

01621  
45

**Universidad Nacional  
Autónoma de México**

**Facultad de Medicina Veterinaria  
y  
Zootecnia**

**Sistemas de Cultivos Acuícolas en Jaulas**

**Tesina realizada junto con la  
Práctica Profesional Supervisada**

**Que presenta el**

**P. M. V. Z. Jorge Enrique Jiménez Rice**

Para obtener el título de  
Médico Veterinario Zootecnista

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**Asesora: Dra. Cristina Escalante Ochoa**

<sup>1</sup>  
2007



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **Dedicatoria**

**A mi abuela: la Sra. Natividad Delgadillo Daza Vda. de Rice, a quien le debo lo que soy. Mil gracias.**

**A mis excelentes profesores, a través de quienes he accedido al conocimiento, les guardo eterna gratitud y respeto.**

## **Agradecimientos**

**Al pueblo mexicano, es decir a todas las personas a quienes por su esfuerzo debo mi educación, a través de la cual espero retribuirles y resarcirles por esta importante oportunidad que me ha sido otorgada para servirles de todo corazón.**

**A mi tío, el Ing. Enrique Rice Delgadillo por su invaluable apoyo y colaboración, infaltable apoyo a lo largo de toda mi carrera**

**A mi excelente asesora, por su insuperable ayuda, inmenso apoyo e infinita paciencia.**

- **Hay dos maneras de aprender de otros. Una es la dogmática, que significa copiarlo todo, sea o no aplicable a las condiciones de nuestro país. Esta no es una buena actitud. La otra es hacer funcionar nuestras cabezas y aprender lo que se adapte a nuestras condiciones, es decir, asimilar cuanta experiencia nos sea útil. Esta es la actitud que debemos adoptar.**
  
- **En tiempos difíciles, debemos ver nuestros éxitos, ver nuestra brillante perspectiva y aumentar nuestro coraje.**
  
- **La complacencia es enemiga del estudio. Si queremos realmente aprender algo, debemos comenzar por deshacernos de la complacencia. Nuestra actitud hacia nosotros mismos debe ser aprender sin sentirnos jamás satisfechos, y hacia los demás, no cansarnos de enseñar.**

# **Contenido**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Resumen</b>   | <b>5</b>  |
| <b>Abstract</b>  | <b>6</b>  |
| <b>Antecedentes</b>                                    | <b>7</b>  |
| <b>Metodología</b>                                     | <b>11</b> |
| <b>Análisis de la información</b>                      | <b>12</b> |
| Inicio y planeación del sistema de cultivo             | 12        |
| Diseños de jaulas para cultivos acuícolas              | 15        |
| Manejo de los sistemas de cultivo acuícola en jaulas   | 20        |
| Impacto ambiental de los sistemas de cultivo en jaulas | 23        |
| <b>Discusión y conclusiones</b>                        | <b>25</b> |
| <b>Referencias</b>                                     | <b>29</b> |

## **Resumen**

**A través de la realización de la Práctica Profesional Supervisada (PPS), desarrollada en la Universidad de la Isla del Principe Eduardo en Canadá, durante los meses de junio a octubre del año de 1998, se investigó sobre los sistemas de cultivos acuicolas en jaulas, con el propósito de establecer una referencia bibliográfica de apoyo para el desarrollo de cultivos de organismos acuáticos que pudieran tener lugar en un cuerpo de agua útil en México. Se consideraron principalmente los aspectos de la planeación para el establecimiento de los sistemas de cultivo, el diseño de los confinamientos, los adelantos tecnológicos para el manejo operativo de los sistemas, así como los tópicos sobre el impacto ecológico provocado por esta forma de acuicultura y la posible minimización del perjuicio al ambiente. La información fue recopilada a través de los sistemas bibliotecarios y electrónicos disponibles en la Universidad de la Isla del Principe Eduardo y en el Centro Regional de Investigación Pesquera de La Paz Baja California Sur, varias prácticas de campo y la consulta directa a expertos en estos sistemas de acuicultura. Se incluyeron, así mismo los avances en el tema que han ocurrido posteriormente a la PPS. Finalmente se concluyó que para una exitosa implantación de sistemas de cultivo en jaulas, es preciso considerar un adecuado análisis de la planeación y manejo del sistema de cultivo acuicola para que, con la toma de decisiones adecuadas, tales sistemas operen de una forma sustentable en el ámbito ecológico y económico.**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## **Abstract**

Through the Supervised Professional Practice (PPS) carried out at the University of Prince Edward Island, Canada from June to October of 1998, cage aquaculture was investigated with the purpose of establishing a bibliographical reference of support for the development of aquatic cultures that could take place in a useful water body in Mexico. The main considered aspects were the planning for the establishment of the culture systems, the design of the cages, the technological advances for the management, and the topics on the ecological impact caused by this aquaculture form, as well as the possible minimization of damage to the environment. The information was gathered from the libraries of the University of Prince Edward Island, and the Regional Center of Fisheries Investigation in La Paz Baja California Sur, several field practices and by direct contact with experts in these systems. Advances on this area were also included up to date. It is concluded that for a success in cage aquaculture systems, is necessary to consider an appropriate analysis of the planning and management of the system itself, which will lead to operate in a sustainable way in both, the ecological and economic environment.

## **Antecedentes**

La acuicultura ha consolidado su posición como un importante medio de producción de alimentos, fuentes de empleo e ingresos económicos, así lo ha estipulado la Organización de las Naciones Unidas, a través de la Food and Agriculture Organization (FAO). En la actualidad se continúa incrementando la producción acuícola, habiéndose observado en los últimos años una notable expansión en el cultivo de especies acuícolas basado en sistemas de jaulas. Por lo anterior, se ha tornado cada vez más necesario el ampliar la investigación sobre la planeación, manejo e impacto ecológico de estos sistemas de cultivo <sup>1</sup>.

La producción acuícola, además de ser una oportunidad industrial, posee un aspecto social, ya que es una forma de mejorar los medios de subsistencia de la población, muchos gobiernos y organismos de desarrollo reconocen la importancia de este sector en la región económica de Asia. Por ejemplo en Nepal, pescadores pobres son productores y propietarios de jaulas de peces, por otra parte en China se está produciendo una notable expansión e intensificación de la acuicultura en jaulas. No obstante lo anterior, la contribución de la acuicultura al desarrollo económico aún es desigual, lo que indica que existe todavía un notable potencial no aprovechado <sup>1</sup>.

La acuicultura se define como el desarrollo de especies susceptibles de cultivo en entornos acuáticos y también ha sido definida como la contraparte acuática de la agricultura. El cultivo en jaulas se define como el desarrollo de especies acuícolas confinadas dentro de una estructura de redes que pueda ser mantenida como confinamiento dentro de cuerpos de agua, por ejemplo ríos, bahías, lagos y presas. Este desarrollo puede abarcar todo el ciclo de vida de la especie, o únicamente el final del ciclo hasta que sea lograda la talla o peso comercial <sup>2</sup>.



Actualmente, la acuicultura en jaulas representa un papel importante en la producción acuícola mundial, teniendo una presencia considerable en diversos países tales como China, Canadá, Estados Unidos de América, Bolivia, Chile, Nigeria, y Suecia. Así, por ejemplo, el cultivo en jaulas del salmón del Atlántico (*Salmo salar*) ha llegado a ser una industria exitosa en las costas de Nova Scotia y en el sudoeste de New Brunswick 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

En México, existe la necesidad de cubrir las necesidades nutricionales y económicas de la población; no obstante, la producción acuícola en jaulas ha sido llevada a cabo de forma principalmente experimental y secundariamente comercial. Por ejemplo, la producción acuícola a través de jaulas con pargos y róbalos, ha sido llevada a cabo con un relativo éxito. Recientemente destaca la aportación de la Universidad Nacional Autónoma de México, la cual a través de un proyecto extramuros de la Facultad de Ciencias, procura incrementar la producción de camarón en Ciudad del Carmen y Campeche. Considerando que en el país contamos con una gran variedad de especies acuícolas, cuerpos de agua y miles de kilómetros de litorales que pudieran ser aprovechados en su potencial productivo para ayudar a las comunidades. Surge entonces la ineludible responsabilidad de investigar para el desarrollo de la producción acuícola en jaulas 10, 11.

Para el perfeccionamiento de la producción acuícola se necesita analizar el proceso administrativo, ya que éste fundamenta el desarrollo de la empresa acuícola, dada la necesidad de un adecuado análisis del proceso productivo, se ha determinado que la correcta operatividad del sistema de cultivo en jaulas y la consiguiente sustentabilidad del mismo se basa en gran parte en la adecuada planeación estratégica. A través de la cual se elige la estructuración y el diseño de la jaula, así mismo, debe considerarse que la buena salud y el crecimiento de los peces requieren de condiciones estables en la forma y volumen del confinamiento y que el mínimo movimiento del mismo significará en un menor desgaste en los componentes físicos de la jaula 2, 12.

**En el ámbito administrativo de operación y manejo del sistema, se ha determinado que el correcto manejo de los equipos y las actividades de rutina comprende un conjunto encaminado a sostener una productividad adecuada para minimizar pérdidas y maximizar el aprovechamiento de los recursos. Para la operatividad de los sistemas de cultivo se han desarrollado infinidad de sistemas de apoyo que facilitan las labores rutinarias en los cultivos. Estos sistemas pueden incluir equipos sumamente avanzados y eficientes para la medición de parámetros físicos y químicos del agua, sistemas de alimentación automatizada, sistemas para la observación de la biomasa del cultivo o contadores de peces para la cosecha, medidores de frecuencia y fuerza del oleaje, ahuyentadores de depredadores, software de administración y control del equipo, por citar algunos ejemplos de tecnología de punta para el manejo de los cultivos en jaulas 2, 13, 14.**

**El potencial de impacto ambiental provocado por los sistemas de cultivo en jaulas es un importante rubro a examinar, ya que incide directamente en la sustentabilidad de la forma de producción. La acuicultura en jaulas, igual que muchas otras actividades productivas usa y transforma los recursos en bienes valiosos y produce desechos. Por regla general, los sistemas de producción acuícola en jaulas se han enfocado básicamente en la constante salida de recursos energéticos, a través de la obtención y comercialización de un producto final con un alto valor nutricional, no obstante la nula consideración del impacto ambiental provocado por los desechos generados del sistema, por ejemplo los restos de alimento no consumido que quedan suspendidos o se depositan en el fondo del agua inmediato al cultivo. Es así que a través de este forma de producción han venido sucediéndose consecuencias ambientales seriamente nocivas como las que a continuación se mencionan.2, 15, 16.**

**Cuando el agua o el bentos llegan a ser contaminados por el exceso de algún compuesto, como por ejemplo el Amonio, o se provocan bajas concentraciones de oxígeno disuelto, se puede llevar a los peces a un estado de tensión que puede provocarles un lento crecimiento, ocasionar mortalidad elevada e inclusive inducir desde la irremediable pérdida del ecosistema aledeño, por ejemplo un arrecife de corales; o hasta la desaparición de las especies acuáticas integrantes del nicho ecológico 17, 18, 19, 20, 21, 22.**

**El escape de los peces durante el periodo de cultivo también se ha estudiado, a sabiendas que éste se constituye como un importante riesgo de impacto al ecosistema por la introducción de elementos bióticos extraños y que pudieran competir contra la fauna originaria del mismo nicho ecológico 23.**

**En el intento de minimizar el impacto ecológico, se han desarrollado métodos alternativos de cultivo, tales como los cultivos conjuntos de especies ecológicamente complementarias que combinando el cultivo de peces, algas marinas y moluscos procuran emular los propios ecosistemas 24, 25, 26, 27, 28.**

**El propósito de este trabajo es proveer una referencia bibliográfica que sea útil para el establecimiento de un sistema de cultivo acuícola en jaulas que pueda ser sustentable tanto en el ámbito económico como en el ecológico. Para este fin se presentan los sistemas de cultivos acuícolas en jaulas observados durante la realización de la PPS en Canadá, se señalan los sistemas de cultivos acuícolas en jaulas observados en México, mencionando los adelantos tecnológicos desarrollados posteriormente a la realización de la PPS.**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## **Metodología**

Para la realización del presente trabajo, se investigó inicialmente la operatividad, tecnología e impacto ambiental del desarrollo de los sistemas de cultivo en jaulas, entendido como el conjunto de equipo, técnicas, procedimientos, recursos biológicos, financieros y humanos que tengan como objetivo la obtención de un producto final mediante la utilización programada de los recursos, durante los meses de junio a octubre del año de 1998. Con este objetivo se realizaron las siguientes actividades: Consulta bibliográfica en la Biblioteca de la University of Prince Edward Island (UPEI) y a través de internet, realización de prácticas de campo en instalaciones de la UPEI, visita a una empresa de cultivos en jaulas en Nova Scotia y asistencia a conferencias sobre el tema en la Feria de Acuicultura del Atlántico realizada en New Brunswick, Canadá en junio de 1998. Posteriormente, con el fin de observar e investigar el desarrollo de los cultivos marinos en jaulas en México, se acudió a La Paz, Baja California Sur en donde se consultó a expertos en los sistemas de cultivo y se efectuaron prácticas de campo en las principales instalaciones productivas y de investigación del Centro Regional de Investigación Pesquera (CRIP) de La Paz. Así mismo, se efectuó una visita a los centros productivos de trucha en el lago Titicaca en el altiplano de Bolivia.

Finalmente, con el propósito de ubicar el estado actual de la producción acuícola y los adelantos tecnológicos que conciernen a los sistemas de cultivo en jaulas, se investigó en medios electrónicos y hemerográficos sobre los avances ocurridos desde 1998 hasta el 2002. Esta información se encuentra inserta a lo largo del trabajo posterior a la PPS.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **Análisis de la información**

### **Inicio y planeación del sistema de cultivo**

Una parte fundamental del proceso administrativo de una empresa es la planeación estratégica de la misma. La planeación es el proceso de estudiar y aprobar actividades que de otra forma no ocurrirían o no se efectuarían, es decir es la anticipación de lo que se desea que ocurra en un futuro incierto para lograr un objetivo. Mientras que estrategia es la ciencia que planea y dirige operaciones a gran escala, específicamente lo relativo a la forma de maniobrar para lograr la mejor posición posible antes de la ejecución. Los elementos de la planeación son objetivos, previsión, programas, políticas y procedimientos, mediante los cuales serán determinadas las acciones a través de un previo análisis de fuerzas y debilidades de la empresa, así como de las oportunidades y amenazas del mercado.

Si hablamos de una empresa de acuicultura es necesario tener presente que en el inicio de un sistema de cultivo hay ciertas consideraciones particulares que deben de tomarse en cuenta. Listados sin un orden de importancia, pero sin hacer detrimento de la trascendencia de su realización, los principales aspectos y actividades a deliberar en la planeación en un cultivo acuícola en jaulas son <sup>2</sup>:

- Establecer un análisis cartográfico, climatográfico, y del movimiento del agua, en este último considerando básicamente la circulación, corrientes y oleaje;
- Contar con un profundo reconocimiento de la hidrología, geología y clima de la región;

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- **Hacer un análisis de los más importantes parámetros fisicoquímicos del agua (temperatura, oxígeno disuelto, demanda biológica de oxígeno, concentraciones disueltas de amoníaco, nitritos, nitratos y fosfatos);**
- **Solicitar un estudio bacteriológico de determinación de cuentas de coliformes fecales en el agua del cultivo acuícola;**
- **Identificar las restricciones ambientales relacionadas con las áreas naturales de preservación de la vida silvestre tales como lugares de refugio o apareamiento de aves migratorias o mamíferos marinos;**
- **Considerar el potencial de impacto ecológico provocado por la inherente modificación de los parámetros físicos, químicos y biológicos en la calidad del agua, así como el manejo de la posible contaminación por combustible debida a la operatividad del sistema y al manejo de rutina del cultivo. Así mismo se deben de examinar las prácticas de manejo de los desechos del sistema, tales como la mortalidad de los organismos;**
- **Prevenir los riesgos de contaminación del agua debida a fuentes ajenas al cultivo que fueran provenientes de la región tales como complejos agrícolas, industriales, instalaciones portuarias o asentamientos urbanos;**
- **Elegir las características de los confinamientos, sus dimensiones, diseño, el tipo de material estructural y de la red, así como el número preciso de las jaulas a utilizar en el sistema;**
- **Analizar las necesidades de espacio mínimo vital de las especies a cultivar y el número de peces por jaula con relación al volumen de ésta misma. Dicho de otra manera, determinar la densidad de cultivo más adecuada al sistema;**
- **Considerar la disposición de la infraestructura relacionada al sistema tal como las vías de acceso carretero, energía eléctrica construcciones para cuartos de bombeo de agua, edificios en tierra para oficinas, laboratorios de producción de cría o de sanidad piscícola, puertos, muelles y rampas para botes, , entre otras.;**

- **Establecer con precisión el sistema de manejo de rutina, y el plan de la alimentación, mencionando las características, cantidad y periodicidad de la administración del alimento;**
- **Describir los flujos de la producción, abarcando analizar desde el inicio de la cadena operativa hasta la descripción del proceso del producto final. Sentando las bases para la normalización de la producción, el análisis de riesgos e identificación de puntos críticos de control y la inserción del proceso en la certificación de calidad o normas ISO, y**
- **Establecer un sistema de seguridad y vigilancia física de la infraestructura, ante el posible ataque de vándalos, saboteadores o ladrones.**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## **Diseños de jaulas para cultivos acuícolas**

Existe gran variedad en el diseño de las jaulas acuícolas, así como una infinidad de materiales para su construcción, por ejemplo el bambú o el cloruro de polivinilo (PVC). Todos varían de acuerdo a la región geográfica, al avance tecnológico y a la disponibilidad financiera del sistema de cultivo **2, 12**.

En recientes estudios del diseño de jaulas para cultivo acuícola, se ha considerado la importancia de los movimientos del agua. Se ha comprobado que las olas, los ciclos de la marea, el viento, las tormentas y la circulación general de las masas acuáticas en conjunto afectan de una forma trascendente las condiciones del cultivo, principalmente a través de las modificaciones en la forma de la jaula y el desgaste de las uniones de la estructura. Se ha determinado que el material utilizado y el diseño de la jaula deben de resistir al ataque de depredadores, como por ejemplo los mamíferos marinos, ya que éstos pueden empujar las redes hasta romperlas y penetrar al sistema, permitiendo también el escape de los peces, o comprimir las redes arrinconando a los peces hasta morderlos. Aunado a la estabilidad de la jaula, debe de ser factible una fácil limpieza de las redes, considerando que el uso de una hidrolavadora se mejora cuando las mismas se encuentran tensas. **12**.

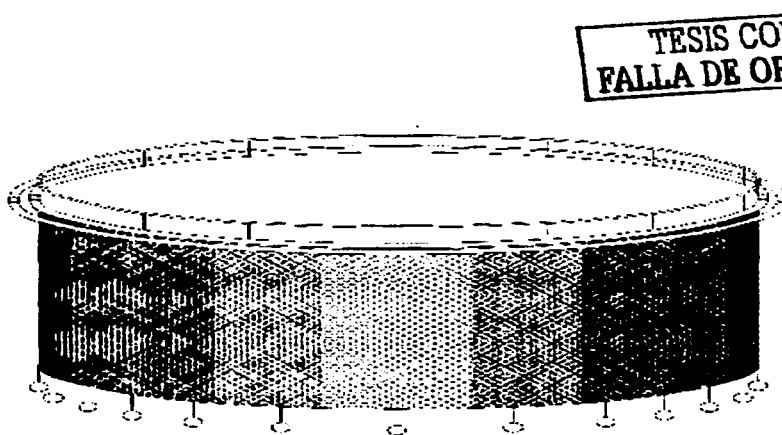
La movilidad del sistema es importante, ya que si la jaula cuenta con la posibilidad de ser desplazada hacia alguna nueva localización, ésta puede ser llevada hacia la playa para facilitar la cosecha, o remolcarse hacia otro sitio para la engorda e incluso mover el cultivo para evitar condiciones desfavorables tales como oleadas de plancton nocivo o bajas concentraciones de oxígeno **2, 12**.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Conforme a la necesidad de elegir un adecuado tipo de jaula, con el objetivo de conocer y estudiar los principales modelos de confinamientos utilizados, a continuación se expone una clasificación de jaulas para la acuicultura de acuerdo a su diseño:

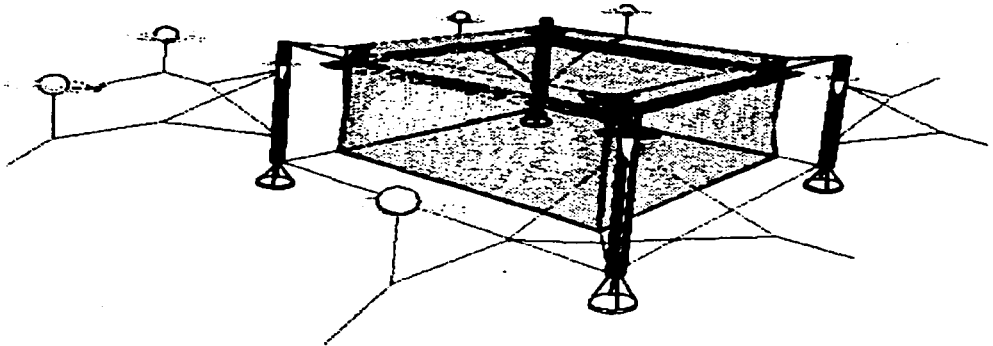
- A. Jaulas que basan su estructura en la gravedad terrestre. Estas son el prototipo de jaulas para la acuicultura, generalmente se construyen de forma redondeada pudiendo también ser cuadradas, su estructura es rígida y está basada en bastidores o marcos que aportan tensión a las redes. Presentan como desventaja que ante el movimiento del agua pierden su forma y volumen fácilmente, y que para llevar a cabo la cosecha de los peces resulta algo difícil debido a la rigidez del confinamiento. Su principal ventaja es la baja inversión que representa su construcción comparada con los otros tipos de jaulas. (Figura 1)



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. 1 Jaulas que basan su estructura en la gravedad terrestre.

**B. Jaulas que basan su estructura con anclas y postes de tensión. Estas son generalmente de forma cuadrada, cuyo sustento está dado por los postes y el anclaje entre los cuales se impide el desplazamiento del sistema. Presentan como desventaja que deben de encontrarse fijas a un solo lugar, pero como ventajas están su mayor volumen y mediano costo de instalación y construcción. (Figura 2)**

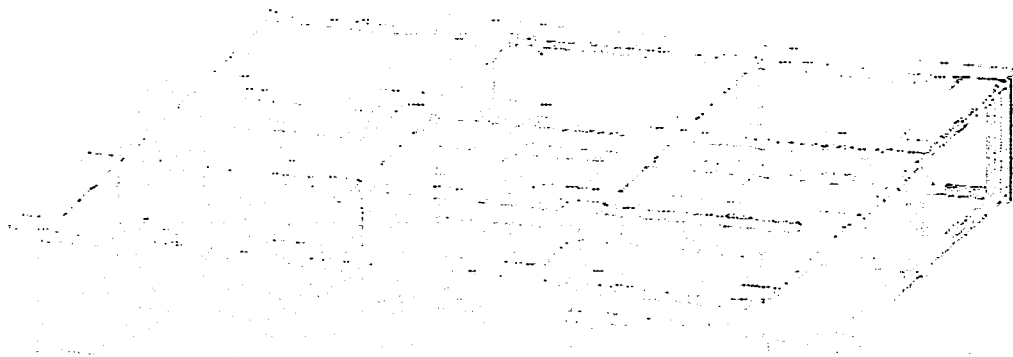


**Fig. 2 Jaulas que basan su estructura con anclas y postes de tensión.**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

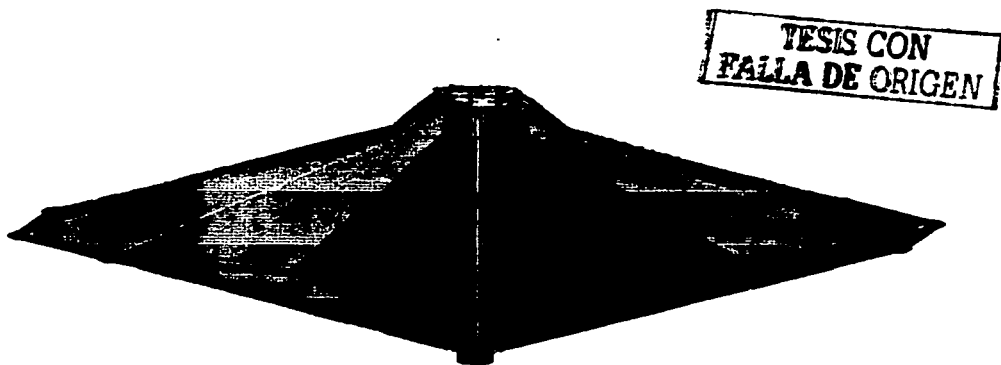
**C. Estaciones acuícolas rígidas.** Estos confinamientos mantienen su estructura contra los movimientos del agua mediante marcos de acero y uniones rígidas, o inclusive llegan a ser encierros de concreto, similares a los estanques construidos en tierra firme. Tienen como desventaja el poseer un alto costo de construcción, además de su rigidez e imposibilidad de movimiento. Sin embargo, la enorme ventaja es que la calidad del agua es controlada más fácilmente que en cualquier otro sistema de cultivo en jaulas. (Figura 3)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Fig. 3 Estaciones acuícolas rígidas.**

**D. Jaulas semirígidas sumergibles.** Estas se componen de un aro estructural en forma de polígono, sostenido por un sistema de postes que forman conos; rodeando a este marco circular hay redes que tienen cremalleras para facilitar el acceso. Su forma asemeja a dos pirámides cónicas unidas en la base, mantenidas en su sitio por un sistema de anclas. Como desventajas de este tipo de jaulas están el desconocimiento de su uso y el alto costo que poseen en su construcción. Entre sus ventajas más importantes se encuentra que mantienen su forma bajo el agua; en condiciones tormentosas estas jaulas tienden a hundirse no permitiendo el escape de los peces, a diferencia de los otros tipos de jaulas en los que se encuentra orientada su salida hacia la superficie. Se ha probado su adaptabilidad en diferentes sitios marinos, habiendo sido validada la transferencia tecnológica para este tipo de jaulas para el cultivo de salmónidos en América del norte, Chile y en países nórdicos a través de empresas acuícolas importantes. (Figura 4)



**Fig. 4 Jaulas semirígidas sumergibles.**

## **Manejo de los sistemas de cultivo acuícola en jaulas**

Las prácticas rutinarias de manejo de un cultivo acuícola en jaulas comprenden actividades periódicas que permiten el manejo y mantenimiento del sistema acuícola. Estas prácticas inician con el transporte de los peces hasta el sitio de cultivo y la siembra de los mismos en la jaula, procurando minimizar las pérdidas por maltrato o el debilitamiento del sistema inmunológico de los peces debido al estrés. Los programas de alimentación deben ser considerados de acuerdo a la planeación de las dietas y al desarrollo de sistemas de suministro del alimento <sup>2</sup>.

Las subsecuentes prácticas rutinarias de manejo del cultivo acuícola son:

- **Monitoreo físico, químico y biológico de la calidad del agua y de la grava bentónica.** Este se realiza a través de instrumentos específicos, como potenciómetros, pruebas químicas colorimétricas, proceso de muestras en laboratorios químicos, o inclusive sistemas electrónicos de medición y control. Permite llevar un diagnóstico y referencia de las condiciones reales comparadas con las exigencias de hábitat de los organismos en el cultivo, así como establecer la información necesaria para realizar una oportuna corrección de algún probable desequilibrio adverso en el sistema <sup>2</sup>.
- **Suministro del alimento.** Este se realiza por la parte superior de la jaula, mediante técnicas manuales o el uso de un sistema tecnificado de dispersión del alimento, a manera que sea impulsando este a través de tuberías con aire a presión <sup>2, 14</sup>.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- **Determinación del tamaño y peso de los organismos.** Esta actividad se realiza de forma regular en cada periodo de evaluación de la productividad, pudiendo ser mensual o quincenal. Se realiza con el objeto de observar el aumento de peso y tamaño de los organismos. Para su desempeño se requiere de muestreos aleatorios, pudiendo también contarse con sistemas de observación por cámaras sumergidas y programas de cómputo que ejecuten el análisis de la información así obtenida <sup>2, 14</sup>.
- **Prevención, diagnóstico y tratamiento de enfermedades.** Estas son las principales tareas que realiza el Médico Veterinario Zootecnista a través de la aplicación de sus conocimientos y la constante investigación de los principios aprendidos durante la carrera. Por ejemplo en la PPS se colaboró con médicos especialistas en salud piscícola de la UPEI, realizando prácticas de necropsia en ejemplares de salmones del atlántico, cultivados en una granja de la región. La actividad anterior se hace con el propósito de obtener muestras de tejidos, para su posterior envío al laboratorio de análisis patológico. Posteriormente en otras prácticas, se realizaba el análisis de las laminillas de cortes histológicos para la determinación de las lesiones microscópicas provocadas por *Aeromonas salmonicida*.
- **Mantenimiento y limpieza de jaulas y equipo.** Este se realiza de forma periódica y programada, dependiendo del uso específico de los equipos y los materiales utilizados. Entre otras actividades, se da servicio a las lanchas, se hace cambio de los reflectores fundidos y se procura la limpieza y revisión de las bombas hidráulicas. Para la limpieza de las redes afectadas por la colección de detritos y del natural acúmulo de organismos acuáticos oportunistas del sustrato ofrecido (denominado también "fouling"); aunado a la limpieza manual se cuenta con el auxilio de hidrolavadoras de presión <sup>2</sup>.

- **Cosecha de los organismos desarrollados. Esta se realiza al final del ciclo productivo, el cual varía según la especie en cultivo, y generalmente ocurre cuando los organismos han alcanzado la talla comercial. En el caso de la piscicultura, se procura un periodo de privación de la alimentación durante al menos dos días, esto con el fin de disminuir la contaminación por las heces de los mismos y así retardar el proceso de descomposición del producto final. De igual forma, se debe minimizar el maltrato físico y ambiental del producto final, así como contar con las facilidades de preservación del mismo. Estas últimas pueden considerarse desde el uso de cajas con hielo picado o inclusive sistemas más avanzados de refrigeración, dependiendo del nivel de tecnificación del cultivo y de la inversión en activos de la empresa 2, 14.**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **Impacto ambiental de los sistemas de cultivo en jaulas**

Los principales y más marcados efectos nocivos sobre el medio ambiente, que la acu<sup>i</sup>cultura en jaulas provoca son la emisión exagerada de sólidos suspendidos, generados por los restos del alimento que no fue consumido y la elevación en la concentración de los elementos solubles nitrogenados que se derivan del ciclo natural de éste elemento, así como la contaminación del bentos generada por la sedimentación en grandes proporciones del mismo alimento. No obstante, existen otros problemas que pudieran llegar a ser graves y deben de ser estudiados para evitarse, como son: la fuga de peces, la diseminación ambiental de antibióticos, el deterioro del paisaje turístico, el control exagerado de mamíferos acuáticos en su papel de depredadores e inclusive los accidentes marítimos de colisión derivados de la presencia del cultivo **21, 2**.

Está establecido que la acumulación exagerada de sedimentos orgánicos, generados por el alimento no consumido y que se precipita justo por debajo de los cultivos, así como la conjunta disminución del oxígeno disuelto en el agua, resultan en cambios diminutivos en las poblaciones de invertebrados sésiles, como los moluscos; o inclusive en la pérdida de especies intolerantes al enriquecimiento orgánico tales como los equinodermos, crustáceos y moluscos; el dominio y proliferación de especies oportunistas de gusanos poliquetos y altas densidades de fauna marina móvil. En casos extremos de contaminación se puede llegar a condiciones ambientales anaeróbicas azoicas, donde sólo se encuentran poblaciones de bacterias productoras de metano o sulfuro de hidrógeno **16, 20, 21, 23**.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Existe una considerable modificación de la concentración de los elementos químicos del ecosistema en el fondo del agua inmediato al cultivo, principalmente debido a la sedimentación del alimento no consumido. En estudios hechos al bentos del lago Kariba en África, justo por debajo de una granja acuícola en jaulas que engordaba tilapias, se halló que el Carbono (C), Fósforo (P), Nitrógeno (N), Amoniaco ( $\text{NH}_4$ ) y Fosfato ( $\text{PO}_4$ ) se encontraron en una concentración mayor que en los exámenes del bentos sin cultivos encima, presentándose desde un 29 % y hasta 40 % más alta <sup>26</sup>.

La producción de desechos orgánicos, principalmente compuestos nitrogenados, en los sistemas de cultivo de peces es considerable. En la península de Escandinavia se examinó el impacto ambiental provocado por una granja de salmónidos, observándose que los desechos de la producción de 100 toneladas de salmón corresponden en cantidad a aquellos de un asentamiento humano de entre 850 a 3,200 personas. Siendo que la producción de salmón en los países nórdicos es de más de 200,000 toneladas anuales, se calculó que los desechos derivados de las granjas de salmónes exceden a aquellos producidos por la población humana habitante de la ciudad de Estocolmo, demostrándose así el impacto negativo de magnitud en los ecosistemas y la cuestionable sustentabilidad de los mismos <sup>20</sup>.

Diversos estudios han sido realizados con el propósito de encontrar los sistemas menos contaminantes, muchos de los cuales incluyen el análisis y desarrollo del cultivo conjunto y complementario de peces, algas y moluscos. Así en el sur de Chile se experimentó con un cultivo conjunto de salmónes y del alga roja *Gracilaria chilensis* mediante cuerdas fijadas en un lugar aledaño a una jaula de engorda. Las algas cultivadas a 10 m. de distancia de las jaulas removieron un 5% del N inorgánico disuelto y el 27% del P presente antes de iniciar el cultivo conjunto <sup>7</sup>. En todos los estudios de este tipo se concluye que con la integración de los niveles tróficos que emule al ecosistema original se obtendrá una disminución del impacto ambiental <sup>18, 19, 24, 25, 26, 27, 28</sup>.

## **Discusión y conclusiones**

La acuicultura continua enfrentándose con una serie de problemas, entre los que destacan el acceso a la tecnología y a los recursos financieros, el impacto ambiental y las enfermedades de los organismos en cultivo. Aún cuando muchas políticas gubernamentales se elaboran específicamente para la acuicultura, la planificación se integra en muchos casos con los del sector de la pesca de captura; resultando muchas veces una programación insuficiente e incompleta. Se considera que la acuicultura, no sólo tiene mayor potencial de desarrollo que la pesca de captura, sino también es un instrumento importante para elevar la seguridad alimenticia. Muchos países industrializados han identificado una escasez futura de suministros de productos pesqueros y apoyan el desarrollo de la acuicultura para reducir al máximo la importación de los productos pesqueros <sup>1</sup>.

La FAO propone a la acuicultura como un medio para obtener pescado en comunidades no costeras, incrementar las exportaciones de valor elevado, obtener material de siembra para reponer los recursos y cebo para la pesca. Según la FAO, la mayoría de los planes para la acuicultura deben de incluir, además del desarrollo de nuevas zonas, el apoyo a zonas infrautilizadas debido a ineficiencias de la producción, lo que constituye un problema común en muchos países en vías de desarrollo. Otros problemas importantes que afrontan los planes de ordenación y desarrollo de la acuicultura son la lucha en contra de las enfermedades padecidas por los organismos en cultivo, los conflictos por el uso del agua, y los problemas ambientales generales derivados del desarrollo de los cultivos, tales como la pérdida del hábitat fundamental, las introducciones de especies y la contaminación ambiental <sup>1</sup>.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

El futuro desarrollo de la acuicultura dependerá de nuevas investigaciones y de una política de cooperación internacional. El marco para esta cooperación, ofrecido por la Declaración de Bangkok y Estrategia para el Desarrollo de la Acuicultura más allá de 2008, es particularmente importante para los países en vías de desarrollo. Este documento en su espíritu plantea, entre otras cosas: que las naciones compartan sus conocimientos y tecnología en lo referente a la planificación integrada y mejorada, con la participación de todos los sectores involucrados, que se dé importancia a la conservación ambiental así como a las cuestiones económicas y administrativas de la producción acuícola <sup>i</sup> 1.

De acuerdo con la FAO, las esferas prioritarias para continuar investigando son: <sup>1</sup>

- El fomento sustentable de poblaciones, programas de cría de peces en libertad y acuicultura en el mar abierto;
- La utilización de plantas y animales acuáticos para aprovechar los nutrientes excedentes;
- El desarrollo de sistemas integrados para mejorar el comportamiento ambiental.
- La promoción de la gestión sanitaria de los animales acuáticos;
- La investigación sobre nutrición en la acuicultura;
- La implantación y mantenimiento de la calidad e inocuidad de los productos de la acuicultura;
- El desarrollo de tecnologías emergentes, tales como los sistemas de recirculación, el cultivo en jaulas en alta mar, la utilización integrada de la columna acuática, el estudio de la cadena alimenticia del ecosistema y el mejoramiento genético;

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Gran parte de la resolución y prevención de la problemática de la acuicultura en jaulas descansa en el proceso administrativo de planeación. Siempre debe partirse de la premisa que la acuicultura es una empresa que requiere contar de un proceso de planeación estratégica y un manejo eficiente que descansen sobre bases sólidas para el correcto aprovechamiento del potencial productivo de los recursos hidrológicos, de forma que se logren satisfacer los requerimientos vitales de las especies acuícolas a través de la disposición de la tecnología requerida.

México posee una enorme cantidad de cuerpos de agua continentales y sitios oceánicos que pudieran ser correctamente utilizados en la producción acuícola en jaulas. Aunado a esto, se encuentra la necesidad de cubrir las carencias alimenticias de la población. Así entonces, en nuestro país se vislumbran diversas posibilidades de desarrollo para los sistemas de cultivo acuícola en jaulas que operen de forma sustentable. Sin embargo, el cultivo acuícola en jaulas ha sido desarrollado con un rezago tecnológico debido al desconocimiento de las ventajas que ofrece, a las fallas en la validación de las transferencias de los paquetes tecnológicos y al desconocimiento de los ciclos biológicos de las especies susceptibles de cultivo.

No obstante, observando el desarrollo de los sistemas en otros países, se puede afirmar que es totalmente factible la constitución de empresas de acuicultura productivas y sustentables en la medida en que sean realizadas la transferencia y validación tecnológica en aguas nacionales, procurando el desarrollo y establecimiento de mejores sistemas de cultivo en jaulas en el país.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Entre las más importantes consideraciones a considerar en la planeación estará siempre la cuidadosa elección del sitio del cultivo, para que de esta forma se eviten problemas tales como la contaminación externa ya sea urbana, industrial o agrícola; la intervención de organismos acuáticos indeseables, problemas legales o la comisión de hurtos o sabotaje. Con una adecuada elección del sitio de cultivo, el desarrollo del mismo puede llegar a ser mantenido de una forma eficiente y perdurable.**

**La elección del diseño del confinamiento debe analizar las ventajas y desventajas de los tipos de jaulas, considerando que la elección satisfaga en su mayoría a las necesidades específicas del cultivo y reduzca los problemas inherentes al diseño de las jaulas. Para eso deben de considerarse el desgaste y daño físico de los componentes ocasionados por el movimiento del agua, así como la constante pérdida de la forma de la jaula; problemas que pueden prevenirse al elegir un adecuado diseño y material de la misma. Siempre debe de considerarse que los materiales a usar en la construcción de las jaulas sean los más económicos y fáciles de conseguir, pero que también sean resistentes y versátiles.**

**Una vez analizadas las ventajas y desventajas que ofrece determinado prototipo de jaula, se debe procurar adaptar el mejor modelo al sistema, para que esta elección redunde en beneficios, disminuyendo las problemáticas ligadas al diseño. No obstante, aún tienen que desarrollarse mejores diseños de jaulas e implementar la tecnología para su mejor operación y funcionamiento, procurando un menor costo operativo que sea ambientalmente favorable y económicamente redituable. Habiendo sido planeado y de una vez iniciado el sistema de cultivo, el manejo operativo rutinario de mantenimiento no debe jamás de ser descuidado, puesto que así se asegura el desarrollo y correcto término de los ciclos productivos de las especies**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Con el objetivo de disminuir el impacto ecológico se requiere desarrollar la ingeniería y el diseño ecológico que mejoren los sistemas de cultivo acuícola, procurando la lucha contra el impacto ambiental. Un reto para la acuicultura en jaulas es el desarrollo de sistemas de cultivo que minimicen la producción de desechos y no alteren excesivamente el ecosistema contiguo. Para lograr lo anterior sería adecuado implementar medidas tales como la de localizar las granjas acuícolas en zonas acuáticas abiertas en donde prevalezca una fuerza de corrientes superior a dos nudos, con la finalidad de que la descomposición de las excretas y el alimento no consumido, tome lugar aeróbica y naturalmente.

Es necesario procurar que la concentración poblacional del cultivo sea la adecuada. De ser posible eliminar el uso de alimentos medicados, evitar el uso de explosivos y sistemas acústicos contra los depredadores, orientar correctamente y mantener al mínimo el uso de luces nocturnas necesarias para la seguridad en la navegación, evitando así la atracción de fauna fototáctica. Con fines de conservación ambiental se debe de procurar que las condiciones de cultivo de peces, algas marinas y moluscos asemejen lo mayor posible a los ecosistemas naturales y los flujos de energía sean estables.

Es así que los sistemas de cultivos acuícolas en jaulas ofrecen un sinnúmero de retos y oportunidades de estudio, y que aún se necesita mucho trabajo y análisis científico. Pero los avances son considerables y sustentan el desempeño de mejores sistemas.

La información vertida a lo largo de este trabajo procura establecerse como una referencia genérica sobre la planeación del sitio del cultivo, la adecuada elección del diseño de las jaulas, el mantenimiento operativo del sistema a través del correcto y consecuente manejo de rutina, así como la disminución del impacto ambiental inherente al cultivo. Mediante la correcta integración de los componentes anteriores, este modo de producción acuícola resultaría económica y ecológicamente sustentable.

## **Referencias**

1. - **The state of world fisheries and aquaculture (SOFIA) 2000. 2000 [cited 2002 Sep 1] 1 (1): Available from: URL: <http://www.fao.org/DOCREP/003/X8002E/X8002E00.htm>**
2. - **Beveridge Malcolm C. Cage aquaculture. 2nd ed. Oxford (Osney Mead): Fishing News Books, 1996.**
3. - **Rosenthal H, Allen JH, Helm MM, McInerney-Northcott M. Aquaculture technology. Its application, development, and transfer. In: Boghen AD. Cold-water aquaculture in Atlantic Canada. New Brunswick (Moncton): The Canadian Institute for Research on Regional Development, University of Moncton, 1995: 393-450.**
4. - **Loverich GF. Offshore aquaculture harvest in Atlantic Canada. New Brunswick (Moncton): The Canadian Institute for Research on Regional Development, University of Moncton, 1996.**
5. - **Bugrov LY. Underwater fish-farming technology for open sea areas. Review of a 10-year experience. Maine (Portland): Marie Polk, 1996.**
- 6.- **Dirección Nacional de Producción Pesquera. Centro de Investigación y Desarrollo Piscícola del Altiplano (CIDPA). Bolivia (La Paz): Secretaría Nacional de Agricultura y Ganadería, 1998.**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

7. - Buschmann AH, Troell M, Kautsky N, Kautsky L. Integrated tank cultivation of salmonids and *Gracilaria chilensis* (Gracilariales, Rhodophyta). *Hydrobiologia* 1996; 326/327: 75-82.
- 8.- Fineman-K. Commercial mariculture of *Oreochromis niloticus* using net cages. Proceedings of the 5th. Annual conference of the Fisheries Society of Nigeria (FISON); 1986 September 22-25; Nigeria (Ilorin): FISON, 1987: 464-470.
- 9.- Troell M, Halling C, Nilsson A, Buschmann AH, , Kautsky N, Kautsky L. Integrated marine cultivation of *Gracilaria chilensis* (Gracilariales, Bangiophyceae) and salmon cages for reduced environmental impact and increased economic output. *Aquaculture* 1997; 156:45-61.
- 10.-Romero L. Jaulas flotantes, opción para la acuicultura. *Gaceta UNAM* 2002 octubre 21; Sec La Academia: 10.
- 11.- Avilés Quevedo A, Mazón Suástegui JM. Cultivo de peces marinos. Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur. Baja California Sur (La Paz): Ponce Díaz, 1996.
12. - Loverich GF, Langley G. The effect of currents and waves on several classes of offshore sea cages. Paper presented in Open Ocean Aquaculture 97. April 1997; (Maui) Hawaii: 1997.
13. -Home Page of Ocean Spar Company. 1997 [cited 2002 Jun 25] 1 (1): Available from: URL: <http://www.oceanspar.com>.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



14. - Home Page of FALKE LTDA. 2002 [cited 2002 Jun 25] 1 (1): Available from: URL: <http://members.tripod.com/~acua/Falke1.html>
15. - Folke C, Kautsky N. Aquaculture with its environment: Prospects for sustainability. *Ocean and Coastal Management* 1992; 17: 5-24.
16. - Morimura S. Influences of fish farming on the environment. Paper presented in the First International Conference in Fish Farming Technology; 1993 agosto; (Trondheim) Noruega: 160-163.
17. - Kautsky N, Folke C. Environmental and ecological limitations for aquaculture. In: Hirano R, Hanyo J. Proceedings from the Second Asian Fisheries Forum, Tokyo April 17-22, 1989. Asian Fisheries Society, Manila, Philippines, 1990: 245- 248.
18. - Folke C, Kautsky N. The role of ecosystems for a sustainable development of aquaculture. *Ambio* 1989; 18: 234-243.
19. - Kautsky N, Folke C. Management of coastal areas for a sustainable development of aquaculture. *Biota* 1989; 5: 1-11.
- 20 - Folke C, Kautsky N, Troell M. The cost of eutrophication from salmon farming. Implications for policy. *Journal of Environmental Management* 1994; 40: 173-182.
21. - Braaten B, Poppe T, Jacobsen P, Maroni K. Risks from self-pollution in aquaculture: Evaluation and consequences. In: Grimaldi E, Rosenthal H. Efficiency in aquaculture production: Disease control. Milán: Edizione del Sole, 1988: 139-165.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

22. - Troell M, Berg H. Cage fish farming in the tropical Lake Kariba. Impact and biogeochemical changes in sediments. *Aquaculture Research* 1996; 19: 35-39.
- 23.- Carss DN. Concentrations of wild and escaped fishes immediately adjacent to fish farm cages. *Aquaculture* 1990; 90 (1): 29-40.
24. - Buschmann A H. An introduction to integrated farming and the use of seaweeds as biofilters. *Hydrobiologia* 1996; 326/327: 59-60.
25. - Kautsky N, Troell M, Folke C. Ecological engineering for increased production and environmental improvement in open sea aquaculture. In: Etnier E, Gutestam B, editors. *Ecological engineering for wastewater treatment* 2nd ed. Michigan: Lewis Publisher, 1996: 387-393.
26. - Berg H, Michelsén P, Troell M, Folke C Kautsky N. 1996. Managing aquaculture for sustainability in tropical Lake Kariba, Zimbabwe. *Ecological Economics* 1996; 18: 141-159.
27. - Troell M, Norberg J. Modeling output and retention of suspended solids in an integrated salmon- mussel culture. *Ecological Modeling* 1995; 5: 125-129.
28. - Kautsky N, Evans S. Role of biodeposition by *Mytilus edulis* in the circulation of matter and nutrients in a Baltic coastal ecosystem. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1987; 38: 201-212.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN