CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLOGICAS DEL NOROESTE, S.C.

Programa de Estudios de Posgrado

ECONOMÍA DE LA CAMARONICULTURA EN LA ZONA ÁRIDA DEL NOROESTE DE MÉXICO

T E S I S

Que para obt enerel Grado de

Doctor en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales

(Orientación en Acuacultura)

P r e s e n t a

José Antonio Martínez de la Torre

La Paz, Baja Calif orniaSur, Marzo del 2001

ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S.,siendo las 12 horas del día 1º del Mes de Febrero del 2001, se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por la Dirección de Estudios de Posgrado del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., para revisar la Tesis de Grado titulada:

ECONOMIA DE LA CAMARONICULTURA EN LA ZONA ARIDA DEL NOROESTE DE MEXICO

Presentada por el alumno:

JOSÉ ANTONIO MARTÍNEZ DE LA TORRE

Aspirante al Grado de DOCTOR EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACION DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACION EN ACUACULTURA

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

Dr. Daniel Lluch Belda
CO-DIRECTOR DE TESIS

Dr. Juan Carlos Seijo Gutiérrez
CO-DIRECTOR DE TESIS

Dr. Humberto Villarreal Colmenares
TUTOR

Dr. Francisco Arreguín Sánchez
REVISOR

Dr. Sergio Hernández Vázquez
REVISOR

DR. SERGIO HERNANDEZ VAZQUEZ,
DIRECTOR DE ESTUDIOS DE POSGRADO

PREFACIO

La presente tesis esta basada en tres artículos científicos, dos de los cuales se encuentran aceptados y uno en proceso de revisión.

ARTICULOS ACEPTADOS

Martínez, J. Antonio and Seijo, J.Carlos. Economics of risk and uncertainty of alternative water exchange and aeration rates in semiintensive shrimp culture systems. **Economics Aquaculture & Management**.

Martínez, J. Antonio and Seijo, J.Carlos. Alternative cycling strategies for shrimp farming in arid zones of Mexico: dealing with risk and uncertainty. **Marine Resource Economics**.

ARTICULO EN REVISION

Martínez de la Torre, J. Antonio, Magallón, Francisco y Lluch Belda, Daniel. Caracterización de la camaronicultura de México en el contexto mundial. **Oceánides**.

Comité Tutorial:

Co-tutor principal: Dr. Daniel Lluch Belda
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, B.C.S.

Co-tutor principal: Dr. Juan Carlos Seijo Gutiérrez
Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional en Mérida, Yuc., y Centro Marista de Estudios Superiores en Mérida, Yuc.

Co-tutor: Dr. Humberto Villarreal Colmenares
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz B.C.S

Comité Revisor:

Dr. Daniel Lluch Belda
Dr. Juan Carlos Seijo Gutiérrez
Dr. Humberto Villarreal Colmenares
Dr. Francisco Arreguín Sánchez
Dr. Sergio Hernández Vázquez

Miembros del jurado del examen doctoral

Dr. Daniel Lluch Belda
Dr. Juan Carlos Seijo Gutiérrez
Dr. Humberto Villarreal Colmenares
Dr. Francisco Arreguín Sánchez
Dr. Sergio Hernández Vázquez

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), Sistema de Investigación del Mar de Cortéz (SIMAC), Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP)de la Secretaría de Educación Pública y a la Universidad Autónoma de Baja California Sur, por el fundamental apoyo brindado para la realización de mis estudios de doctorado.

A los miembros de mi Comité Tutorial, Dr. Juan Carlos Seijo, Dr. Daniel Lluch Belda y Dr. Humberto Villarreal Colmenares por sus valiosos consejos, colaboraciones y su dedicación hacia mi trabajo doctoral.

Al Dr. Juan Carlos Seijo por transmitirme entusiastamente sus conocimientos y experiencia para la parte escrita de mi programa de trabajo doctoral.

Al Dr. Daniel Lluch Belda por haber creído en mi para comenzar a abrir brecha en el casi inexplorado campo de la bioeconomía de la acuacultura en nuestro país.

A los biólogos Francisco Magallón y Guillermo Portillo, quienes me iniciaron en el conocimiento de la camaronicultura, y cuya información, consejos y entusiasmo fueron fundamentales para hacer realidad este trabajo.

Al personal administrativo pasado y presente del Programa de Posgrado del CIBNOR: Dr. José Luis Ochoa, Dr. Sergio Hernández, Lic. Sergio Sevilla, Lic. Leticia González, Sra. María Gómez y al Lic. Horacio Sandoval, a todos ellos gracias por su apoyo material y moral y por su amabilidad.

A GUADALUPE, mi compañera en la travesía
de la vida, quien más que yo, nunca perdió el
ánimo ni el rumbo que me llevó hasta el final
de esta escala en el largo viaje.

A mis hijos, GABRIELA Y JOSE ANTONIO,
quienes con su sola presencia nos han regalado
el don del amor paternal.

A mis padres TERESA y JOSE, a mis otros
padres ROSA y FRANCISCO por su cariño
y soporte

A mis hermanos CARLOS, JAVIER,
RICARDO, ARTURO Y ALEJANDRO, por
el aliento que me dieron para continuar estudiando.

A nuestra familia ampliada aquí, los queridos amigos que atesoramos en la UABCS y en otros ámbitos de La Paz, por su amistad, alegría y apoyo

CONTENIDO Pagina

Prefacio ---------- I
Comités y jurado del examen doctoral ---------- II
Agradecimientos ---------- III
Dedicatorias ---------- IV

Resumen ---------- 1
1-Introducción ---------- 2
1.1-Caracterización de la camaronicultura mexicana ---------- 2
1.2-Definición de problemas ---------- 9
1.3-Hipótesis de trabajo ---------- 10
1.4-Objetivos de la investigación ---------- 10

2-Métodos ---------- 11
2.1-Definiciones de modelo bioeconómico: en la acuacultura ---------- 11
2.2-Caso 1. Economía del riesgo y la incertidumbre de tasas alternativas de recambio de agua y aireación en sistemas semi-intensivos de cultivo de camarón ---------- 14
2.3-Caso 2. Estrategias alternativas de ciclos de cultivo de camarón en zonas áridas del noroeste de México: manejo del riesgo y la incertidumbre ---------- 23

3-Resultados ---------- 31
3.1-Caso 1. Economía del riesgo y la incertidumbre de tasas alternativas de recambio de agua y aireación en sistemas semi-intensivos de cultivo de camarón. ---------- 31
3.2-Caso 2. Estrategias alternativas de ciclos de cultivo de camarón en zonas áridas del noroeste de México: manejo del riesgo y la incertidumbre ---------- 32

4-Discusión de resultados. ---------- 34
4.1-La camaronicultura mexicana en el contexto de la camaronicultura mundial ---------- 34
4.2-Dos casos de aplicación de modelos bioeconómicos a problemas relevantes de las granjas mexicanas ---------- 42

5-Conclusiones y recomendaciones ---------- 42

Referencias ---------- 44

Apéndice ---------- 47
Indice de tablas y figuras ---------- 48
Publicaciones

RESUMEN

La camaronicultura mexicana ha alcanzado un nivel de desarrollo y presenta una potencialidad tal que merece mayor atención por parte de las instituciones públicas y privadas que buscan su fomento o su regulación. En las instituciones de investigación se están realizando cada vez más trabajos de investigación sobre el aspecto administrativo y económico-comercial. En un contexto internacional tan competitivo como el de la camaronicultura, el dominio de las tecnologías no garantiza el éxito y desarrollo de la actividad.

Se requiere información e investigación que sirvan para mejorar el manejo administrativo de las granjas, así como lo que se refiere a estrategias de producción y comercialización que tengan un sólido sustento de análisis económico, comercial y financiero, aspectos todos que están muy interrelacionados entre sí.

Un instrumento poderoso para llevar a cabo esos análisis es el modelaje bioeconómico, porque permite interrelacionar los aspectos administrativo, económico, comercial y financiero con los aspectos tecnológicos y ambientales, con el fin de evaluar la rentabilidad, aspecto que al final de cuentas determina el éxito o el fracaso de una granja camaronera comercial.

En este trabajo se utilizó la modelación bioeconómica como instrumento metodológico principal para simular la operación de una granja semi-intensiva en la zona árida del noroeste de México, con el fin de evaluar la rentabilidad de un sistema experimental de bajo recambio de agua con aireación artificial y dos estrategias de manejo de ciclos anuales de producción.

1-INTRODUCCIÓN

1.1-Caracterización de la camaronicultura mexicana

El rápido crecimiento de la demanda mundial de camarón esta siendo cubierta cada vez más por la producción de acuacultura, misma que ya abastece alrededor del 30% de la demanda de más de tres millones de toneladas. En 1996 más del 80 % de la producción de acuacultura se obtuvo en Asia, y el 14.3% se originó en América Latina. Los principales mercados de consumo se encuentran en los Estados Unidos, en países de Asia en especial en Japón, y en varios países latinos de Europa. La demanda se concentra los Estados Unidos y Japón y el mercado europeo esta creciendo rápidamente.

Las tallas comercializadas por la acuacultura están en un rango de tallas medianas que van de los 30 a los 50 camarones por libra. El auge de la camaronicultura ha impactado fuertemente la estructura de las tallas ofertadas en el mercado mundial a partir de la década de los ochenta, ya que el grueso de la producción acuacultural es de tallas medianas, por lo que considerando que la pesquería aporta también un volumen considerable de tallas medianas, es frecuente que se presente una sobreoferta en esas tallas, con la consiguiente disminución en sus precios.

La acuacultura del camarón es una actividad productiva compleja, sobre todo si se le compara con el resto de las actividades rurales. La complejidad se acentúa si consideramos la gran cantidad de alternativas tecnológicas ingenieriles y biológico-sanitarias de producción disponibles, detrás de las cuales existe un intenso esfuerzo internacional de investigación y desarrollo. La intensificación en el cultivo del camarón es un fenómeno propiciado por el desarrollo tecnológico y el dominio de la tecnología de engorda por parte de los productores. La intensificación del cultivo pronto demostró sus puntos críticos; mayor aportación de materia orgánica y nutrientes a los estanques, problemas con la regulación de los niveles de oxígeno en los estanques y la aparición de altas mortalidades. El proceso de intensificación se ha sustentado mucho hasta ahora en el

método de prueba y error, lo que ha sido uno de los problemas más importantes en la curva de aprendizaje de los productores. La productividad por ha de estanquería ha mejorado en casi todos los países productores porque esta muy asociada con el aumento en la intensidad de cultivo que se observa como tendencia general

La dirección a la que parece apuntar el cambio en los modelos de producción de camarón cultivado en el ámbito internacional, es hacia el uso de sistemas ingenieriles de bajo recambio de agua, y de sistemas biológico-sanitarios de cultivo intensivo, con estricto control de la alimentación, de las condiciones sanitarias y asimismo con una tendencia hacia cerrar el ciclo biológico del camarón bajo cultivo, es decir, abordar el cultivo de reproductores, larvas, postlarvas y no-solo de juveniles y adultos.

Los principales rubros de costos de producción en la camaronicultura (sin considerar costos financieros y de comercialización) son el alimento balanceado, la semilla y la mano de obra, mismos que representan alrededor del 80% del costo de operación de las granjas. En la actualidad, las alternativas tecnológicas principales que se conocen o que están en desarrollo para abatir los costos de alimentación son:

-Manejo de la alimentación a base de comederos.

-Manejo de la productividad de los estanques, para que los camarones dispongan de suficiente y adecuado alimento natural, para que consuman menos alimento industrial.

-Mejoramiento de las formulaciones y presentaciones del alimento industrial.

-Mejoramiento genético de la semilla para que aprovechen mejor el alimento.

La camaronicultura mundial ha encontrado su punto económico óptimo con ciclos de cultivo cortos y con tallas medianas, aunque el mejoramiento continuo y acelerado de la tecnología de engorda y de obtención de semilla mejorada le esta permitiendo a algunas granjas producir ya tallas mediana-grandes con una mejor rentabilidad.

En términos generales, para que una empresa que cultiva camarón blanco sea competitiva, la tecnología de engorda debe garantizar sobreviviencias por encima del 50%,

tasas de crecimiento promedio de un gramo por semana, factores de conversión alimentaria de menos de 2 Kg de alimento por Kg de camarón y una relación cabeza/cola superior al 60%.

Se observa una creciente oposición de los grupos ambientalistas hacia el crecimiento de la camaronicultura, por considerarla como dañina para el ambiente costero. Las grandes preocupaciones ambientalistas se refieren a la protección de los suelos costeros en general, en especial de los humedales y bosques de manglar, la preservación de los cuerpos de agua costeros, amenazados por las descargas contaminantes de las granjas, y la utilización y modificación de los recursos biológicos de esos cuerpos de agua. Las principales líneas de desarrollo tecnológico orientadas a dar solución al problema de los efectos negativos de las descargas de agua de las granjas camaroneras, están dirigidas hacia la disminución de los aportes de materia orgánica en las aguas residuales y hacia la diminución de las propias descargas de esas aguas. otras líneas tecnológicas prometedoras son el policultivo de camarón con organismos filtradores como los moluscos, el uso de biofiltros como los manglares y el tratamiento de las aguas de descarga

La creciente importancia de la demanda de postlarvas de laboratorio ha puesto de relevancia el problema del abastecimiento de reproductores silvestres. En algunos casos, la captura de reproductores ha provocado conflictos entre los recolectores de postlarvas y los pescadores de camarón, lo que ha llevado a la implantación de severas regulaciones para la captura, en ciertas regiones, de reproductores. Esto, a su vez, ha obligado a los laboratorios a obtener reproductores de dudosa calidad sanitaria de otras regiones, con lo que ha aumentado el peligro de dispersión de enfermedades de unas regiones a otras, por la vía de los laboratorios.

La camaronicultura mexicana se inserta en el contexto de la región productora situada en el mundo occidental, y muy en especial en la costa del Océano Pacífico de la América Latina. En esta región existen 2,592 granjas camaroneras, con una superficie de producción de 230 mil hectáreas. México, el segundo productor de la región, después de

Ecuador, contaba en el año de 1997 con 256 granjas (10 % de la región) establecidas en 17,888 hectáreas que representan el 8 % de la región.

En el ámbito mundial, la oferta de postlarvas salvajes esta perdiendo peso frente al abastecimiento de postlarvas cultivadas. Estas últimas por lo general son de mejor calidad que las de origen silvestre tanto desde el punto de vista de su capacidad de crecimiento como de sobrevivencia. Se estima que las granjas en Latinoamérica demandan entre 22,000 y 33,000 millones de postlarvas, de las cuales casi un 80% es satisfecha mediante semilla cultivada. Estimamos que para 1998 la demanda de postlarva en México fue de aproximadamente 3,800 millones de organismos, de las cuales no tenemos conocimiento de la proporción que abastecieron los laboratorios, aunque se estima que cada vez cubren una proporción mayor de la demanda.

El cultivo del camarón se ha convertido en una importante actividad económica en la América Latina. En Ecuador la camaronicultura emplea directamente a más de 200,000 personas. En el caso de México, la camaronicultura emplea directamente a unas 10,000 personas. El desarrollo de la camaronicultura en la región sé esta utilizando por algunos gobiernos como un medio para fomentar el desarrollo rural. Destacan en particular tres experiencias exitosas: los parques acuícolas en México y el repoblamiento de sistemas lagunarios y el cultivo masivo de artemia en Brasil.

En 1997, el programa de parques acuícolas del estado de Sonora en México comprendía 4,961 ha de cultivo de las que dependían 2,440 familias generando ingresos superiores a los US $15 millones. El modelo de producción de este programa se sustenta en el uso común de grandes canales de abastecimiento y de descarga y en el cooperativismo como forma de organización de las granjas medianas y pequeñas que forman el parque. Esta forma de operación, permite la obtención de economías de escala en el uso de las instalaciones comunes a granjas cuyo tamaño mediano y pequeño de otro modo no podrían conseguir.

La industria del cultivo del camarón en México se encuentra en desarrollo desde hace poco más de una década, aportando a la fecha una producción cercana a las 20,000 toneladas, gracias al desarrollo de más de 200 granjas instaladas en la zona costera, a la operación de más de 30 laboratorios de postlarvas y a la producción de alimentos balanceados por unas 40,000 toneladas.

La región noroeste de México (RNM), en donde se utilizan principalmente sistemas semiintensivos de cultivo, es por mucho la principal región productora de camarón cultivado. La RNM esta formada por los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit, los cuales en conjunto cuentan con mas de 6,000 Km de costas a lo largo del Océano Pacífico y del Golfo de California.

En relación al cultivo del camarón podemos dividir a la RNM en dos grandes subregiones. La subregión árida es la mayor y está ubicada al norte de la región, presenta restricciones para la camaronicultura derivadas de una alta variación estacional de temperatura, de una alta salinidad del agua y de una disponibilidad no continua de larvas silvestres durante el año. La otra subregión, localizada en el sur de la región y formada por los estados de Sinaloa y Nayarit, presenta una menor variación estacional promedio de temperatura, menor problema de salinidad y una disponibilidad de larvas silvestres menos discontinua, todo lo cual le ha permitido ser la principal zona productora del país. La acuacultura del camarón se concentra en tres entidades federativas del noroeste del país, así, en 1995, de las 15,867 ton. de camarón con cabeza producidas, Sinaloa aportó el 66.5 %, Sonora 24.5 % y Nayarit el 4 %, de tal manera que esas tres entidades concentran el 92.3 % del total de la producción nacional.

A partir de 1988 se inicia el despegue de la camaronicultura mexicana. En el año de 1997 se alcanza el máximo de 17,422 ton, lo que representa un crecimiento para el periodo 1988-1997 del 626 %. La excepción de crecimiento anual continuo es el año de 1996, cuando la producción cayó un 17 % en relación a 1995, como consecuencia de la aparición de epizootias importantes en las granjas del estado de Sinaloa, en especial el llamado

Síndrome de Taura, y marca el ingreso de la camaronicultura mexicana al grupo de países productores que han sufrido el flagelo de epizootias masivas en la camaronicultura.

El valor de la producción camaronícola también experimenta un crecimiento anual constante de 1988 a 1997, que medida en dólares estadounidenses corrientes pasa de 3,030.5 a 108,661 miles de dólares estadounidenses, lo que representa un incremento nominal del 3,585 %. A partir de 1989 y hasta 1996, este gran incremento se explica por el aumento acelerado del volumen de producción, ya que el precio durante ese periodo se estabiliza alrededor de los 5,000 dólares /ton.

Se estima que un 70% de las granjas en México operan con sistemas semiintensivos de cultivo, en tanto que un 30% lo hacen con el sistema intensivo y el restante 10% con el extensivo. En el año de 1997, se registraron 256 granjas camaroneras en el país, de las cuales el 90 % se encontraba en los 5 estados del noroeste. En cuanto a la superficie en estanquería, en ese mismo año de 17,887.9 ha en el país, 16, 910 ha (94.5%) le correspondieron al noroeste. La zona semitropical contaba con 12,767 ha (71.4% del país), de las cuales 11,013.5 ha (61.6% del país) se encontraban en el estado de Sinaloa. La zona árida tenía 4,143.9 ha (23.2% del país), casi todas (4,107.4 ha) en el estado de Sonora. .

Las granjas semiintensivas del país practican en su gran mayoría la alimentación "al voleo". Este método al desperdiciar el alimento provoca una gran cantidad de materia orgánica en descomposición en el estanque, aumentando la posibilidad de enfermedades y caídas de oxígeno, y por lo tanto el riesgo de altas tasas de mortalidad. Asimismo, esto atenta en contra de la sustentabilidad de la camaronicultura porque las descargas de agua son más contaminantes para los cuerpos de agua costeros de donde las granjas se abastecen de agua de mar y donde se realizan otras actividades como la pesca y el turismo.

Es de esperarse que en el futuro próximo los granjero mexicanos adopten cada vez más otras prácticas de alimentación más eficientes como la que se basa en la utilización de charolas o "comederos" distribuidos estratégicamente en los estanques y que permiten

observar el consumo diario de alimento estanque por estanque, permitiendo dosificarlo de acuerdo al apetito de los camarones.

Se calcula que el 75% de las granjas de la zona subtropical del noroeste operan dos ciclos de cultivo anuales y el restante 25% operan solo un ciclo. Por otra parte, creemos que en la zona árida de la región noroeste, principalmente en el estado de Sonora, el régimen de temperatura del agua, con una mayor variación estacional, es más rentable en general la obtención de una sola cosecha con un ciclo un poco más largo para obtener camarones de una talla mayor que ofrecen un buen precio en el mercado internacional.

Uno de los desarrollos más interesantes en la camaronicultura mexicana en los últimos años es el auge en Sonora del cultivo con semilla mejorada del camarón azul de tallas medianas-grandes, muy apreciadas en los mercados internacionales. Las granjas de ese estado situado en la zona árida están teniendo éxito en el cultivo de esa especie debido a la estabilidad de una buena calidad del agua.

Un estudio de 10 granjas del sur de Sonora nos da una idea aproximada de la estructura de costos de las granjas del país. A precios de 1997, el costo total se estimó en $34.80/kg de camarón obtenido, del cual un 94% es costo variable (incluyendo los costos de procesamiento y comercialización por $9.64/kg), y el 6% es costo fijo. No se consideran los costos financieros, ni la depreciación. El costo total por ha fue de $88,711, de los cuales el costo variable montó $83,669/ha (incluyendo los costos de procesamiento y comercialización por $24,594/ha), en tanto que el costo fijo se estimó en $5,042/ha. Según estos datos, los cuatro conceptos de costo más importantes son alimento (28%), costos de procesamiento y comercialización (28%), postlarva (15%) y sueldos (8%), mismos que de manera acumulada representan el 79% del costo total.

El promedio de los ingresos brutos de las 10 granjas estudiadas se estimó en $61.11/kg y $166,404/ha, mismos que al deducirles los costos totales arrojan una utilidad bruta antes de impuestos y sin considerar gastos financieros y depreciación de $29.31/kg y

$77,687/ha. De acuerdo con estas cifras la relación utilidad bruta/costo total es de 84%, lo que indica una alta rentabilidad económica

1.2-Definición de problemas

La camaronicultura mexicana ha alcanzado un nivel de desarrollo y presenta una potencialidad tal que merece mayor atención por parte de las instituciones públicas y privadas que buscan su fomento o su regulación. Por otra parte, en las instituciones de investigación se están realizando cada vez más trabajos sobre el aspecto tecnológico, pero no apreciamos la misma dinámica en lo referente a los aspectos ambientales, administrativos y socioeconómicos. En un contexto internacional tan competitivo como el de la camaronicultura, el dominio de las tecnologías no garantiza el éxito y desarrollo de la actividad.

Además del aspecto tecnológico, se requiere información e investigación que sirvan para mejorar el manejo administrativo de las granjas, así como lo que se refiere a estrategias de producción y comercialización que tengan un sólido sustento de análisis económico, comercial y financiero, aspectos todos que están muy interrelacionados entre sí.

Un instrumento poderoso para llevar a cabo esos análisis es el modelaje bioeconómico, porque permite interrelacionar los aspectos administrativo, económico, comercial y financiero con los aspectos tecnológicos y ambientales, con el fin de evaluar la rentabilidad, aspecto que al final de cuentas determina el éxito o el fracaso de una granja camaronera comercial.

En este trabajo se utilizó la modelación bioeconómica como instrumento metodológico principal para simular la operación de una granja semi-intensiva en la zona árida del noroeste de México, con el fin de evaluar su rentabilidad económica ante las siguientes disyuntivas que consideramos relevantes:

a) Uso en la granja de un sistema experimental de bajo recambio de agua con aireación artificial o uso del sistema tradicional de recambio sin aireación artificial.
b) Adopción en las granjas de la estrategia de un ciclo anual de producción o el de la estrategia de un ciclo, considerando tres sitios representativos de la zona árida.

1.3-Hipótesis de trabajo

a) El sistema de bajo recambio de agua con aireación artificial ofrece la misma rentabilidad económica que el sistema tradicional de recambio de agua sin aireación artificial
b) El diferente régimen de temperatura del agua del mar en las diferentes zonas de la región árida del noroeste de México determina diferencias importantes en la rentabilidad económica entre las estrategias de uno y dos ciclos anuales de cultivo.

1.4-Objetivos de la investigación

1-Presentar una visión general de la camaronicultura mexicana, con énfasis en la región noroeste, en el contexto de la camaronicultura mundial y en especial de la latinoamericana. Se incluye el volumen y el valor de la producción, las especies sembradas, así como las características principales del mercado y de las granjas de la región.

2-Presentar los resultados de dos investigaciones que tratan problemas relevantes para la industria de la región. Se utilizan modelos bioeconómicos probabilísticos como principal instrumento metodológico para ambos casos. Los problemas tratados son:

* La viabilidad económica privada de un sistema de producción semi-intensivo con bajo recambio de agua y aireación artificial, que minimiza las descargas de agua, y por lo tanto es más sustentable que el sistema tradicional de recambio normal de agua sin aireación artificial.

* La comparación de la rentabilidad privada de dos estrategias de manejo de ciclos de producción anuales con cultivo semi-intensivo; dos cosechas vs un ciclo de cultivo con cosechas parciales. Se consideran tres sitios representativos de la región árida del noroeste y con diferencias importantes en su régimen de temperatura del agua de mar.

2-METODOS

Se utiliza la modelación bioeconómica como instrumento metodológico principal para simular la operación de una granja semi-intensiva con tasas alternativas de recambio de agua y aireación artificial en un caso y con uno y dos ciclos de producción anuales en el otro caso.

2.1-Definiciones de modelo bioeconómico: en la acuacultura

-Definiciónes de bioeconomía

"Uso de modelos matemáticos para relacionar el desempeño de un sistema de producción con sus restricciones económicas y técnicas". (Allen et al., 1984).

"Los fundamentos biológicos de la actividad económica"; "La idea de maximizar el rendimiento económico neto manteniendo un rendimiento sustentable" (Ploeg, et al, 1987).

"La interrelación entre las fuerzas económicas que afectan la industria pesquera y los factores biológicos que determinan la producción y disponibilidad en el mar". (Clark, 1985).

-Definición de modelo

Un modelo es una simplificación de la realidad, que contiene solo aquellos atributos que son relevantes para problemas particulares(Leung y El-Gayar, 1997).

-Utilidad de los modelos

La modelación puede ser un instrumento poderoso para la formulación, análisis y mejoramiento de hipótesis y teorías. Los modelos pueden hacer predicciones razonables acerca de las consecuencias de varias estrategias de manejo en áreas como la acuacultura y la pesca. El uso de modelos puede permitir además identificar lo que no es conocido, organizando lo que es conocido dentro de un marco de análisis (Leung y El-Gayar, 1997). Los modelos pueden reunir conocimiento teórico, de laboratorio y de campo en un todo consistente, para identificar áreas donde falta conocimiento, o es escaso o inconsistente, por lo tanto, el obtener conocimiento por medio de un modelo puede ser más barato que experimentar en el mundo real.

-Modelos bioeconómicos en la acuacultura

Los modelos bioeconómicos en acuacultura, generalmente hablando consisten de un modelo biológico, que describe el sistema de producción, y un modelo económico, el cual relaciona el sistema de producción con los precios del mercado y las restricciones en cuanto a recursos (Cacho, O.J., 1997).

"Un modelo bioeconómico puede así ser visto como una descripción matemática de una empresa acuacultural interrelacionando sus elementos biológicos, físicos y económicos para un análisis holistico y sistemático". (Leung y El-Gayar, 1997).

-Clasificación de los modelos bioeconómicos

-O.J. Cacho (1997).	P. Leung y O. El-Gayar (1997)
*Simplistas vs holísticos	*Modelo biológico
	>Empíricos (caja negra)
*Empíricos vs mecanísticos	>De stock (dinámica poblacional)
	>Mecanísticos (procesos biológicos y ambientales)

*Estáticos vs dinámicos

*Determinísticos vs estocásticos

*Modelo económico

>Optimizador clásico (calculo diferencial)

>Programación matemática(lineal y no lineal)

*Modelo biofísico(modelación de aspectos biológicos y físicos del ambiente acuacultural).

Los modelos aquí utilizados siguiendo a Cacho (1997) podríamos clasificarlos como holísticos, mecanísticos, dinámicos y estocásticos. Según Leung y El-Gayar (1997) los modelos biológicos que utilizamos se sitúan entre los de stock y los mecanísticos, ya que utilizan tanto la dinámica poblacional como la influencia del principal factor ambiental, la temperatura del agua, para explicar el proceso biológico del crecimiento del camarón. La función de crecimiento (con base en peso) incluida en el modelo biológico es del tipo Von Bertalanffy, donde las variables independientes son tiempo (semanas de cultivo), temperatura del agua y peso acumulado del periodo anterior.

El modelo económico aquí utilizado optimiza el rendimiento económico con base en la determinación de la semana óptima de cosecha, por lo que podría considerarse un modelo optimizador clásico y dinámico, según Leung y El-Gayar (1997). Para obtener los rendimientos económicos anuales descontados se utiliza el método del flujo de caja para el caso referente a la comparación de la rentabilidad privada de dos sistemas alternativos de producción con diferentes tasas de recambio de agua.

2.2-Caso 1. Economía del riesgo y la incertidumbre de tasas alternativas de recambio de agua y aireación en sistemas semi-intensivos de cultivo de camarón.

Problema

-Evaluación, desde el punto de vista de la rentabilidad privada, de un sistema de cultivo semi-intensivo experimental de bajo recambio de agua con aireación artificial, en las condiciones ambientales de la zona árida del noroeste de México. Se compara la rentabilidad del sistema tradicional (TS) contra el de bajo recambio de agua con aireación artificial (LAS)

Se utiliza un modelo bioeconómico dinámico y probabilístico que simula operación financiera de una granja semi-intensiva (20 Pl/m2) de 100 ha en el noroeste, con dos cosechas anuales Penaeus vannamei con horizontes de tiempo de 7, 10 y 12 años. Se utilizan distribuciones de probabilidades en lugar de valores determinísticos para simular la incertidumbre en precio de mercado, crecimiento, supervivencia y precio de semilla. Es importante mencionar que se modeló el sistema de recambio de agua y de aireación artificial para obtener el consumo de electricidad. Se supone además que ambos sistemas tienen el mismo rendimiento biológico.

En cuanto al modelo biofísico, los parámetros de recambio de agua, oxígeno y aireación artificial fueron establecidos con base en los trabajos de Martínez (1998).La función de alimento se determinó con base en datos de los cultivos semi-intensivos de la granja CIBNOR en La Paz, en 1996 y 1997.

Resultados principales

-TS es un poco más rentable (2 a 3 % en 10 años) que LAS debido a la carga financiera que

significa la adquisición de aireadores. (ver tabla 3 resultados)

-Sin embargo el consumo de electricidad de LAS es inferior al de TS (5,580 kWh/ha/año vs. 7,060 kWh/ha/año).

-Por cada kWh gastado en aireación se sustituyen 1.6 kWh de recambio.

-Entre más alto el costo de oportunidad del capital invertido (tasa de descuento) mayor es la ventaja de usar TS sobre LAS.

Ecuaciones del modelo bioeconómico

Submodelo Económico

Para un año cualquiera

$$CO = OE + I + Crp + i \quad (1)$$

$$OE = Cp + F + Fd + Pu + A + L + Acc + Ins + R + Tx + Fu + Cg \quad (2)$$

$$Y = Shmp + Sc \quad (3)$$

$$Yn = Y - CO - Resv \quad (4)$$

Donde:

CO = flujo de caja

OE = gastos de operación

I = inversión de capital y costo de reposición

Crp = pago del principal de crédito

i = pago de intereses por crédito

Cp = costo de semilla dew camarón

F = costo del fertilizante

Fd = costo de alimentación (30 % de proteína)

Pu = costo de bombeo

A = costo de aireación

L = costos de mano de obra con prestaciones

Acc = honorarios para contador

Ins = prima de seguro

R = reparación de construcciones maquinaria y equipo

Tx = impuestos sobre la renta y la propiedad

Fu = costo de combustible

Cg = gastos contingentes

Y = flujo de efectivo

Shmp = efectivo producto de ventas de camarón

Sc = venta de bienes de capital

Yn = ingresos netos después de impuestos, efectivo de crédito y efectivo de reserva.

Resv = reserva de efectivo asumida (SMARNAP-BANCOMEXT, 1995, actualizada para mediados de 1998).

Submodelo biológico

Ecuación de la tasa de mortalidad/semana

$$M = (\ln(N_o) - \ln(N_t))/tp \qquad (5)$$

donde:

M = tasa de mortalidad fija semanal

N_o = población inicial

N_t = población a la semana t

tp = semanas en estanque

Ecuaciones del rendimiento biológico de la granja

Ecuación del crecimiento del camarón

$$W_t = W_\infty * (1 - e^{-(c+bT(t))(t-to)})^3 \qquad (6)$$

$$W_t = 18 * (1 - e^{-(0.0091+0.0054\,T(t)) * (t-1.7256)})^3, \text{ para primer ciclo} \qquad (7)$$

P = (0.0) (0.600) (0.001) (0.169)

R = 0.94

$$W_t = 24 * (1 - e^{-(0.0091+0.0054T(t))\,(t-1.7256)})^3, \text{ para segundo ciclo} \qquad (8)$$

niveles de P no son significantes

$$T_t = T_A + T_R \ \mathrm{SIN}\,(2\pi * (t_c - t_A)/52) \qquad (9)$$

Donde:

W_t = peso del camarón al tiempo t (g)

W_∞ = peso asintótico del camarón (g)

t = edad del camarón (semanas).

to = edad teórica del camarón cuando W = 0

T_t =temperatura estimada de la superficie del agua en Bahia de La Paz a la semana t

T_A = temperatura promedio anual

T_R = diferencia máxima - mínima de temperaturas observadas

t_c = número de semana del año

t_A = semana del año en la que $T_t = T_A$

b y c son constantes.

Ecuaciones de biomasa, alimento y costos de operación por ha/semana

$$N_t = N_0 * e^{-M*t} \quad (10)$$

$$B_t = N_t * W_t \quad (11)$$

$$VB_t = B_t * P_s \quad (12)$$

$$VBD_t = VB_t/(1+d)^t \quad (13)$$

$$Qf_t = Qmax*(1-e^{(-0.00153)Bt}) \quad (14)$$

$$Qfcum_t = \sum_{t=1}^{t=n} Qf_t \quad (15)$$

$$QfC_t = Qf_t * Pfd \quad (16)$$

$$QfCD_t = QfC_t/(1+d)^t \quad (17)$$

$$QfCDcum_t = \sum_{t=n}^{t=n} QfCD_t \quad (18)$$

$$FCR_t = Qfcum_t/(B_t - B_0) \quad (19)$$

$$OC_t = Cpc + F_t + Pu_t + A_t + Cg_t \quad (20)$$

$$OCD_t = OC_t/(1+d)^t \quad (21)$$

$$OCDcum_t = \sum_{t=1}^{t=n} OCD_t \quad (22)$$

$NDY_t = VBDt - OCDcumt$ (23)

Donde :

N_t = población de camarón al tiempo t (organismos/ha)

N_0 = población inicial (organismos/ha)

M = tasa de mortalidad fija (%/semana)

B_t = biomasa al tiempo t (kg/ha)

VB_t = valor de biomasa al tiempo t (US $/ha)

P_s = precio del camarón por tallas (US $/kg)

VBD_t = valor descontado de biomasa al tiempo t (US $/ha)

d = tasa de descuento semanal (%/semana)

Qf_t = cantidad de alimento al tiempo t (kg./semana/ha)

Qmax = máxima cantidad de alimento observado en una ha con densidad de 20 camarones/m^2 (kg./semana/ha)

$Qfcum_t$ = cantidad acumulada de alimento del tiempo 1 al tiempo t (kg./ha)

QfC_t = costo del alimento al tiempo t (US$/ha)

Pfd = precio de alimento (US$/kg)

$QfCD_t$ = costo descontado de alimento al tiempo t (US$/ha)

$QfCDcum_t$ = costo acumulado descontado de alimento del tiempo 1 al tiempo t (US$/ha)

FCR_t = tasa de conversión del alimento al tiempo t (Kg alim/1 Kg camarón)

B_0 = biomasa inicial al tiempo 0 (kg./ha)

OC_t = costo de operación al tiempo t (US $/ha)

Cpc = costo de semilla por ciclo (US$/ha)

F_t = costo de fertilizante al tiempo t (US$/ha)

Pu_t = costo de bombeo al tiempo t (US$/ha)

A_t = costo de aireación al tiempo t (US$/ha)

Cg_t = costo contingente (US $/ha)

OCD_t = costo de operación descontado al tiempo t (US$/ha)

$OCDcum_t$ = costo de operación acumulado y descontado del tiempo1 al tiempo t (US$/ha)

NDY_t = ingreso neto descontado al tiempo t (US$/ha)

Ecuaciones del submodelo de intercambio de agua (intercambio de agua/ha)

$P_t = FV*ER_t$ (24)

$Ph_t = Ef*FV*P_t$ (25)

$PuW_t = En*PhW_t*PkWh$ (26)

$$Phcum_t = \sum_{t=1}^{t=n} PhW_t \quad (27)$$

$kWhcum_t = En*Phcum_t$ (28)

$Pucum_t = PkWh*kWhcum_t$ (29)

Donde:

P_t = bombeo de agua por día en el tiempo t (m^3/ha)

FV = capacidad máxima de volumen de agua en 1 ha. a 1 m de profundidad (m^3/ha)

ER_t = tasa de bombeo por día en el tiempo t (%/día)

Ph_t = horas de bombeo por día en el tiempo t (horas/día/ha)

Ef = tasa de eficiencia de bombeo.

PhW_t = horas de bombeo por semana en el tiempo t (horas/semana/ha)

PuW_t = costo de bombeo por semana en el tiempo t (US$/semana/ha)

En= kWh por hora de operación de bombeo (kWh/hour)

PkWh = precio del kWh (US$/kWh).

$Phcum_t$ = horas acumuladas de bombeo en el tiempo t (horas/ha)

$kWhcum_t$ = kWh acumulados por bombeo en el tiempo t (kWh/ha)

$Pucum_t$ = costo acumulado por bombeo en el tiempo t (US$/ha)

Ecuaciones del submodelo de aireación (Aireación/ ha)

$AkWh_t = O_t*AAE$ (30)

$AAE = SAE\ ((Cs-Cm)/Sol)1.24^{T-20}\alpha$ (Boyd 1990) (31)

$O_t = Odes-Omin$ (32)

$$AkWhcum_t = \sum_{t=1}^{t=n} AkWhW_t \quad (33)$$

$AC_t = PkWh*\ AkWhW_t$ (34)

$$ACcum_t = \sum_{t=1}^{t=n} AC_t \qquad (35)$$

Donde:

$AkWh_t$ = Electricidad consumida por aireación por día en el tiempo t (kWh/día/ha)

O_t = Oxígeno transferido por día en el tiempo t (kg/día/ha)

SAE =Eficiencia estándar de aireación de un aireador de paletas de 2-hp bajo condiciones estándar (Kg de O/kWh), (Boyd 1990), (Moore y Boyd 1992)

AAE = Eficiencia de aireación real = SAE ajustada para una temperatura de 31 °C y salinidad de 40°/oo (Kg. de O/kWh) (Boyd 1990)

Cs = Concentración de oxígeno a saturación del agua (mg /litro), (Boyd 1990).

Cm = Concentración mínima inicial de oxígeno (mg/litro), (Martínez 1998).

Sol = Solubilidad del oxígeno en agua a 31 °C y salinidad de 40°/oo, (mg/litro). (Boyd 1990, tabla 2.9)

T= Temperatura máxima del agua (°C).

α = Factor de ajuste del coeficiente de transferencia de oxígeno de agua limpia al coeficiente para agua de estanque (Boyd 1990)

Odes = Concentración deseada de oxígeno (kg./día/ha)

Omin = Concentración mínima de oxígeno (kg./día/ha)

$AkWhW_t$ = kWh consumidos por semana de aireación en el tiempo t

$AkWhcum_t$ = kWh acumulados consumidos por aireación al tiempo t

AC_t = Costo de aireación en el tiempo t (US$/ha)

$ACcum_t$ = Costo acumulado por aireación al tiempo t (US$/ha)

Parámetros económicos, biológicos y físicos y principales supuestos usados en el modelo bioeconómico

Parámetros y Supuestos	Descripción	Valor	Unidad
Generales			
Coeficiente de superficie de estanquería	Proporción de superficie de estanquería con relación a la superficie total de la granja	82	%
Número de estanques	Número total de estanques en la granja	8	Estanque
Superficie de estanque	Superficie de cada estanque	10.25	Ha
Económicos			
Tasa de contingencias	Proporción del costo de operación y gasto en Maquinaria y equipo que son Considerado costo de contingencias	10	%
Tasa de depreciación	Depreciación de línea recta para maquinaria, Equipo e instalaciones	10	%
Tasa de recuperación	Valor de recuperación como proporción del valor original de los bienes de capital depreciados	10	%
Tasa de prestamos	Prestamos como proporción del capital invertido	60	%
Tasa de descuento	Tasa de descuento anual para el ingreso neto del proyecto	6	%
Tasa de interés	Tasa de interés anual por préstamo de mediano plazo en dólares	11	%
Tasa de gastos médicos	Gastos médicos como proporción del costo del trabajo	21.7	%
Tasa de impuesto por ingresos	Impuesto al ingreso como proporción del ingreso neto	17	%
D	Tasa de descuento semanal para costo de operación e ingresos	0.15	%
Factores de riesgo	Factores de riesgo de inversión	0	%
		10	%
		20	%
		30	%
Principales costos unitarios	Precio de energía eléctrica	0.05	US$/kWh
	Postlarva	7.5	US$/1,000 Pl
	Alimento	0.587	US$/kg
	Urea fertilizante	0.26	US$/Kg
	Fosfato triple fertilizante	0.30	US$/Kg
	Gasolina	0.37	US$/litro
	Salario del gerente	26,857	US$/persona/año
	Salario del biólogo	13,421	US$/persona/año
	Honorarios del contador	3,312	US$/año
	Tasa de reparaciones de edificios, maquinaria, equipo y estanques	0.2736	US$/US$ de valor
Fertilización de estanques			
Aplicación de urea	Aplicación inicial	9	Kg./ha
	Cuando el estanque sé esta llenando	14	Kg./ha
	Al final del llenado	23	Kg./ha
	Aplicación de mantenimiento	4.2	kg./ha/semana
Aplicación de fosfato triple	Aplicación inicial	0.9	Kg./ha
	Cuando el estanque sé esta llenando	1.4	Kg./ha
	Al final del llenado	2.3	Kg./ha
	Aplicación de mantenimiento	0.5	kg./ha/semana

Continuación	Descripción	Valor	Unidad
Biológicos			
Edad de la semilla	Edad inicial de la semilla en la siembra	2	Semana
Densidad de siembra	Densidad inicial de postlarvas en estanque	20	Pl/m^2
W_∞	Peso asintótico del camarón		
	Primer ciclo	18	Gr
	Segundo ciclo	24	Gr
Qfmax	Máxima cantidad de alimento semanal cuando la densidad inicial fue de 20 Pl/m^2	180	kg./semana/ha
M	Punto medio de un rango de tasa constante de mortalidad semanal para los siguientes Estados de la naturaleza. Puntos usados para Análisis determinístico		
	S1	1.8	%
	S2	3.6	%
	S3	5.0	%
Intercambio de agua			
En	Electricidad consumida por bomba de 250 HP	186	KWh/hora
Ef	Tasa de eficiencia de bombeo	75	%
FV	Máxima capacidad de volumen de agua de un estanque con 1 m de profundidad	10,000	m3
Aireación			
SAE	Eficiencia estándar de aireación para un aireador de paletas de 2 HP	2.02	Kg de Ox/kWh
Cs	Concentración de ox. en agua saturada	7.42	mg de Ox/litro
Cm	Concentración mínima diaria de oxígeno en estanque	2	mg de Ox/litro
Sol	Solubilidad del oxígeno en agua a 31 °C y Salinidad de 40 $^0/_{00}$	5.96	mg de Ox/litro
T	Temperatura máxima del agua	31	^0C
α	Factor de ajuste del coeficiente de transferencia de oxígeno de agua limpia al coeficiente para agua de estanque	0.92	
DesO	Concentración diaria deseada de oxígeno en estanque	6	mg de Ox/litro
MinO	Concentración diaria mínima de oxígeno	2	mg de Ox/litro

2.3-Caso 2. Estrategias alternativas de ciclos de cultivo de camarón en zonas áridas del noroeste de México: manejo del riesgo y la incertidumbre

Problema

-Comparación de la rentabilidad privada en las condiciones ambientales de la zona árida del noroeste del país de la práctica de obtener dos ciclos anuales de cultivo semi-intensivo vs un sólo ciclo de cultivo con cosechas parciales, con relación al régimen de temperatura del agua de mar, en tres sitios representativos de la zona.

-Dos estrategias en uso en la región:

D1 = Dos ciclos anuales (de 3 a 4 meses) de similar duración

D2 = Un ciclo largo (6 a 8 meses) con cosechas parciales y tallas superiores al final. Las cosechas parciales para evitar sobrecarga de biomasa en estanques (disminución del riesgo de enfermedades y de asfixia)

-El modelo utilizado.

Se compone de; un submodelo biológico que estima la biomasa, el peso de los camarones para año frío, promedio y caliente, y el alimento, todo por semana; un submodelo de recambio de agua que calcula el gasto de electricidad, y un submodelo económico mediante el cual se obtiene la ganancia, considerando solo los costos de operación en alimento, electricidad, semilla, personal, fertilizantes e imprevistos. No incluye costos fijos, financieros, impuestos ni contribuciones sociales.

El modelo bioeconómico consideró las tres zonas siguientes:

	Latitudes	Longitudes
Puerto Peñasco (Sonora norte)	31018'- 31020'	113031'- 113030'
Estero El Rancho (Sonora centro)	27055'- 27056'	110007'- 110008'
Bahía de La Paz	24020'- 24050'	110015'- 110045'

-Análisis bayesiano para comparar resultados económicos de las estrategias en las diferentes zonas. Para ello se utiliza el concepto de "estado de la naturaleza" con base en tres tipos de años: frío, promedio y caliente.

El modelo aquí utilizado es estocástico porque para variables como mortalidad, precio de mercado y temperatura del agua se utilizan distribuciones en lugar de valores deterministicos. En casos como la distribución de la variable mortalidad, se combina el método iterativo Monte Carlo con el enfoque precautorio Bayesiano para el manejo del riesgo al interior de los modelos. Asimismo, los resultados económicos principales como el valor presente neto es presentado como valores probabilísticos.

En el caso de este modelo se adoptó el llamado Enfoque Precautoria ya utilizado con éxito en el estudio de pesquerías. La sobreexplotacion o colapso de un importante numero de stocks pesqueros en el ámbito mundial (FAO, 1992) ha obligado a replantear el enfoque del consejo científico en el proceso de manejo (Ludwig *et al.* , 1993; Rosenbeg *et al.* , 1993; García, 1994; FAO, 1994; Caddy Mahon, 1995; Hilborn y Peterman, 1995). Una de las respuestas metodológicas para tales efectos es el Enfoque Precautorio. El principal objetivo de este enfoque es definir las probabilidades de riesgo de daños como consecuencia de diferentes alternativas de manejo de las pesquerías. Este riesgo potencial se plantea en términos estadísticos como "perdida esperada" (Hilbor y Peterman, 1995) o "costo potencial" en términos de beneficios sociales perdidos (Caddy y Mahon, 1995). Por otra parte, las evaluaciones pesqueras están sujetas a un importante grado de incerteza que

repercuten en el consejo dado a los administradores y reflejan solo el aspecto biológico del problema, de tal modo de que el análisis es incompleto (Pérez 1996). Ehrdhart y Legault (1994) concluyen que es evidente la necesidad de incorporar, en el ejercicio de generar un consejo científico hacia los administradores, aquellos elementos de incertidumbre que sean propios de los aspectos biológicos y económicos del sistema que se analiza. De esta manera al introducir elementos probabilísticos se tendrá que en lugar de un valor determinístico para cada resultado se puede obtener un numero mucho mayor, todos ellos distribuidos alrededor de una función de error acumulado y asociado a la incerteza de los valores de entrada utilizados en los cálculos.

Las principales fuentes de riesgo que se consideran en los dos modelos bioeconómicos aplicados aquí a la acuacultura del camarón, se refieren a la mortalidad, el crecimiento y el precio de mercado. En el caso de la mortalidad el riesgo proviene no solo de posibles errores en la obtención de la información estadística en la que se basa su parametrización, sino también a la alta incerteza que enfrentan las granjas respecto a la mortalidad resultante al final del ciclo, ya que esta depende de una gran cantidad de factores imprevisibles que van desde las enfermedades, la depredación hasta el mal manejo de los estanques. El análisis de riesgo debe definir la probabilidad de ocurrencia de un evento no deseado así como el costo o impacto asociado a tal evento (Caddy y Mahon, 1995).

Por lo que concierne a la incertidumbre respecto al crecimiento del camarón, en el modelo arriba mencionado, esta variable depende principalmente de la variable independiente temperatura del agua, que es un factor ambiental y por lo tanto sujeto a variaciones. La variabilidad del régimen de temperatura anual durante el periodo de 18 años considerado para las tres regiones del noroeste incluidas en el modelo se manejó mediante el uso del concepto "estado de la naturaleza" (Seijo et al. 1998). De acuerdo a Pérez (1996);"Frecuentemente, debido a nuestro grado de ignorancia acerca de la dinámica de la naturaleza, se requiere considerar valores probables para algunas variables de interés, cuyas magnitudes reales son desconocidas. Estas hipótesis alternativas son conocidas bajo la

denominación de " estados de la naturaleza". Así, se pueden obtener resultados a partir del modelo de simulación los cuales serán válidos en el caso de que cierta hipótesis sea correcta, es decir, existirá un análisis de riesgo para cada estado de la naturaleza considerado. De esta manera, los resultados obtenidos para distintas estrategias de manejo y para cada hipótesis acerca del probable "estado de la naturaleza" pueden ser analizados en el contexto de una análisis de decisión formal (Hilborn y Peterman, 1995; Caddy y Mahon, 1995). Ese análisis puede ser desarrollado asignando probabilidades a cada estado de la naturaleza". El análisis de decisión formal que aquí se utilizó fue el Bayesiano.

Resultados

-Según criterio bayesiano, D2 es más rentable en el norte y centro de Sonora y D1 en Bahía de La Paz.

-D2 parece más atractivo a medida que se avanza hacia el norte de la región.

-Para que D1 sea mejor opción en el norte y centro de Sonora se requiere que el precio de la primera cosecha este un 27% por encima del precio de la segunda cosecha.

Ecuaciones del submodelo biológico

Mortalidad y crecimiento del camarón

$$W_t = W_\infty (1 - e^{-(c+bT_t+dW_{t-1})(ta-t_o)})^3 \qquad (1)$$

$$W_t = 23.3 (1 - e^{-(0.01626+0.0004* T_t+0.0026*W_{t-1}) * (ta-(-17.6)})^3 \qquad (2)$$

$P =$ (0.00) (0.73) (0.81) (0.0003) (0.0041)

$R = 0.98$

$$M = (\ln(N_o)-\ln(N_t))/tp \qquad (3)$$

Donde:

W_t = Peso del camarón en la semana t (g)

W_∞ = Peso asintótico del camarón (g), [S_1, 20], [S_2, 23], [S_3, 24]

T_t = Temperatura promedio del agua de mar en la semana t

W_{t-1} = Peso del camarón en la semana anterior (g)

ta = Edad del camarón (semanas).

t_0 = Edad teórica a la cual W = 0

P = Valor *P* o nivel de significancia del coeficiente estimado

R = Coeficiente de regresión

c , *b*, *d* son constantes.

M = Tasa constante de mortalidad semanal

N_o = Población inicial de camarón (organismos)

N_t = Población de camarón en la semana t (organismos)

tp = Semanas en estanque

Biomasa y alimento por ha/semana

$$N_t = N_0 e^{-Mt} \quad (4)$$

$$B_t = N_t (W_t) \quad (5)$$

$$Qf_{t,d} = Q_{\infty,d}(1-e^{(-0.00153)B_{t,d}}) \quad (6)$$

Donde la densidad de siembra = d[18,36]

$$Qfcum_{t,d} = \sum_{t=0}^{t} Qf_{t,d} \quad (7)$$

$$QfC_{t,d} = Qf_{t,d}Pfd \quad (8)$$

$$QfCD_{t,d} = QfC_{t,d}/(1+dw)^t \quad (9)$$

$$QfCDcum_{t,d} = \sum_{t=0}^{t} QfCD_{t,d} \quad (10)$$

$$FCR_{t,d} = Qfcum_{t,d} / B_{t,d} - B_{0,d} \quad (11)$$

Donde:

N_t = Población de camarón en la semana t (organismos/ha)

N_0 = Población inicial de camarón (organismos/ha)

M = Tasa constante de mortalidad/semana

B_t = Biomasa a la semana t para densidad de siembra d (kg./ha)

$B_{0,d}$ = Biomasa a la semana 0 para densidad de siembra d (kg./ha)

$Qf_{t,d}$ = Cantidad de alimento en la semana t para densidad de siembra d (kg./ha)

$Q_{\infty,d}$ = Cantidad máxima observada de alimento/semana en una ha para densidad de siembra d

$Qfcum_{t,d}$ = Cantidad acumulada de alimento de la semana 0 a la semana t (Kg) para densidad de siembra d

$QfC_{t,d}$ = Costo de alimento en la semana t para densidad de siembra d (US$/ha)

Pfd = Precio del alimento (US$/Kg)

$QfCD_{t,d}$ = Costo descontado de alimento en la semana t para densidad de siembra d (US$/ha)

dw = Tasa de descuento por semana.

$QfCDcum_{t,d}$ = Costo descontado acumulado de alimento de la semana 0 a la semana t (US$/ha) para densidad de siembra d.

$FCR_{t,d}$ = Tasa de conversión alimenticia en la semana t para densidad de siembra d (Kg de alimento/kg. de camarón)

Ecuaciones del submodelo económico

$$VB_t = B_t PrShmp_t \quad (12)$$

$$VBD_t = VB_t/(1+dw)^t \quad (13)$$

$$OC_t = Cpc + Fcum_t + Pucum_t + Lcum_t + Cgcum_t) \quad (14)$$

$$OCD_t = OC_t/(1+dw)^t \quad (15)$$

$$OCDcum_t = \sum_{t=0}^{t} OCD_t \quad (16)$$

$$NDY_t = VBD_t - OCDcum_t \quad (17)$$

Donde:

VB_t = Valor de biomasa en la semana t (US $)

B_t = Biomasa de camarón en la semana t

$PrShmp_t$ = Precio del camarón en la semana t

VBD_t = Valor descontado de la biomasa en la semana t

dw = Tasa de descuento/semana

OC_t = Costo de operación en la semana t (Kg)

Cpc = Costo de la semilla por ciclo (US$)

$Fcum_t$ = Costo acumulado del fertilizante en la semana t (US$)

$Pucum_t$ = Costo acumulado por bombeo a la semana t (US$) (ver ecuación 23)

$Cgcum_t$ = Costo de contingencias acumulado a la semana t (US$)

$Lcum_t$ = Costo acumulado por salarios a la semana t (US$)

OCD_t = Costo descontado de operación a la semana t (US$)

$OCDcum_t$ = Costo acumulado de operación de la semana 1 a la semana t (US$)

NDY_t = Ingreso neto descontado a la semana t, o cuasi-renta a la semana t por ha (US$).

Ecuaciones del submodelo de bombeo (Intercambio de agua/ ha)

$$P_t = FV*ER_t \quad (18)$$

$$PhW_t = Ef*FV*P_t \quad (19)$$

$$Pu_t = En*PhW_t*PkWh \quad (20)$$

$$Phcum_t = \sum_{t=0}^{t} PhW_t \quad (21)$$

$$kWhcum_t = En*Phcum_t \quad (22)$$

$$Pucum_t = PkWh*kWhcum_t \quad (23)$$

Donde:

P_t = Agua bombeada por día a la semana t (m^3/ha)

FV = Máximo volumen de agua en 1 ha a 1 m de profundidad (m^3/ha)

ER_t = Tasa de bombeo por día en la semana t (%/día)

Ph_t = Horas de bombeo por día en la semana t (horas/día/ha)

Ef = Tasa de eficiencia de bombeo.

PhW_t = Horas de bombeo por semana en la semana t (horas/semana/ha)

Pu_t = Costo de bombeo por semana en la semana t (US$/semana/ha)

En = kWh por hora de operación de bombeo (kWh/hora)

PkWh = Precio del kWh (US$/kWh).

$Phcum_t$ = Horas acumuladas de bombeo a la semana t (horas/ha)

$kWhcum_t$ = kWh acumulados por bombeo a la semana t (kWh/ha)

$Pucum_t$ = Costo acumulado por bombeo a la semana t (US$/ha)

3-RESULTADOS

3.1- Caso 1

Economía del riesgo y la incertidumbre de tasas alternativas de recambio de agua y aireación en sistemas semi-intensivos de cultivo de camarón.

Se compara la rentabilidad de una granja que utiliza un sistema de cultivo semi-intensivo experimental de bajo recambio de agua (1-6% diario) con aireación artificial (en las condiciones ambientales de la zona árida del noroeste de México) contra la rentabilidad de una granja que usa el sistema tradicional de recambio (10-15% diario) sin aireación artificial.

Los resultados indican que el sistema tradicional de recambio sin aireación artificial es un poco más rentable (2 a 3 % en 10 años, con una tasa mínima de descuento del 6%) que el sistema experimental de bajo recambio con aireación artificial debido a la carga financiera que significa la adquisición de aireadores. Sin embargo el consumo de electricidad de este sistema de bajo recambio es inferior al del sistema tradicional (5,580 kWh/ha/año vs. 7,060 kWh/ha/año).

Si se supone que ambos sistemas, bajo el estado del arte de la tecnología en la región, representan tecnologías extremas, es decir el sistema tradicional utiliza el recambio estrictamente necesario para no utilizar en absoluto aireación artificial, y el otro sistema utiliza él más bajo recambio posible, usando la aireación artificial necesaria, se tiene una línea de intercambio de tal manera que por cada kWh gastado en aireación se sustituyen 1.6 kWh de recambio, lo que corrobora la opinión de algunos expertos en el sentido de que la aireación artificial es más eficiente, energéticamente hablando, que el recambio en cuanto

al suministro de oxigeno.

El resultado principal de este trabajo nos muestra que la diferencia en rentabilidad entre los dos sistemas es de tan poca magnitud que se puede inducir a los granjeros a utilizar el sistema de bajo recambio con aireación artificial mediante incentivos como créditos con tasas preferenciales o con política impositiva, por ejemplo mediante un impuesto de contaminación basado en volumen de descargas. Si tomamos como volumen de descarga máxima exenta de impuesto el utilizado por el sistema de bajo recambio de agua (95,200 m^3 /ha/año), el impuesto mínimo sería aquel que gravando el exceso de volumen descargado sobre la marca anterior, igualará la rentabilidad de los dos sistemas. De acuerdo con la anterior definición estimamos un impuesto de US$1.81/ 1,000 m^3 /ha/ año, lo que representa un pago impositivo mínimo de US$ 217/ha/año para los usuarios del sistema tradicional de recambio, ciertamente una cantidad que de acuerdo con nuestras estimaciones de rentabilidad, las granjas pueden cubrir sin verse afectados en su viabilidad económica. Con un impuesto por contaminación no mucho mayor que el arriba mencionado, los granjeros deberán preferir el uso del sistema de bajo recambio.

3.2-Caso 2

Estrategias alternativas de ciclos de cultivo de camarón en zonas áridas del noroeste de México: manejo del riesgo y la incertidumbre

El 75% de las granjas de la zona subtropical del noroeste de México operan dos ciclos de cultivo anuales y el restante 25% operan solo un ciclo. Esta estrategia parece adecuada para una zona que cuenta con un régimen de temperatura anual del agua que permite el crecimiento rápido del camarón durante la mayor parte del año Por otra parte, las dos estrategias de ciclos son utilizadas en la zona árida de la región noroeste, principalmente en el estado de Sonora. En este último caso, el régimen de temperatura del agua, con una mayor variación estacional, hace más razonable en muchos casos la obtención de una sola cosecha con un ciclo un poco más largo para obtener camarones de una talla mayor que ofrecen un buen precio en el mercado internacional. Sin embargo, a

pesar de que el invierno no es propicio para el crecimiento del camarón en esta zona árida, se pueden modificar las fechas de cosecha y siembra ante un precio excepcionalmente bueno del camarón de tallas pequeñas y medianas, de tal manera que se puedan obtener una y media o hasta dos cosechas al año, sin sacrificar rentabilidad económica. Estas son las consideraciones sobre las cuales se plantea el segundo caso de aplicación de modelos bioeconómicos.

Mediante el uso de un modelo bioeconómico se compara la rentabilidad de una granja- tipo semi-intensiva en tres sitios representativos de la zona árida, y que práctica la estrategia de obtener dos ciclos anuales cortos (3 a 4 meses) contra la rentabilidad que obtiene en el caso de que esa granja realice un sólo ciclo de cultivo largo (6 a 8 meses) con cosechas parciales para evitar sobrecarga de biomasa en los estanques que podría provocar enfermedades o asfixia. El crecimiento del camarón se hace depender fuertemente de la temperatura del agua. Los tres sitios considerados son:

	Latitudes	Longitudes
Puerto Peñasco (Sonora norte)	31° 18'- 31 ° 20'	113 ° 31'-113 ° 30'
Estero El Rancho (Sonora centro)	27° 55'- 27 ° 56'	110 ° 07'-110 ° 08'
Bahía de La Paz	24° 20'- 24 ° 50'	110 ° 15'-110 ° 45'

Los resultados muestran que la estrategia de un ciclo largo tiene mayores posibilidades de ser más rentable en el norte y centro de Sonora, mientras que la estrategia de dos ciclos cortos tiene mejores probabilidades en el sitio más sureño, es decir la Bahía de La Paz. Los resultados parecen confirmar que la estrategia de un ciclo largo tiende a ser más atractiva a medida que sé que se avanza hacia el norte de la región, y viceversa, la estrategia de dos ciclos parece mejor opción a medida que se avanza hacia el sur.

Sin embargo, los resultados no son tan concluyentes si se considera que las granjas del norte y centro de Sonora pueden optar sobre la marcha por la estrategia de dos ciclos

cortos ante un buen precio del camarón de tallas pequeñas, sobre todo al final del primer ciclo (junio-julio) cuando el camarón de pesca no compite todavía con el de acuacualtura. El modelo estima que para que sea más rentable la estrategia de dos ciclos en el norte y centro de Sonora, el precio de la primera cosecha debe estar un 15% por encima del precio normal para la primera zona y un 9% para el caso de la segunda.

Por otra parte, en el caso de zonas como Bahía de La Paz, donde estimamos que la estrategia de dos ciclos es la mejor, no estamos tomando en cuenta otros factores como son los contratos de compraventa acordados con mucha anticipación antes de la cosecha. Esta práctica comercial puede ofrecer ventajas importantes para el caso de la adopción de la estrategia de un ciclo con tallas mayores del camarón, al garantizar un precio aceptable, disminuyendo así la incertidumbre respecto al precio de mercado, Asimismo, es importante mencionar que las series de 17 años de temperatura del agua que se utilizaron para estimar el crecimiento del camarón, podrían no ser suficientemente largas como para estimar una distribución de probabilidades confiable respecto a la ocurrencia de año frío, promedio y caliente, para cada una de las zonas consideradas.

4-DISCUSION DE RESULTADOS

4.1-La camaronicultura mexicana en el contexto de la camaronicultura mundial

El rápido crecimiento de la demanda mundial de camarón esta siendo cubierta cada vez más por la producción de acuacultura, misma que ya abastece alrededor del 30% de la demanda. Los principales mercados de consumo se encuentran en los Estados Unidos, en países de Asia en especial en Japón, y en varios países latinos de Europa. La demanda se concentra en los Estados Unidos y Japón y el mercado europeo esta creciendo rápidamente. Las tallas comercializadas por la acuacultura están en un rango de tallas medianas que van de los 30 a los 50 camarones por libra. El auge de la camaronicultura ha impactado fuertemente la estructura de las tallas ofertadas en el mercado mundial a partir de la década

de los ochenta, ya que el grueso de la producción acuacultural es de tallas medianas, por lo que considerando que la pesquería aporta también un volumen considerable de tallas medianas, es frecuente que se presente una sobreoferta en esas tallas, con la consiguiente disminución en sus precios.

Los precios internacionales del camarón en las tallas medianas producidas por la acuacultura presentan una mayor variación que las tallas grandes provenientes mayoritariamente de la pesca, lo que introduce un importante elemento de incertidumbre para la planeación de la producción de los acuacultores. La variabilidad de los precios se debe tanto a bruscos cambios en la oferta como en la demanda. La oferta mundial de camarón capturado depende en gran medida de las condiciones ambientales, en tanto que la oferta de la acuacultura, claramente ascendente en el mediano y largo plazo, presenta en el corto plazo caídas en el volumen producido como consecuencia de epizootias que azotan repentinamente a las grandes zonas productoras. Por el contrario, cuando no se registran epizootias importantes, la oferta de la acuacultura tiende a crecer de tal manera que puede inundar los mercados y presionar hacia la baja a los precios, en especial, como ya se mencionó, los precios de las tallas medianas. Por lo anterior podemos afirmar que el desarrollo de la camaronicultura mundial en el mediano y largo plazo sé esta dando en un ambiente de intensa y creciente competencia por los mercados.

La tecnología y las estrategias de producción camaronícola están cambiando rápidamente al impulso de los siguientes factores:

-La intensa competencia entre productores en el mercado que obliga elevar rendimientos biológicos y económicos y/o a bajar costos.

-La necesidad de controlar enfermedades del camarón cultivado como las conocidas como "síndrome del Taura", "mancha blanca" y otras que se están extendiendo cada vez más de país a país. La creciente demanda de postlarvas de laboratorio ha puesto de relevancia el problema del abastecimiento de reproductores silvestres. La captura de reproductores esta

provocando conflictos entre los recolectores de postlarvas y los pescadores de camarón, lo que ha llevado a la implantación de severas regulaciones para la captura, en ciertas regiones. Esto, a su vez obliga a algunos laboratorios a obtener reproductores de dudosa calidad sanitaria de otras regiones, con lo que ha aumentado el peligro de dispersión de enfermedades de unas regiones a otras, por la vía de los laboratorios.

-Las crecientes restricciones ambientalistas que obligan a reducir las descargas de agua contaminantes y a un uso sustentable de los recursos costeros bioticos y abióticos que utiliza este sector. No obstante que se ha demostrado que los suelos de manglar no son convenientes para la camaronicultura, algunas granjas localizadas en tales comunidades vegetales han dañado zonas mediante la modificación, tala o destrucción del manglar. En varios países como Ecuador se ha estudiado este problema dando como resultado regulaciones que impiden la localización y la expansión de granjas en zonas de manglar, así como medidas de reforestación de manglares ya invadidos.

El cambio tecnológico esta muy orientado hacia la intensificación del cultivo del camarón. En la búsqueda de mayores rendimientos, los productores rápidamente han tratado de incrementar las densidades de cultivo, como resultado de la disponibilidad en el mercado de alimentos balanceados y de postlarvas. Así nació primero el cultivo semi-intensivo, el cual permitió incrementar los rendimientos a niveles superiores a la tonelada por hectárea. Muchos productores entraron en una carrera por incrementar sus rendimientos anuales incrementando gradualmente los niveles de densidad. Esta carrera pronto demostró sus puntos críticos; mayor aportación de materia orgánica y nutrientes a los estanques, problemas con la regulación de los niveles de oxigeno en los estanques y la aparición de altas mortalidades. El proceso de intensificación se ha sustentado mucho hasta ahora en el método de prueba y error, lo que ha sido uno de los problemas más importantes en la curva de aprendizaje de los productores.

Otra dirección de la tecnología es hacia el uso de sistemas cerrados, donde se evita o se abate considerablemente la descarga de agua hacia los sistemas costeros, utilizando al

mismo tiempo tecnologías biológico-sanitarios de cultivo intensivo, con estricto control de la alimentación, de las condiciones sanitarias y asimismo con una tendencia hacia cerrar el ciclo biológico del camarón bajo cultivo, es decir, abordar el cultivo de reproductores, larvas, postlarvas y no-solo de juveniles y adultos. La creciente complejidad de estos sistemas exige un elevado nivel de manejo ingenieril y biológico-sanitario que solo puede ser satisfecha con experiencia y personal capacitado, así como con el equipo e instalaciones adecuadas, lo cual plantea problemas muy importantes de capacitación de personal, niveles altos de inversión, de innovación y adaptación tecnológica y de administración.

Los principales rubros de costos de producción en la camaronicultura (sin considerar costos financieros y de comercialización) son el alimento balanceado, la semilla y la mano de obra, mismos que representan alrededor del 80% del costo de operación de las granjas. Las alternativas tecnológicas principales que se conocen o que están en desarrollo para abatir los costos de alimentación son:

-Alimentación a base de comederos. Este sistema de alimentación tiene la ventaja de permitir la dosificación del alimento de acuerdo con la velocidad del consumo con lo que se evita el problema de la sobrealimentación. La desventaja es que se requieren más y mejores trabajadores en los estanques que con el sistema tradicional de voleo.

La gran mayoría de las granjas en México practican la alimentación "al voleo", es decir, se esparce manualmente el alimento en el estanque. Este método provoca una gran cantidad de desperdicio de alimento, lo cual su vez aumenta la cantidad de materia orgánica en descomposición en el estanque, aumentando la posibilidad de enfermedades y caídas de oxígeno, y por lo tanto el riesgo de altas tasas de mortalidad. Las altas concentraciones de materia orgánica en los estanques atentan en contra de la sustentabilidad de la camaronicultura porque las descargas de agua son más contaminantes para los cuerpos de agua costeros de donde las granjas se abastecen de agua de mar. Es necesario que los granjero mexicanos adopten cada vez más estas nuevas prácticas de alimentación más eficientes como la que se basa en la utilización de charolas o "comederos" distribuidos

estratégicamente en los estanques y que permiten observar el consumo diario de alimento estanque por estanque, permitiendo dosificarlo de acuerdo al apetito de los camarones.

-Manejo de la productividad de los estanques, para que los camarones dispongan de suficiente y adecuado alimento natural, para que consuman menos alimento industrial. Esto es aplicable a los casos de los cultivos extensivos y semi-intensivos.

-Mejoramiento de las formulaciones y presentaciones del alimento industrial. Se busca aumentar la capacidad nutritiva, la digestibilidad y la asimilación del alimento. Se busca asimismo que los procesos industriales mejoren la consistencia y la presentación de las partículas de alimento, para evitar que se disuelvan en el agua demasiado rápido, y que al mismo tiempo tengan el tamaño apropiadas para las diferentes tallas de camarón.

-Mejoramiento genético de la semilla para que aprovechen mejor el alimento.

En términos generales, la camaronicultura ha encontrado su punto económico óptimo con ciclos de cultivo cortos y con tallas medianas, sin embargo el mejoramiento continuo y acelerado de la tecnología de engorda y de obtención de semilla mejorada le esta permitiendo a algunas granjas producir ya tallas mediana-grandes, cuyo precio es más estable y atractivo, por lo que han mejorado su rentabilidad. Aquí cabe mencionar el auge del cultivo de camarón azul con semilla mejorada, en el estado de Sonora, en donde se están obteniendo tallas medianas-grandes de gran aceptación en el mercado estadounidense, gracias a la relativamente alta velocidad de crecimiento de esta especie mejorada.

Las principales líneas de desarrollo tecnológico orientadas a dar solución al problema de los efectos negativos de las descargas de agua de las granjas camaroneras, están dirigidas hacia la disminución de los aportes de materia orgánica en las aguas residuales y hacia la diminución de las propias descargas de esas aguas. Para disminuir la materia orgánica en el agua a descargar se están buscando alimentos balanceados más asimilables por el camarón y que dejen menos deshechos, así como el uso de aireación

artificial para aumentar la oxidación de esos deshechos. Asimismo, se están experimentando sistemas de bajo recambio de agua complementadas con aireación artificial. Para solucionar el problema de la contaminación, otras líneas tecnológicas prometedoras son el policultivo de camarón con organismos filtradores como los moluscos, el uso de biofiltros como los manglares y el tratamiento de las aguas de descarga.

Independientemente de la aplicación de nuevas tecnologías para disminuir la contaminación por medio de las aguas de descarga, es necesario evitar la contaminación de los cuerpos de agua receptores más allá de su capacidad de asimilación. Los expertos recomiendan controlar estrictamente la extensión y grado de intensidad de siembra de los cultivos según la capacidad de asimilación de los cuerpos receptores, y el uso obligado de sistemas de alimentación a base de comederos o charolas que minimizan el uso de alimento al dosificarlo mejor que el tradicional sistema de voleo manual del alimento. Todo esto implica un esfuerzo considerable de investigación sobre los cuerpos de agua receptores donde se localizan con mayor intensidad las granjas o donde potencialmente se pueden ubicar estas.

Para una eficaz regulación de la contaminación por descargas de las granjas camaroneras, los expertos recomiendan que las instituciones reguladoras consideren a cada sistema costero como una unidad biológica y ecológica, cuyas particularidades deben ser consideradas para el diseño y aplicación de las medidas regulatorias relacionadas con las descargas de las granjas.

La camaronicultura mexicana contaba en el año de 1997 con 256 granjas establecidas en 17,888 hectáreas, donde se producen alrededor de 20,000 ton de camarón, lo que convierte al país en el segundo productor más importante del hemisferio occidental. Esta actividad se ha convertido en una importante actividad económica en México, donde genera unos 10,000 empleos directos. El crecimiento de la camaronicultura es utilizado como un importante medio para fomentar el desarrollo rural, esto es muy claro en el caso de los parques acuícolas en Sonora. En 1997 este programa de parques acuícolas

comprendía 4,961 ha de cultivo de las que dependían 2,440 familias generando ingresos superiores a los US $15 millones. El éxito de este programa se sustenta en el uso común de grandes canales de abastecimiento y de descarga y en el cooperativismo como forma de organización de las granjas medianas y pequeñas que forman el parque. Esta forma de operación, permite la obtención de economías de escala en el uso de las instalaciones comunes a granjas cuyo tamaño mediano y pequeño de otro modo no podrían conseguir. Sin embargo es importante mencionar que el modelo de parques acuícolas dirigido al sector de cooperativas requiere para que sea exitoso de una gran inversión pública para construir la infraestructura básica, así como de una buena disciplina de trabajo y una aceptable administración por parte de los cooperativistas, condiciones que se conjuntaron en el caso de la experiencia sonorense y que podrían ser difíciles de encontrar en otras regiones del país.

El valor de la producción de camarón cultivado en México ha crecido de 1988 a 1997, de 3,030.5 a 108,661 miles de dólares estadounidenses, lo que representa un incremento nominal del 3,585 %. Este gran incremento se explica por el aumento acelerado del volumen de producción, ya que el precio durante ese periodo se estabiliza alrededor de los 5,000 dólares /ton. como promedio. La excepción en cuanto al crecimiento constante de la producción es el año de 1996 cuando la producción camaronícola cayó un 17 % con relación a 1995, esto como consecuencia de epizootias en las granjas del estado de Sinaloa, en especial la enfermedad del camarón llamada Síndrome de Taura. Este año marca el ingreso de la camaronicultura mexicana al grupo de países productores que han sufrido el flagelo de epizootias masivas en la camaronicultura, lo que esta obligando a poner más atención a los factores que inciden en la aparición de este tipo de enfermedades, así como a las medidas precautorias y de corrección que se requieren.

El aspecto de la rentabilidad de los diferentes tipos de granjas en México debe ser más estudiado, ya que es un aspecto de la industria que debe ser conocido para:

-Detectar las áreas de operación de las granjas donde existen problemas, mismos que

pueden manifestarse por medio de costos anormalmente altos, o ingresos anormalmente bajos.

-Evaluar la fortaleza económica de las granjas para enfrentar precios bajos en el mercado, costos adicionales por la introducción de prácticas o tecnologías ambientalmente más amigables, medidas sanitarias precautorias y eventuales impuestos que gravarían las descargas de agua contaminantes.

Un estudio de 10 granjas localizadas en 4 parques acuícolas del sur de Sonora nos da una idea aproximada de la estructura de costos de las granjas del país. A precios de 1997, el costo total se estimó en $34.80/kg de camarón obtenido, del cual un 94% es costo variable (incluyendo los costos de procesamiento y comercialización por $9.64/kg), y el 6% es costo fijo. No se consideran los costos financieros, ni la depreciación. El costo total por ha fue de $88,711, de los cuales el costo variable montó $83,669/ha (incluyendo los costos de procesamiento y comercialización por $24,594/ha), en tanto que el costo fijo se estimó en $5,042/ha. Según estos datos, los cuatro conceptos de costo más importantes son alimento (28%), costos de procesamiento y comercialización (28%), postlarva (15%) y sueldos (8%), mismos que de manera acumulada representan el 79% del costo total.

El promedio de los ingresos brutos de las 10 granjas estudiadas se estimó en $61.11/kg y $166,404/ha, mismos que al deducirles los costos totales arrojan una utilidad bruta antes de impuestos y sin considerar gastos financieros y depreciación de $29.31/kg y $77,687/ha. De acuerdo con estas cifras la relación utilidad bruta/costo total es de 84%, lo que indica una alta rentabilidad económica. Estos resultados coinciden en lo general con la estimación de una rentabilidad alta bajo condiciones de incertidumbre en la tasa de mortalidad del modelo bioeconómico utilizado en el artículo aquí incluido para evaluar un sistema de bajo recambio de agua. Sin embargo estos estudios de rentabilidad de la industria deben de efectuarse sistemática y constantemente, tratando de cubrir los diferentes tipos de granja en cuanto a intensidad de cultivo, tamaño de la granja y de los estanques, especie cosechada y estrategias de ciclos de producción en las diferentes zonas

productoras.

4.2-Dos casos de aplicación de modelos bioeconómicos a problemas relevantes de las granjas mexicanas

Los modelos pueden hacer predicciones razonables acerca de las consecuencias de varias estrategias de manejo en la acuacultura. Los modelos pueden reunir conocimiento teórico, de laboratorio y de campo en un todo consistente, para identificar áreas donde falta conocimiento, o es escaso o inconsistente, por lo tanto, el obtener conocimiento por medio de un modelo puede ser más barato que experimentar en el mundo real. Este es el caso del modelo aplicado para evaluar la factibilidad económica de una granja semi-intensiva tipo de 100 ha. que utilice un sistema experimental de bajo recambio de agua en el noroeste de México.

Un modelo bioeconómico puede también ser visto como una descripción matemática de una empresa acuacultural interrelacionando sus elementos biológicos, fisicos-ambientales y económicos para un análisis holistico y sistemático. Este es el caso del modelo bioeconómico aplicado para evaluar la rentabilidad por ha de empresas semi-intensivas típicas bajo diferentes regímenes de temperatura de agua en tres sitios de la zona árida del noroeste de México.

5-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La camaronicultura mexicana ha alcanzado un nivel de desarrollo y presenta una potencialidad tal que merecen mayor atención por parte de las instituciones públicas y privadas que buscan su fomento o su regulación. El síntoma más evidente que respalda esta afirmación es la aguda falta de información sobre el sector, carencia que se presenta tanto en los niveles micro (granja) como macro (sector y regiones), así como en los diferentes aspectos como el tecnológico, el ambiental, el de administración y el económico-

comercial.

Es urgente que se genere esa información de una manera sistemática para que las instituciones de fomento o regulación hagan un buen trabajo. En lo que concierne a las instituciones de investigación involucradas, se están realizando cada vez más trabajos de investigación sobre el aspecto tecnológico, pero no apreciamos la misma dinámica en lo referente a los aspectos ambiental, administrativo y económico-comercial. En un contexto internacional tan competitivo como el de la camaronicultura, el dominio de las tecnologías no garantiza el éxito y desarrollo de la actividad. En las condiciones de intensa competencia a las que se enfrenta la camaronicultura mexicana, se requiere investigación y conocimiento que sirvan para mejorar el manejo administrativo de las granjas, así como lo que se refiere a estrategias de producción y comercialización que tengan un sólido sustento de análisis económico, comercial y financiero, aspectos todos que están muy interrelacionados entre si.

Un instrumento poderoso para llevar a cabo esos análisis es el modelaje bioeconómico, porque permite interrelacionar los aspectos administrativo, económico, comercial y financiero con los aspectos tecnológicos y ambientales. Creemos que a semejanza del camino recorrido en otros piases algunas de las áreas prioritarias para la modelación bioeconómica en el caso mexicano son:

-Tamaño de granjas y estanques e intensidad de cultivo y su relación con la rentabilidad.

-Estrategia de manejo de ciclos-tallas objetivo, y rentabilidad

-Sensibilidad de la rentabilidad (costos e ingresos) ante los diferentes escenarios de manejo y tamaño de la granja.

-Sensibilidad de los costos ante los diferentes diseños y manejos de los subsistemas de alimentación, estanquería (agua, fondos, recirculación) y aireación.

-Evaluación de la rentabilidad de paquetes tecnológicos adecuados para las granjas del país.

-Evaluación del impacto económico de medidas reales o en proyecto del gobierno para efectos de regulación y de fomento de la industria. .

REFERENCIAS

Allen P.G., BostfordL.W., Shuur A.M., y W.E. Johnston, 1984. *Bioconomics of Aquaculture.* Elsevier Amsterdam.

BANCOMEXT (1998). Guía para el Cultivo de Camarón en Granjas Camaronícolas del Estado de Sinaloa. BANCOMEXT

Cacho, Oscar J. (1997). Systems modelling and bioeconomic modelling in aquaculture. Aquaculture Economics & Management No 1, Vol. 1, March 1997.

Caddy, J.F. y R.Mahon. 1995. Reference points for fisheries management. FAO Fisheries Technical Paper No 347.

Clark,C.W., 1985. *Bioeconomic Modelling.and Fisheries Management* Jhon Wiley & Sons, New York.

Ehdhart, N. y C. Legault. 1994. Evaluación de recursos pesqueros. Manual I. Programa de Capacitación en Evaluación de Recursos. Instituto de Fomento Pesquero, Centro de Servicios Pesqueros (Chile) y Universidad de Miami.

FAO, 1992. Review of the state of world fisheries resources: Part I. The marine resources. FAO Fisheries Circular C710 (REV 8).

FAO, 1994. References points for fisheries management: their potential application to stradling and highly migratory resources. FAO Fish. Circular No 864.

García, S.M. 1994. The precautionary approach to fisheries with reference to straddling fish stocks and highly migratory fish stocks. FAO Fisheries Circular No 871.

Hilborn, R, y R. Peterman, 1995. The developepment of scientific advice with incomplete information in the context of precautionary approach. Technical consultation on the precautionary approach to capture fisheries. Lysekil, Sweeden 6-13 june 1995.

Lambregts A. D. y Griffin Wade L. Supply Relations and Costs of Shrimp Mariculture and Shrimp Fisheries. In Fast and Lester (editors) Marine Shrimp Culture: Principles and Practices. Elsevier, 1992.

Leung, PingSun y El-Gayar, Omar E (1997). The Role of Modelling in the Managing and Planning of Sustainable Aquaculture. In Sustainable Aquaculture, John E. Bardach editor, John Wiley & Sons, 1997.

Ludwig, D.R. Hilborn y C. Walters. 1993. Uncertainty, resource exploitation, and conservation: Lessons from history. Science 260

Magallon, F. y Saenz P. G., 1989. Análisis de las posibilidades del cultivo del camarón en el Pacífico mexicano. Instituto Nacional de la Pesca, Serie Documentos de Trabajo, Año 1, N° 7, septiembre 1989, 29 pp.

Martínez Cordero Francisco J., 1993. Análisis Bioeconómico de un cultivo larvario de Penaeus vannamei, Tesis de maestría, CINVESTAV-Mérida.Mérida Yuc.

Secretaría. de Desarrollo Económico y Productividad del Edo. de Sonora, 1993 in Primer Taller Binacional (Mexico-USA), Producción, Procesamiento y Comercialización del Camarón de Cultivo)

Secretaría de Pesca de México, Anuario Estadístico de Pesca 1992.

Secretaría de Pesca de México, México D.F., 118 pp.

SMARNAP-BANCOMEXT. Oportunidad de Negocio, Camarón, Penaeus vannamei, Granja Camaronícola 100 Hectáreas. Proyecto SMARNAP-BANCOMEXT, abril, 1995.

Pérez Espinosa, Eduardo P. (1996). Análisis de la Pesquería de *Mesodesma donacium* en el Banco de Peñuelas (Chile, IV Región), Bajo Condiciones de Riesgo e Incertidumbre. Tesis de maestría. Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional en Mérida Yucatán, marzo de 1996.

Ploeg,Van der, S.W.F. Braat, L.C.& Van Lierop, W.F.J.1987. Integratrion of resource economics and ecology. Ecological Modelling, 34.

Rosenberg, A.M. Fogarty, M. Sissenwine, J. Beddington y J. Shepard. 1993. Achieving sustainable use of renewable resources. Science 262.

Seijo, J.C., Defeo, O. and Salas, S. (1998). *Fisheries bioeconomics: theory, modeling and management*. FAO Fish.Technical Pap. 368:176p. Rome

Tian,X., Leung P., and Hochman, E., 1993. Shrimp growth functions and their economic implications. Aquacultural Engineering 12, 81-96

APENDICE

Publicación I

Martínez, J. Antonio and Seijo, J.Carlos.

Economics of risk and uncertainty of alternative water exchange and aeration rates in semiintensive shrimp culture systems.

Economics Aquaculture & Management.

Publicación II

Martínez, J. Antonio and Seijo, J.Carlos.

Alternative cycling strategies for shrimp farming in arid zones of Mexico: dealing with risk and uncertainty.

Marine Resource Economics.

Publicación III

Martínez de la Torre, J. Antonio, Magallón, Francisco y
Lluch Belda, Daniel.

Caracterización de la camaronicultura de México en el contexto mundial

Oceánides.

Índice de tablas y figuras

Economics of risk and uncertainty of alternative water exchange and aeration rates in semiintensive shrimp culture systems.

Página

-Table 1. States of nature and probability of occurence . ---------- 7
-Table 2 Main economic outcomes for a 100 ha semiintensive shrimp farm in northwest Mexico by three states of nature and two production systems with different water exchange and aeration rates. 10 years at 6% discount rate. --------- 7
-Table 3. Sensitivity of economic yield (NPV) for TS and LAS in 10 years, with respect to energy price and opportunity cost of capital, under state of nature S_2. ---------- 9
-Table 4. NPV risk analysis for a 100 ha semiintensive farm in northwest Mexico. ---------- 10
-Table 5. Estimation of a minimum pollution tax on discharges exceeding LAS level, under state of nature S_2. ---------- 12
-Table 6 Economic, biological, and physical parameters and main assumptions used in the bioeconomic model. ---------- 12
-Figure 1. Bioeconomic model. ---------- 4
-Figure 2. Trade off between energy consumption in water exchange and Aeration. ---------- 9
-Figure 3. Investor risk factor-NPV/ha trade off for TS in 10 years.---------- 10

Alternative cycling strategies for shrimp farming in arid zones of Mexico: dealing with risk and uncertainty.

Página

-Table 1. Temperature states and probabilities of occurence. ---------- 4
-Table 2. Mortality rate/week distribution. ---------- 4
-Table 3. Quasi-rent ($US) of variable costs/ha per cycling strategy. ---------- 4
-Table 4. Conditional losses ($US)/ ha per cycling strategy. ---------- 9

Caracterización de la camaronicultura de México en el contexto mundial

-Tabla 1. Producción mundial de camarón 1984-1997. ---------- 1
-Tabla 2. Rendimientos por ha y cosecha en varios países. ---------- 3
-Tabla 3. Productividad por superficie de varios países en la producción. de camarón de acuacultura, año de 1998. ----------3
-Tabla 4. Costo total por Kg de camarón. ----------4
-Tabla 5. Costos de operación de granjas camaroneras de 5 países, año de 1982. ----- 4
-Tabla 6. Laboratorios productores de postlarva de varios países y cobertura promedio por ha. año de 1998. ----------12
-Tabla 7. Producción de camarón total, por pesca y acuacultura en México, 1987-1998. ----------17

Página

-Tabla 8. Volumen y valor de la producción de camarón de acuacultura en México 1984-1998. ---------- 18
.-Tabla 9. Estimación de la demanda por origen de postlarva por las granjas mexicanas en 1998. ---------- 19
-Tabla 10. Clasificación de cultivos según intensidad de siembra y FCA de un grupo de granjas en México. ---------- 21
-Gráfica 1. Producción mundial de camarón, total, captura y acuacultura, 1987-1994. ---------- 1
-Gráfica 2. Producción de camarón de pesca y acuacultura en México, 1987-1997. ---------- 17
-Gráfica 3. Valor de la producción de camarón de acuacultura en México 1985-1997. ---------- 18
-Gráfica 4. Valor por tonelada de camarón de acuacultura producido en México, 1985-1997 ---------- 18