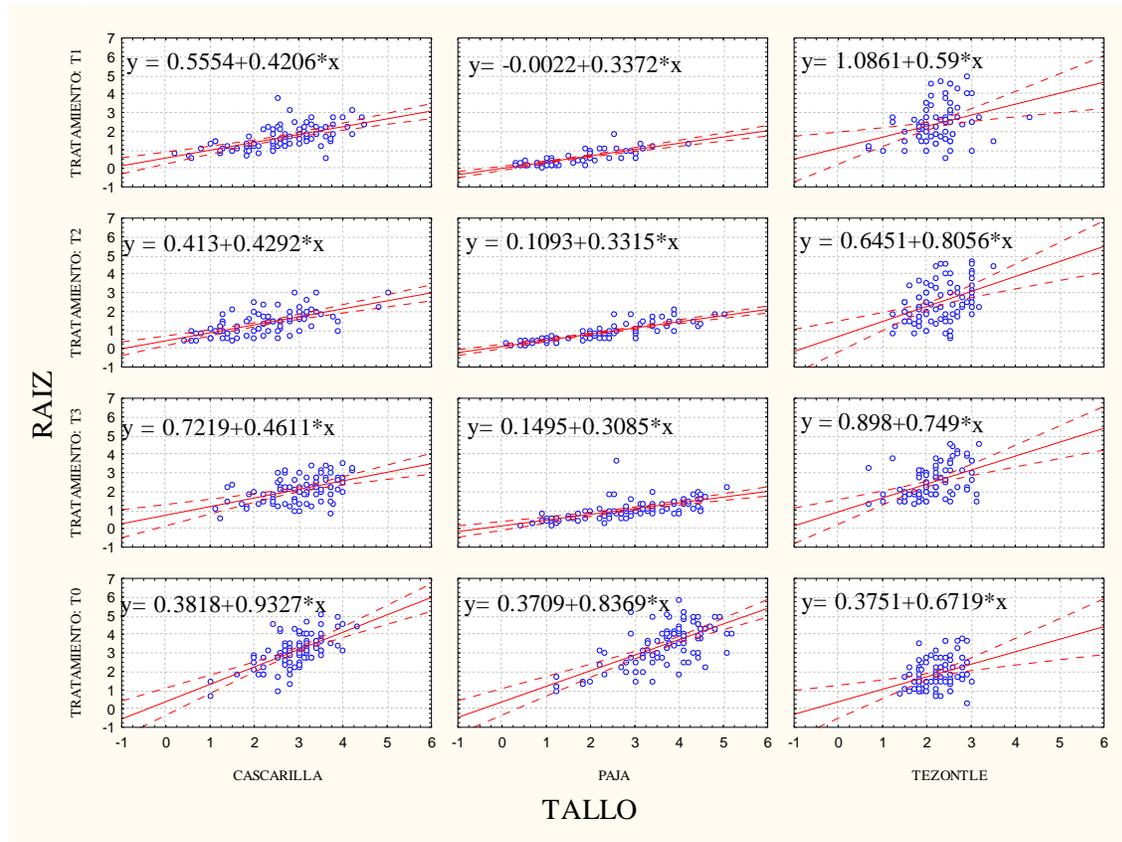


Figura 32. Ecuación de crecimiento de las plántulas de lechuga en el ensayo de fitotoxicidad ante tres concentraciones (residuo-solución) de los residuos de cebada (paja y cascarilla) y tezontle.

#### 6.2.2.2. EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE NUTRIENTES DE PLÁNTULAS DE LECHUGA Y CILANTRO PARA SU USO EN SISTEMAS ACUAPÓNICOS

Las plántulas de lechuga presentaron un porcentaje de remoción de 50 % ( $\pm 10.59$ ), una remoción per cápita de 0.088 ( $\pm 0.02$ ) mg/l/semana y una sobrevivencia de 73.3 % ( $\pm 2.52$ ). Las plántulas de espinaca presentaron un porcentaje de remoción de 25.71 ( $\pm 6.07$ ), remoción per cápita de 0.063 ( $\pm 0.02$ ) mg/l/semana y una sobrevivencia de 53.33 % ( $\pm 2.08$ ) (Fig. 33).

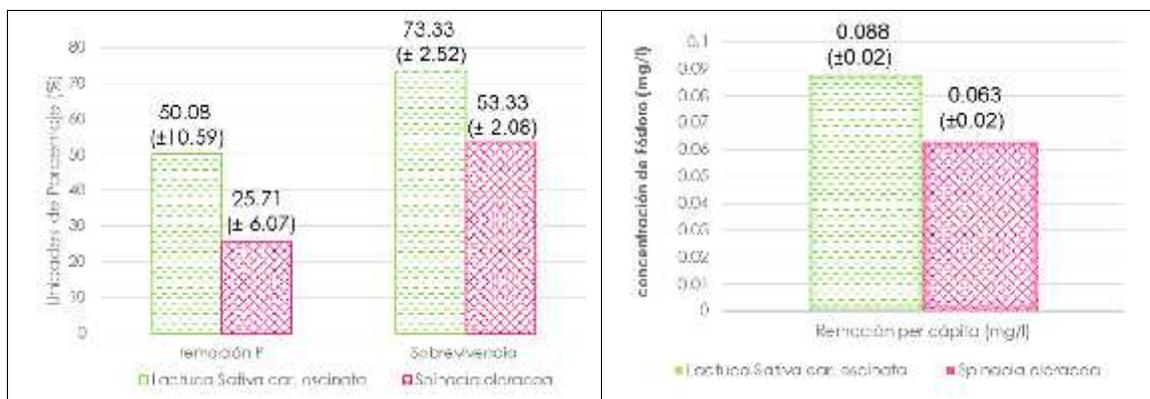


Figura 33. Eficiencia de remoción de Fósforo y sobrevivencia, observada en el ensayo de remoción en plántulas de Lechuga (*Lactuca sativa oscarinata*) y Espinaca (*Spinacia oleracea*)

### 6.2.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los sustratos son un factor clave para la producción de hortalizas, plántulas, flores en invernadero y sistemas de producción de cultivos sin suelo, debido a que condiciona el potencial productivo de las plantas, pues constituyen el medio en el que se desarrollarán las raíces (Pire y Pereira 2003, Pastor 2009, Vargas-Tapia et al, 2008).

La importancia del conocer las características de un sustrato, se debe a que este, es un sistema de tres fracciones cada una con una función propia: la fracción sólida asegura el mantenimiento mecánico del sistema radicular y la estabilidad de la planta, la fracción líquida aporta a la planta el agua y por interacción con la fracción sólida los nutrientes necesarios, por último, la fracción gaseosa asegura las transferencias de oxígeno y dióxido de carbono del entorno radicular (Masaguer y López-Cuadrado, 2006). De las características físicas y químicas del sustrato depende el manejo del riego y la fertilización (Burés 1998), mientras que en la caracterización biológica se evalúa la estabilidad del material y la liberación de elementos o sustancias que pudieran afectar al cultivo (Vargas Tapia et al., 2008, Lemaire et al., 2003). Los resultados muestran que las características físicas obtenidas de los residuos, están dentro de los parámetros recomendados para ser empleados como sustratos (Pire y Pereira 2003, Vargas Tapia 2008, Burés 1998, Cid 1993), por lo cual pueden ser opciones para usar dentro de la agricultura y sistemas integrados.

Sin embargo la caracterización biológica mostró que los residuos presentan un efecto tóxico en el índice de germinación, en el desarrollo de las plántulas, el cual se hizo evidente en la elongación de la raíz y tallo, afectando la ecuación del crecimiento. Esto se debe a que las pajas y residuos de cereales presentan liberación de sustancias que causan toxicidad y/o inhibición de la germinación (Muratalla-Lúa et al., 2006). Los compuestos responsables de esto se forman a partir de la degradación de la lignina e hidrólisis de los taninos localizados en el rastrojo presente (Lemaire et al., 2002). Hay estudios que reportan como responsables de estos desórdenes fisiológicos a los ácidos fenólicos, entre ellos: p-hidroxibenzoico, ferúlico y p-coumárico (Putman, 1994). Debido a lo anterior, los residuos antes de ser empleados deben de pasar por un proceso de adecuación, que ayude a reducir el efecto.

En cuanto a los estudios de remoción, existen reportes que demuestran el potencial fitoremediador de plantas de lechuga. Gloger *et al.*, (1995) reporta el 23% de remoción de PO<sub>4</sub>, Adler *et al.*, (2003) muestra que la variedad *oscinata* remueve el 98% P y Sikawa & Yakupitiyage (2010) reportan 32% de remoción de PO<sub>4</sub>. Los datos obtenidos experimentalmente entran dentro de los rangos de remoción

reportados para lechuga, y las diferencias radican en la variedad de lechuga que se maneje ya que los requerimientos nutricionales son diferentes. Sin embargo en los estudios referenciados no se encuentran reportadas las variedades empleadas, solo Adler et al., (2003) hace referencia y es la variedad que manejo en este estudio. Para Espinaca no se tienen reportes. La remoción obtenida se encuentra por debajo de lo reportado por Adler et al., (2003), esto se debe por un lado a la concentración de plántulas empleadas, en este estudio se emplearon 10 y en el trabajo citado 15; y la sobrevivencia la cual es menor en este trabajo 73% y el trabajo citado 95%.

## 7. CONCLUSIÓN

La actividad piscícola que se desarrolla en el estado de Hidalgo, se efectúa en zonas de Alta a muy alta marginación, siendo una fuente de alimentos para la población rural (acuacultura de autoconsumo). La principal especie de cultivo es Tilapia (*Oreochromis* sp.) debido a los bajos requerimientos de cultivo de la especie.

La actividad acuícola representa potencial de crecimiento en el estado, sin embargo este no se generara hasta que se identifiquen e implementen estrategias que permitan un crecimiento lo más cercano a parámetros de sustentabilidad. Debido a que gran parte de la actividad se genera en zonas de marginación y pobreza, se recomienda la implementación de un plan de regularización ambiental incluyendo de factor social y no permisivo.

El estudio realizado permite concluir que existe un desempeño ambiental no satisfactorio, debido al incumplimiento de los requisitos de establecimiento y operación de las unidades de producción acuícola. Este incumplimiento se genera, debido a que en el Estado 50% de los municipios donde se realiza la actividad son de alta-muy alta marginación, y a que la gobernanza que aplica no se encuentra dirigida a esta parte de la población. Por lo cual existe la necesidad de establecer una Ley general del Pesca y Acuacultura del Estado de Hidalgo, que contemple los aspectos sociales y ambientales específicos de las zonas donde se efectúa la actividad. Generando las bases para un plan de regularización efectivo, que contemple la parte social (marginación y pobreza) como un eje de acción para lograr los objetivos de regularización ambiental.

La problemática que se genera entorno a la actividad acuícola se debe a la unión de factores políticos, sociales y ambientales; ya que la mayor parte de la actividad se desarrolla en zonas rurales, existiendo una carencia de flujo de información hacia el sector productivo y una desarticulación de los sectores implicados. La actividad representa un impacto negativo en los cuerpos receptores, particularmente en donde la producción sea mayor a 10 t/año, o en aquellos donde descarguen más de una unidad de acuícola y se alcance esta producción; sin embargo hay que considerar el cuerpo de agua receptor ya que en lagunas se puede dar mayor deterioro de la calidad comparado con ríos y arroyos, debido al proceso de autorregulación natural de dichos sistemas.

El monitoreo de efluentes muestra que el contenido de sólidos suspendidos están fuera de los límites permisibles por la normatividad mexicana, y la concentración de fósforo y nitrógeno se encuentran dentro de la misma. Se evidencia un potencial de impacto de la actividad por el vertido de P y N, a los cuerpos receptores, lo anterior ya que en medio natural el aumento en 1 mg de P se genera un proceso de eutrofización. En base a revisiones bibliográficas y lo obtenido en este estudio, se realiza la observación que la normativa vigente mexicana es muy permisible en las descargas.

De forma cotidiana, la acuicultura de autoconsumo y en zonas rurales, implica la descarga directa de efluentes en cuerpos de agua receptores, generando así un aporte de nutrientes y posteriormente problemas de eutrofización. Hay que destacar, que en muchas regiones dichos cuerpos de agua, representan fuentes de abastecimiento de este recurso para las comunidades cercanas. La acuaponía se presenta como una alternativa viable, para la prevención de contaminación en zonas rurales, integrada en sistemas de paso. Se ha reportado que los sistemas acuapónicos son eficientes mejorando la calidad del efluente al remover hasta un 90% de SST, NC y formas de P. La mejora de calidad de agua por los sistemas acuapónicos se debe en parte al biofilm que se genera en el medio de soporte y en las raíces; al desarrollo adecuado de las raíces ya que forman un tapete y al aumento de la eficiencia de absorción de nutrientes con la madurez del cultivo. Sin embargo, esto depende de la planta, soporte y tiempos de residencia hidráulica que se empleen. La mayoría de los estudios

reporta el uso de variedades de lechuga, hortalizas y hierbas de olor. Se resalta la importancia del conocimiento de la biología básica de las plantas, para poder ser adaptadas a estos sistemas. Características a considerar, son los requerimientos nutricionales y la capacidad de absorción de nutrientes. Así como las necesidades del área donde se establezcan los sistemas, buscando generar productos de demanda local, sean hortalizas, forrajes o flor de corte. Los tratamientos convencionales de los efluentes de la acuicultura, representa un significativo costo adicional; de esta forma la acuaponía se convierte en una alternativa de tratamiento más económica y rentable. Sin embargo, la técnica de la acuaponía aún requiere de una mayor investigación para establecer procedimientos más accesibles a los pequeños productores acuícolas.

Los sustratos son un factor clave para la producción de hortalizas, plántulas, flores en invernadero y sistemas de producción de cultivos sin suelo, debido a que condiciona el potencial productivo de las plantas, pues constituyen el medio en el que se desarrollarán las raíces (Pire y Pereira 2003, Pastor 2009, Vargas-Tapia et al, 2008).

Los resultados muestran que las características físicas obtenidas de los residuos, están dentro de los parámetros recomendados para ser empleados como sustratos (Pire y Pereira 2003, Vargas Tapia 2008, Burés 1998, Cid 1993), por lo cual pueden ser opciones para usar dentro de la agricultura y sistemas integrados. Sin embargo, presenta un efecto tóxico en el índice de germinación, en el desarrollo de las plántulas, el cual se hizo evidente en la elongación de la raíz y tallo. Debido a lo anterior, los residuos antes de ser empleados deben de pasar por un proceso de adecuación, que ayude a reducir el efecto. En cuanto a los estudios de remoción, existen reportes que demuestran el potencial fitoremediador de plantas de lechuga (Gloger *et al.*, 1995, Sikawa & Yakupitiyage, 2010), la remoción obtenida se encuentra por debajo de lo reportado, esto se debe por un lado a la concentración de plántulas empleadas, en este estudio y la sobrevivencia, por lo cual se recomienda seguir con las investigaciones en esta línea para tener propuestas de plantas a usar en este tipo de sistemas integrados.

## 8. LITERATURA CITADA

Álvarez T.P. (1996). Análisis de la problemática de la producción e investigación acuícola en aguas continentales en México. En: II Reunión de la Red Nacional de Investigadores para Acuicultura en Aguas Continentales (REDACUI). Pátzcuaro, Mich. Instituto Nacional de la Pesca.

Antony S.P. y R. Philip. 2006. Bioremediation in Shrimp Culture Systems. NAGA, WorldFish Center Quarterly. 29 (3), 66-69.

Avnimelech Y. 2006. Bio-filters: The need for an new comprehensive approach.. Aquacultural Engineering. 34, 172–178.

Baixauli Soria C. y J. M. Aguilar Olivert. 2002. Cultivo sin Suelo de Hortalizas: Aspectos Prácticos y Experiencias. Serie divulgación técnica. VALENCIANA ed., 110p.

Banerjee S., Khatoon H., Shariff M. y F. Yusoff. 2010. Enhancement of *Penaeus monodon* shrimp postlarvae growth and survival without water exchange using marine *Bacillus pumilus* and periphytic microalgae. Fisheries Science. 76, 481–487.

Barón-Sevilla B., Bückle-Ramírez L. y M. Hernández-Rodríguez.. 2004. Intensive culture of *Litopenaeus vannamei* Bonne 1931, in recirculating system. Ciencias Marinas. 30 (1), 179-188.

Bender J. y P. Phillips. 2004. Review Paper: Microbial mats for multiple applications in aquaculture and bioremediation. Bioresource Technology. 94, 229–238.

Bergheim A., y Asgard T. (1996). Waste production from aquaculture. In: “Aquaculture and Water Resource Management”. Baird D.J., Beveridge M.C.M., Kelly L.A., Muir J.F. (eds). 50-80. Blackwell Science, Oxford, UK.

Blok, C. y M. Urrestarazu. 2010. Fertirrigación e hidroponía. Horticultura Global. 50-55.

Bureau D.P., Gunther S.J., y Cho C.Y. (2003). Chemical composition and preliminary theoretical estimates of waste outputs of rainbow trout reared in commercial cage culture in Ontario, North American. Journal of Aquaculture. 65,33-38.

Burés S. 1998. Introducción a los sustratos. Aspectos generales. In: Tecnología de Sustratos. Aplicación a la Producción Viverística Ornamental, Hortícola y Forestal. J N Pastor S (ed). Universitat de Lleida, España. 19-31.

Buschmann H. (2001). Impacto ambiental de la acuicultura: el estado de la investigación en Chile y el mundo, un análisis bibliográfico de los avances y restricciones para una producción sustentable en los sistemas acuáticos. Terram Publicaciones, Santiago de Chile 67p.

Buschmann H. y Fortt A. (2005). Efectos ambientales de la acuicultura intensiva y alternativas para un desarrollo sustentable. Revista Ambiente y Desarrollo. 21(3), 58-64.

Cao L., Wang W., Yang Y., Yang C., Yuan Z., Xiong S. y Diana J. (2007). Environmental Impact of Aquaculture and Countermeasures to Aquaculture Pollution in China. Environmental Science Pollution Research. 14 (7), 452 – 462

Carta Acuícola Nacional. (2011). Secretaría De Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Diario Oficial de la Federación el lunes 31 de enero de 2011.

Carta acuícola y Pesquera del Estado de Hidalgo. (2010). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Hidalgo, México.

Certo, S. 2001. "Administración Moderna". 8ª ed. Colombia. Prentice Hall.

Cid Balarín, M. 1993. Materiales utilizados en la elaboración de sustratos. Agrícola Vergel. 141 (12). 492 - 501.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2013). Tramites De Concesiones Y Asignaciones De Aguas Nacionales. México. Consultado el 16 sep. 2013. México. Obtenido desde: <http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=5&n2=101&n3=302&n4=302>

CONAPESCA (Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca) y SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2011). "El Sector Pesquero y Acuícola: Logros 2007 a 2010". México. P. Obtenido desde: <http://www.gbcbiotech.com/genomicaypesca/documentos/industria/SAGARPA%20El%20Sector%20pesquero%20y%20acuicola%20Logros%202007%202011.pdf>

CONAPO (Consejo Nacional de Población). (2012). Anexo A: Índice de marginación por entidad federativa, 2010. Consultado: 13 sep. 2013. Obtenido desde: [http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indices\\_de\\_Marginacion\\_2010\\_por\\_entidad\\_federativa\\_y\\_municipio](http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indices_de_Marginacion_2010_por_entidad_federativa_y_municipio)

CONAPO (Consejo Nacional de Población). (2012). Índices de marginación 2010. Consejo nacional de población. <http://www.conapo.gob.mx>

CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social). (2012). Resultados de pobreza a nivel nacional y por entidades federativas 2010-2012. Consultado: 13 de sep. 2013. Obtenido desde <http://www.coneval.gob.mx/medicion/Paginas/Medici%C3%B3n/Pobreza%202012/Pobreza-2012.aspx>

CONEVAL. (2012). Índices de pobreza alimentaria 2010. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. Obtenido desde <http://www.coneval.gob.mx>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2010). "El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2010". Consultado: 13 sep. 2013. Obtenido desde: <http://www.fao.org/docrep/013/i1820s/i1820s.pdf>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2008). Hacia una mejor gobernanza en materia de acuicultura, 4ta reunión, subcomité de acuicultura; Puerto Varas Chile, octubre 6-10 2008. Consultado el 10 sep. 2013. Obtenido desde: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/meeting/014/k2845s.pdf>

FAO. (2006). “Visión general del sector acuícola nacional – México”. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

García-Diez, C., Remiro, J., Ojeda, J., Simard, F. y Simoes, S. (2011). Aproximación a la sostenibilidad acuícola del Mediterráneo mediante el uso de indicadores. *AquaTIC*. 35: 1-8. Consultado: 13 sep. 2013. Obtenido desde: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49422869001>

Ghaly A., Kamal M., y Mahmoud N. (2005). Phytoremediation of aquaculture wastewater for water recycling and production of fish feed. *Environment International*. 3, 1-13.

Gobierno del Estado de Hidalgo (PED). (2011). Plan Estatal de Desarrollo 2011-2016. Consultado el 13 de sep. 2013. Obtenido desde: <http://seplader.hidalgo.gob.mx/PED/documentos/PLAN%20ESTATAL%20DE%20DESARROLL%20O.pdf>

Jover Cerdá M. (2000). Estimación del Crecimiento, Tasa de Alimentación y Producción de Desechos en Piscicultura mediante un Modelo Bioenergético. *Revista AquaTIC*, nº 9. [Disponible el 21/09/2015 en URL: <http://www.revistaaquatic.com/aquatic/art.asp?t=&c=82>]

Juárez-Palacios, R.R. (1987). La acuicultura en México, importancia social y económica. En: *Desarrollo pesquero mexicano 1986-1987*. Secretaría de Pesca. México. 11, 219-232.

Kestemont P. (1995). Different systems of carp production and their impacts on the environment. *Aquaculture*. 129, 347-372

Lemaire, F., A. Fatigues, L. M. Revière, S. Charpentier y P. Morel. 2003. *Cultures en Post et conteneurs, Principes Agronomiques at Applications*. 2a ed. INRA. Paris. 210.

Ley de Aguas Nacionales. (1992). Diario Oficial de la Federación (DOF), última reforma publicada 07-06-2013. Consultado: 13 sep. 2013. Obtenido desde: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16.pdf>

Ley Federal De Derechos (2010). Título segundo, Capítulo VIII. Diario Oficial de la Federación (DOF). Consultado: 13 sep. 2013. Obtenido desde: [http://www.agua.org.mx/h2o/index.php?option=com\\_content&view=article&id=14373:ley-federal-de-derechos-2010&catid=1184:leyes-federales&Itemid=100117](http://www.agua.org.mx/h2o/index.php?option=com_content&view=article&id=14373:ley-federal-de-derechos-2010&catid=1184:leyes-federales&Itemid=100117)

Ley General de Acuicultura y Pesca Sustentables. (2007). Diario Oficial de la Federación (DOF), última reforma publicada DOF 07-06-2012. Consultado: 13 sep. 2013. Obtenido desde: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPAS.pdf>

Ley General Del Equilibrio Ecológico y La Protección al Ambiente. (1988). Diario Oficial de la Federación (DOF), última reforma publicada DOF 07-06-2013. Consultado: 13 sep. 2013. Obtenido desde: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148.pdf>

Lezama-Cervantes C. y J. Paniagua-Michel. 2010. Effects of constructed microbial mats on water quality and performance of *Litopenaeus vannamei* post-larvae. *Aquacultural Engineering*. 42, 75–81.

Lezama-Cervantes C., Paniagua-Michel, J., y J. Zamora-Castro. 2010. Biorremediación de los efluentes de cultivo del camarón *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) utilizando tapetes microbianos en un sistema de recirculación. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 38(1), 129-141.

Lopes-Thompson F., Abreu, P. y W. Wasielesky. 2002. Importance of biofilm for water quality and nourishment in intensive shrimp cultura. *Aquaculture*. 203, 263–278.

Magallón-Barajas, F. J., Villarreal-Colmenares, H., Arcos-Ortega, F., Avilés-Quevedo, S., Civera-Cerecedo, R., Cruz-Hernández, P., González-Becerril, A., Gracia-López, V., Hernández-Llamas, A., Hernández-López, J., Ibarra-Humphries, A. M., Lechuga-Deveze, C., Mazón-Suáztegui, J. M., Muhlia-Melo, A. F., Naranjo-Páramo, J., Pérez-Enríquez, R., Porchas-Cornejo, Portillo-Clark, G. y Pérez-Urbiola, J. C. 2007. Orientaciones estratégicas para el desarrollo sustentable de la acuicultura en México. Publicaciones especiales del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. Cámara de Diputados. LX Legislatura. 256 p.

Mariano M., Huaman P., Mayta E., Montoya H., y Chanco M. (2010). Contaminación producida por piscicultura intensiva en lagunas andinas de Junín, Perú. *Revista peruana de Biología*. 17(1), 137-140.

Marinho-Soriano E., Azevedo C., Trigueiro T.G., Pereira D.C., Carneiro M.A.A. y M.R. Cámara. (2001). Bioremediation of aquaculture wastewater using macroalgae and *Artemia*. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 65, 253-257.

Marinho-Soriano E., Nunesa O., Carneiroa M., y Pereiraa D.C. (2009-a). Nutrients' removal from aquaculture wastewater using the macroalgae *Gracilaria birdiae*. *Biomass and Bioenergy*. 33, 327-331.

Marinho-Soriano E., Panuccia R., Carneiroa M. and D.C. Pereiraa. (2009-b). Evaluation of *Gracilaria caudata* J. Agardh for bioremediation of nutrients from shrimp farming wastewater. *Bioresource Technology*. 100, 6192-6198.

Martínez Córdova L., Martínez Porchas R. y E. Cortés-Jacinto. (2009). Camaronicultura mexicana y mundial: ¿actividad sustentable o Industria contaminante?. *Revista internacional de contaminación ambiental*. 25(3), 181-196.

Martínez-Córdova L., López-Elías J., Martínez-Porchas M., Bernal-Jaspeado T. y A. Miranda-Baeza. 2011. Studies on the bioremediation capacity of the adult black clam, *Chione fluctifraga*, of shrimp culture effluents. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 46(1), 105-113.

Masaguer A. y M. C. López-Cuadrado. 2006. Sustratos para viveros. *Revista Extra*. 2006, 44-50.

Miranda A., Voltolina D., Osuna -López I., I. Sandoval y G. Izaguirre-Fierro. 2009. Removal of suspended solids from the effluents of a shrimp farm by the Blood Ark *Anadara tuberculosa* (Sowerby, 1833). *Hidrobiológica*. 19 (2), 173-176.

Mora G., Villareal-Delgado E., Arredondo-Figueroa J., Ponce-Palafox J. e I. Barriga-Sosa. 2003. Evaluation of some water quality parameters in a closed aquaculture recirculating-water system, submitted to different loads of fish. *Hidrobiológica*. 13 (4), 247-253.

Muratalla-Lúa, S.; Rodríguez-Mendoza, M.N.; Sánchez-García, P.; Tijerina-Chávez, L.; Santizo-Rincón, J.A.; López-Jiménez, A. 2006. Paja de maíz como sustrato en el crecimiento de plántulas de jitomate. *TERRA Latinoamericana*. 24 (3). 319-325.

Norma Oficial Mexicana. NOM-001-SEMARNAT-1996. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario oficial de la federación el 23 de abril de 2003.

NOTIMEX. (2011, Marzo 22). La acuicultura, el sector con más crecimiento en la producción pesquera en México. *Panorama Acuícola Magazine*. Consultado: 13 sep. 2013. Obtenido desde: [http://www.panoramaacuicola.com/noticias/2011/03/22/la\\_acuicultura\\_el\\_sector\\_con\\_mas\\_crecimiento\\_en\\_la\\_produccion\\_pesquera\\_en\\_mexico.html](http://www.panoramaacuicola.com/noticias/2011/03/22/la_acuicultura_el_sector_con_mas_crecimiento_en_la_produccion_pesquera_en_mexico.html)

Pardo S., Suárez H., Soriano E. (2006). Tratamiento de efluentes: una vía para la acuicultura responsable. *Revista MVZ Córdoba*. 11(1), 20-29.

Pardo S., Suárez, H., Jardim-Manso, P., y Soriano-Sierra E. (2005). Diseño de una herramienta de evaluación del desempeño ambiental en las granjas piscícolas. *MVZ-Córdoba*. 10(2): 602-613.

Pastor Sáez, J. 2009. Utilización de sustratos en viveros. *TERRA Latinoamericana*, 17 (3). 231-235.

Pire, R. y A. Pereira. 2003. Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela. *Propuesta metodológica. Bioagro*. 15(1), 55-63.

Ponce-Palafox J., Romero Cruz O., Castillo Vargasmachuca S., Arteaga Nochebuena P., Ulloa-García M., González Sala R., Febrero Toussaint I., y Esparza Lea H. (2006). El desarrollo sostenible de la acuicultura en América Latina. *Revista electrónica de Veterinaria*. 7(7), 1-16.

Putman, A. R. Phytotoxicity of plant residues. 1994. In: Unger, P. W. (ed.). *Managing agricultural residues*. Agricultural Research Service. Lewis Publications. Phoenix, AZ, USA. 285-314.

Ramos R., Vinatea L. y R. Costa. 2008. Tratamiento de efluentes del cultivo de *Litopenaeus vannamei* por sedimentación y filtración por la ostra *Crassostrea rhizophorae*. *Latin american journal of aquatic research*. 36(2), 235-244.

Ramos R., Vinatea L., Santos J., R. Da Costa. 2010. Treatments of effluents from *Litopenaeus vannamei* shrimp cultures through sedimentation, filtration and absorption. *Latin american journal of aquatic research*. 38(2), 188-200.

Reglamento de la ley de aguas nacionales. (1994). Diario Oficial de la Federación (DOF), última reforma publicada 24-05-2011. Obtenido desde: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/fichaOrdenamiento.php?idArchivo=6036&ambito=FEDERAL&poder=ejecutivo>

Rosales Inzunza S., Acevedo Valerio V. (2011). La política acuícola: ¿Instrumento para el desarrollo regional?. *Investigación y Ciencia*. 52, 53-62

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2011). Resultados del estudio de Diagnóstico Sectorial en el Estado de Hidalgo 2010. Consultado el 18 sep. 2013. Obtenido desde: <http://www.sagarpa.gob.mx/Transparencia/Respuesta/Informe%20Final%20Diagnostico%20Sectorial%20Estado%20de%20Hidalgo.pdf>

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2013a). Base de datos anuarios estadísticos. México. Consultado: 13 sep. 2013. Obtenido desde: [http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/cona\\_anuario\\_estadistico\\_de\\_pesca](http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/cona_anuario_estadistico_de_pesca)

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2013b). Infografía Acuicultura 2011. México. Consultado: 13 sep. 2013. Obtenido desde: [http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/infografia\\_acuicultura\\_2011](http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/infografia_acuicultura_2011)

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2013c). Requisitos para el trámite de concesión para la acuicultura comercial. México. Consultado 13 sep. 2013. Obtenido desde: [http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/cona\\_requisitosa](http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/cona_requisitosa)

Sampeiro-Ruiz G. 2008. Hidroponía básica comercial. Ed. Diana. México. 153pp. 172pp

SEDAGRO (Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Gobierno del Estado de Hidalgo). & SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2010). Carta acuícola y Pesquera del Estado de Hidalgo. México. 70 p.

SEDAGRO (Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Gobierno del Estado de Hidalgo). (2012). Programas de Apoyo 2012. Consultado 11 de sep. 2013. México. Obtenido desde: <http://transparencia.hidalgo.gob.mx/descargables/dependencias/agricultura/14papoyo.pdf>

SIAP-SAGARPA (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2011). Panorama agroalimentario y pesquero 2011 de Hidalgo. México. Consultado el 18 sep. 2013. Obtenido desde: <http://www.siap.gob.mx/opt/flip/hidalgo/>

Sindilariu P. (2007). Reduction in effluent nutrient loads from flow-through facilities for trout production: a review. *Aquaculture Research*. 38, 1005–1036.

Sipaúba-Tavares, L. H., Fávero, E. G. P. y Braga, F. M. S. (2002). Utilization of macrophyte biofilter in effluent from aquaculture: I. Floating plant. *Brazilian Journal of Biology*. 62(4A), 713-723.

Sobrero, M.C. y A. Ronco. 2004. Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.). En: *Ensayos Toxicológicos y Métodos de Evaluación de Calidad de Aguas*, G. Castillo, Ed., Ottawa, Canadá. 71-79

Somer, M. (2009). Acuicultura Insostenible en Chile. *Revista electrónica de Veterinaria*. 10 (3), 1-23.

Vargas Tapia, P., Castellanos Ramos, J., Sánchez García, P., Tijerina Chávez, L., López Romero, R. y Ojo de agua Arredondo, L. 2008. Caracterización física, química y biológica de sustratos de polvo de coco. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 31(04), 375-381