

00381



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

EL MARCO TEORICO Y PRACTICO DE LA
ACUICULTURA MEXICANA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE
DOCTOR EN CIENCIAS (BIOLOGIA)
P R E S E N T A

SILVIA DELIA LOZANO GRACIA

281850

MEXICO, D.F

2000



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**EL MARCO TEORICO Y PRACTICO DE LA
ACUICULTURA MEXICANA**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE
DOCTOR EN CIENCIAS (BIOLOGIA)
P R E S E N T A**

SILVIA DELIA LOZANO GRACIA

DIRECTOR DE TESIS: DR. JOSE LUIS ARREDONDO FIGUEROA

RESUMEN.

El objetivo de este trabajo fue el de disponer de un marco teórico y práctico de la acuicultura mexicana. Para ello se realizó una investigación minuciosa de todos los documentos bibliográficos y de experiencias disponibles que se han llevado a cabo en diferentes épocas históricas en nuestro país. El documento final se organizó en siete capítulos principales. El primero de ellos analiza los conceptos y definiciones de la acuicultura, los modelos de producción, los niveles de intensidad y los principales organismos que se cultivan en México. El segundo ubica los antecedentes históricos de esta actividad a partir de la época prehispánica hasta el momento actual. El tercer capítulo enmarca el escenario biogeoeconómico en el cual se desenvuelve la acuicultura nacional, regionalizando al país en cuatro zonas: Norte, Centro-Occidente, Sur y Sudeste, cada una de ellas presenta características propias con respecto a su desarrollo geoeconómico, a las especies potenciales y de cultivo, a los cuerpos de agua y a las granjas comerciales que operan de manera comercial. En el siguiente capítulo se indica la infraestructura actual de que dispone el país, separando por un lado a las unidades de producción o granjas comerciales y por otro a los centros acuícolas. A continuación, se hace un énfasis en las especies potenciales y de cultivo con las que cuenta el país y sus posibilidades para ser utilizadas en proyectos de investigación y productivos que impulsen el desarrollo de la actividad acuícola; en esta parte se hace una alusión a las ventajas y desventajas que presenta la introducción de especies nativas a sitios ajenos a su distribución original y las especies exóticas procedentes de otros países que fueron introducidas en diferentes épocas. En el capítulo sexto se hace un análisis de los principales modelos de producción que se han aplicado en nuestro país para el cultivo del camarón (géneros *Litopenaeus* y *Farfantepenaeus*), el langostino (género *Macrobrachium*), el ostión (género *Crassostrea*), tilapia (géneros *Tilapia* y *Oreochromis*), trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) y carpas de la familia Cyprinidae. Para cada especie se abordan de manera general los aspectos relacionados con las principales especies que se cultivan, sus antecedentes, su producción en los últimos años, su ciclo biológico, sus parámetros de calidad del agua y las tecnologías de cultivo.

Finalmente, como corolario de todos los capítulos anteriores en el séptimo se realiza un análisis del significado y la trascendencia de la acuicultura sustentable, partiendo de la definición y la aplicación de este concepto, así como de otros que se encuentran en la discusión en los foros internacionales como son: a) la seguridad alimentaria, b) la pesca responsable, c) el uso de la tecnología apropiada y d) los factores políticos, económicos y sociales que afectan su desarrollo y la aplicación de este concepto en nuestro país.

ABSTRACT

The main objective of this work was to generate a theoretical and practical framework of Mexican Aquaculture. An extensive bibliographic research was realised based on published data and available information of different historical periods in our country. The final document was organised into seven chapters. The first one analyses and discusses aquacultural concepts and definitions, technological models and levels and the main organisms cultivated in Mexico. The second chapter is a historical review of this activity since prehispanic period until nowadays. The third chapter, shows the geoeconomical scenery development of national aquaculture and divide the country into four regions; North, Central-Occident, South and Southeast, each one with their own potential characteristics and aquacultural species, water bodies and including different commercial farms operating in each zone. Chapter four describes the productive infrastructure in two main groups; the commercial farms and the hatcheries located in all over around Mexican Republic. The next chapter described the potential species of aquatic organisms to be utilised in research and productive projects in order to promote aquaculture development, with special emphasis on the advantages and disadvantages of no-native species introduction. In chapter sixth the main technological models utilised in our country for shrimp culture (genus *Litopenaeus* and *Farfantepenaeus*), prawn culture (*Macrobrachium*), oyster culture (*Crassostrea*), tilapia culture (genus *Tilapia* and *Oreochromis*), rainbow trout culture (*Oncorhynchus mykiss*) and carps culture (Cyprinidae Family) are described. It includes general aspects of each of the species, background, standing crop, biological cycles, water quality and technologies.

Finally, as a result of the analysis of all chapters the meaning impact of the sustainable aquaculture is described, discussing definitions and application of the concept, and others such as: a) security food, b) responsible fishery, c) appropriated technology and d) politics, economic and social events that affect the application of this concept in our country.

CONTENIDO

I. PRESENTACION	1
II. MARCO TEÓRICO	2
Definición de la acuicultura	4
Modelos de producción	6
Niveles de intensidad	10
Principales organismos que se cultivan en México	12
III. ANTECEDENTES HISTÓRICOS	17
Epoca Prehispánica	17
La Colonia	18
La Independencia	19
La Revolución y el período postrevolucionario	21
Época actual (1980-a la fecha)	26
Aspectos legales, administrativos y políticos de la acuicultura	30
IV. ESCENARIO BIOGEOECONÓMICO DE LA ACUICULTURA	36
Tipos de climas	37
Vegetación	37
Hidrología	38
Indicadores de población, analfabetismo y mortalidad	40
Alimentación y contribución de la pesca y la acuicultura	42
Las regiones acuícolas	45
V. INFRAESTRUCTURA PRODUCTIVA PARA LA ACUICULTURA	58
Unidades de producción acuícola	58
Centros de producción acuícola	61
VI. LAS ESPECIES	65
Impacto de la introducción de especies nativas y exóticas	70
VII. DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES MODELOS DE PRODUCCIÓN	73
CRUSTACEOS	
Camarones marinos (<i>Litopenaeus</i> y <i>Farfantepenaeus</i>)	73
Antecedentes	76
Ciclo biológico	78
Factores ambientales	79
Tecnologías de cultivo	82
Laboratorios productores de postlarvas	88
Alimentación	93
Langostinos y acamayás (<i>Macrobrachium spp.</i>)	96
Antecedentes	97
Ciclo biológico	100

Factores ambientales	102
Tecnologías de cultivo	104
Cultivo de larvas	108
MOLUSCOS	
Ostiones (<i>Ostrea y Crassostrea</i>)	111
Antecedentes	113
Ciclo biológico	116
Factores ambientales	119
Tecnologías de cultivo	121
Laboratorios de producción de ostrillas	128
PECES	
Mojarra-Tilapia (<i>Tilapia y Oreochromis</i>)	132
Antecedentes	134
Ciclo biológico	135
Reproducción	137
Factores ambientales	139
Tecnologías de cultivo	141
Alimentación	144
Trucha arco iris (<i>Salmonidae</i>)	148
Antecedentes	150
Ciclo biológico	152
Factores ambientales	154
Tecnologías de cultivo	157
Alimentación	164
Carpas (Familia <i>Cyprinidae</i>)	166
Antecedentes	168
Ciclo biológico	170
Factores ambientales	172
Tecnologías de cultivo	175
VIII. LA ACUICULTURA SUSTENTABLE	188
La seguridad alimentaria y pesca responsable	191
El papel que desempeñan los sectores público, privado y social	193
El impacto de la tecnología y la tecnología apropiada	195
El impacto al medio ambiente	198
Los factores sociales, económicos y políticos	202
IX BIBLIOGRAFÍA	206

RELACION DE TABLAS

	Página
1. Población total por entidad federativa (1990, 1992 y 1995).	40
2. Principales productos alimenticios y su composición.	44
3. Volumen de captura por acuicultura en peso vivo, expresado en miles de toneladas del periodo de 1989-1998.	45
4. Especies que se capturan en las presas de la Zona Norte.	47
5. Especies de moluscos con importancia en la acuicultura de la Península de Baja California.	50
6. Unidades de producción reportadas en 1988, 1995 y 1998	59
7. Centros Acuícolas pertenecientes a la Secretaría de Pesca en 1991.	62
8. Especies susceptibles de cultivo.	65
9. Especies de camarones peneidos con potencial para el cultivo en México.	73
10. Número de granjas, superficie abierta al cultivo y producción en 1998.	77
11. Condiciones óptimas y críticas para el cultivo de camarón.	80
12. Indicadores de los diferentes niveles tecnológicos utilizados en México para el cultivo de camarón.	83
13. Técnicas de reproducción que se utilizan en el ámbito mundial.	92
14. Especies del género <i>Macrobrachium</i> presentes en México.	97
15. Características y tiempo de duración de los diferentes subestadios desde zoea a poslarva (a una temperatura superior a 26 C). Adaptado de Holtschmit (1988).	101
16. Parámetros óptimos y críticos para el cultivo del langostino.	102
17. Tecnologías de cultivo practicadas en México.	104
18. Principales especies de ostiones cultivados en México.	112
19. Zona y períodos de reproducción de ostión en el Golfo de México (<i>C. virginica</i>).	118
20. Zonas y períodos de reproducción de ostión en el litoral del Pacífico Mexicano (<i>C. corteziensis</i>).	119

21. Niveles óptimos y críticos de la calidad del agua en el cultivo de ostión.	119
22. Diferentes tecnologías utilizadas en el cultivo de ostión en México.	121
23. Laboratorios productores de semilla de ostión Japonés.	128
24. Especies, variedades e híbridos de tilapia introducidos y cultivados en México	132
25. Diferencias entre los géneros <i>Tilapia</i> y <i>Oreochromis</i> .	138
26. Indicadores de reproducción de <i>O. niloticus</i> .	138
27. Parámetros de calidad del agua para lograr una buena supervivencia, crecimiento y reproducción de la <i>Tilapia</i> .	139
28. Resumen de técnicas utilizadas para el cultivo de la <i>Tilapia</i> en México.	142
29. Parámetros de calidad del agua requeridos para el cultivo de la trucha arco-iris.	154
30. Tecnologías de cultivo de trucha arco-iris utilizadas en México.	158
31. Ventajas y limitaciones para el cultivo de peces en jaulas.	161
32. Especies de carpas que se cultivan en México.	166
33. Datos de la Biología de la reproducción de los ciprínidos que se cultivan en México.	171
34. Intervalos óptimo y crítico de los parámetros de calidad de agua para el cultivo de carpas.	173
35. Comparación de los modelos tecnológicos aplicados a la acuicultura.	197

RELACION DE FIGURAS

Página

1.	Relaciones entre la agricultura y la acuicultura.	3
2.	Estrategias de alimentación en los tres sistemas de acuicultura, en el que se consideran tres aspectos fundamentales: a) la densidad de los organismos, b) el alimento endógeno (productividad natural del cuerpo de agua) y c) el alimento exógeno (alimento suplementario o balanceado).	12
3.	Especies de peces cultivadas en México (de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha): tilapia Rocky Mountain (híbrido producto de la cruce de <i>Oreochromis aureus</i> y <i>O. niloticus</i>), carpa barrigona (<i>Cyprinus carpio carpio</i>), trucha arco iris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>), carpa cuero (<i>Cyprinus carpio</i>) y tilapia (<i>Oreochromis aureus</i>).	13
4.	Especies cultivadas en nuestro país: en el primer recuadro dos especies nativas de langostino (<i>Macrobrachium tenellum</i> y <i>M. acanthurus</i>), en el segundo recuadro el langostino gigante de Malasia (<i>Macrobrachium rosenbergii</i>), en el tercer recuadro el ostión Japonés (<i>Crassostrea gigas</i>) y en el cuarto recuadro la langosta de quelas rojas (<i>Cherax quadricarinatus</i>).	14
5.	Especies marinas que se cultivan en México. En el recuadro de la izquierda se observa el desdoble de mejilón (<i>Mytilus galloprovincialis</i>); en el recuadro superior derecho la extracción del callo de la almeja catarina (<i>Argopecten circularis</i>) y en el inferior derecho el camarón blanco (<i>Litopenaeus vannamei</i>) cultivado en estanques en el estado de Sinaloa.	16
6.	Representación gráfica de los principales eventos históricos y las dependencias federales que han participado en el desarrollo de la acuicultura nacional.	35
7.	Mapa de la República Mexicana.	36
8.	Zonas acuícolas de la República Mexicana.	47
9.	Zona Norte	49
10.	Zona Centro-Sur y Centro-Occidente.	52
11.	Zona Sur.	53
12.	Zona Sudeste-Golfo de México.	55
13.	Distribución de los centros acuícolas de la SEMARNAP, en la República Mexicana.	64
14.	Camarón blanco del Pacífico (<i>Litopenaeus vannamei</i>) cultivado en estanques en Sinaloa.	74
15.	Genitales externos (petasma y telicum) de los camarones peneidos.	75
16.	Producción de camarón por acuicultura en el periodo 1985-1998 (SEMARNAP, 1998).	76
17.	Ciclo biológico del camarón.	79
18.	Diferentes estadios de desarrollo de los camarones peneidos.	88
19.	Origen de las hembras de camarones peneidos en los diferentes sistemas de cultivo.	90

20.	Procedimiento de la técnica de ablación.	91
21.	Algunos aspectos de la infraestructura de las granjas del norte del estado de Sinaloa. En el recuadro superior izquierdo una vista del canal de llamada; en el siguiente a la derecha un estanque donde se observa el monje. En la parte inferior la vista del canal de alimentación de la granja y de la estación de bombeo y finalmente una cosecha de camarón, destaca en la parte central un camarón azul y en el fondo camarón blanco, las especies que generalmente se producen en estas granjas.	94
22.	En el recuadro superior izquierdo se observa la cosecha de juveniles para ser transportados a los estanques de engorde; a la derecha un estanque para la producción de postlarvas. En la parte inferior a la izquierda un laboratorio en Guayaquil, Ecuador y a la derecha el detalle de la cosecha de juveniles listos para ser transferidos a los estanques de engorde.	95
23.	Langostino gigante de Malasia (<i>Macrobrachium rosenbergii</i>).	96
24.	Ciclo biológico del langostino de acuerdo con Lee y Wickins, (1992).	101
25.	Ostión japonés (<i>Crassostrea gigas</i>).	111
26.	Producción de ostión por acuicultura en el periodo de 1985-1998 (SEMARNAP, 1998).	113
27.	Estructura anatómica general del ostión.	117
28.	Diagrama del ciclo de vida del ostión.	118
29.	Acondicionamiento del fondo para el establecimiento de un banco ostrícola (Anónimo, 1988 c).	122
30.	Estructura de un estante para el cultivo de ostión (Anónimo, 1988 c).	124
31.	Estructura de una cama para el cultivo de ostión (Anónimo, 1988 c).	125
32.	Estructura de un trineo o columpio para el cultivo de ostión (Anónimo, 1988 c).	127
33.	En las fotografías se muestra a la izquierda el cultivo de ostión de placer en balsas en Nayarit; en la parte superior derecha una pileta de fijación de ostrillas en concha madre y en la parte inferior los collares elaborados con concha y piola de nylon.	130
34.	Se muestran algunos aspectos del cultivo de ostión. En la parte superior izquierda un costal de ostión para el cultivo en camas; a la derecha vista general de un trineo; en la parte inferior izquierda una estructura de una balsa y a la derecha las cajas o canastas ostrícolas.	131
35.	Principales especies que se cultivan en México. De izquierda a derecha y de arriba hacia abajo tenemos a: <i>O. mossambicus</i> roja, <i>O. mossambicus</i> , variedad Rocky Mountain, <i>O. niloticus</i> , <i>Tilapia rendalli</i> y <i>Oreochromis aureus</i> .	133
36.	Producción total de tilapia durante el periodo 1985-1998 (SEMARNAP, 1998).	134
37.	Ciclo de vida del género <i>Oreochromis</i> .	136
38.	Conducta reproductiva de las especies del género <i>Oreochromis</i> .	137
39.	Incubación bucal del género <i>Oreochromis</i> .	139
40.	Cultivo intensivo de tilapia en canales de corriente rápida en Costa Rica.	144
41.	Técnica para comprobar la reversión del sexo mediante la tinción de aceto-carmin. A la izquierda se observa un macho	

	y a la derecha una hembra.	146
42.	Trucha arco-iris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>).	148
43.	Producción de trucha arco-iris durante el periodo 1985-1998 (SEMARNAP, 1998).	151
44.	Ciclo de vida de la trucha arco-iris.	153
45.	Diferentes tipos de jaulas utilizadas en el cultivo de trucha arco-iris.	162
46.	Algunos aspectos del cultivo intensivo de trucha. En la parte superior izquierda el cultivo en canales de corriente rápida; en el centro a la derecha una incubadora tipo California y en el fondo a la izquierda un estanque circular de fibra de vidrio para el cultivo de crías.	165
47.	Diferentes variedades de carpa común (<i>Cyprinus carpio carpio</i>) que se cultivan en México. En la parte superior se muestra a la carpa escamuda; en la parte inferior izquierda a la carpa barrigona y a la derecha la llamada carpa espejo o de Israel.	167
48.	Producción total de la carpa durante el periodo 1985-1998 (SEMARNAP, 1998).	171
49.	Ciclo biológico de la carpa.	172
50.	Procedimientos para la preparación de los reproductores.	178
51.	Mecanismos de inducción en el desove natural de las especies de huevos adherentes.	179
52.	Técnica de inducción a la reproducción de carpa.	180
53.	Rutinas de la inseminación artificial.	182
54.	En las fotografías es posible apreciar en la parte superior izquierda, la colecta de crías; a la derecha un estanque de reproducción y en la parte inferior izquierda un ejemplar de carpa negra.	186
55.	Algunos aspectos sobre la producción de carpas. En la parte superior izquierda un reproductor de carpa kingyo cabeza de león; a la derecha el proceso de hidratación del huevo flotante previo a colocarse en la incubadora de canal circulante y en la parte inferior, identificación de una hembra madura de carpa barrigona.	187
56.	Aspectos que definen a un sistema de acuicultura sustentable de acuerdo con Domínguez (1997).	190
57.	Responsabilidades y actores involucrados en la cadena productiva.	195
58.	Contraste entre un sistema de producción intensivo y un manejo integrado y multitrofico.	197
59.	Manejo y aprovechamiento de los residuos generados en la actividad acuícola.	200

I. PRESENTACION

En la última década nuestro país ha experimentado una serie de cambios económicos, políticos y sociales, que han tenido un efecto profundo sobre la forma de pensar de la sociedad mexicana. Además, los fenómenos mundiales de la globalización y de la apertura comercial y económica han afectado los modos de producción para poder ser más competitivos en los mercados internacionales y obviamente la acuicultura como una actividad económica rentable no escapa de este contexto contemporáneo. A pesar de la constante presión por producir más y mejor, cada día existe una mayor conciencia para cuidar y proteger los recursos naturales, evitar la contaminación y el impacto ambiental causado por el desarrollo económico y la industrialización.

Por estas circunstancias y ante un nuevo panorama mundial, es necesario revisar los modos de producción y las tecnologías que han sido aplicadas en nuestro país a lo largo del tiempo y los resultados que de ellas se han obtenido, ya que un cambio en la forma de pensar de la sociedad mexicana ante un nuevo paradigma permitirá enfrentar los nuevos retos y lograr un desarrollo sustentable de los recursos naturales, que permita una distribución más equilibrada de la riqueza, mejorar el bienestar de la población y mantener y preservar los recursos naturales para las generaciones futuras.

El disponer de una visión global de lo que ha sido la acuicultura en nuestro país y poder precisar las condiciones actuales y sus tendencias para los próximos años, nos permitirá ubicar las acciones y los logros obtenidos en este campo, visualizando los modos de producción utilizados, las tecnologías aplicadas, el marco legal y jurídico de la actividad, el potencial de las especies acuáticas y los alcances que se han logrado hasta la actualidad, como una forma de predecir el rumbo y la realidad de esta importante actividad económica.

El objetivo que busca este trabajo es el de disponer de este marco global en el que la actividad acuícola se desarrolla, ubicando sus antecedentes, el escenario geoeconómico en el cual se desenvuelve, la infraestructura de que se dispone, las especies y su potencialidad, los principales modelos de producción y la forma en que estos operan. De esta gran visión será posible desarrollar alternativas y modalidades que puedan ser utilizadas a futuro, para hacer más eficiente la producción de alimentos de origen acuático sin impactar al medio ambiente y mantener una armonía y un equilibrio con la naturaleza.

En este sentido este trabajo representa una investigación minuciosa de todos los documentos bibliográficos y de experiencias disponibles que se han realizado en nuestro país, cuya contribución original permitirá contar con una visión amplia de lo que representa esta actividad como una fuente importante de proteínas para el consumo humano, como generadora de empleos, como una forma de captar divisas y contribuir a la economía nacional y como la mejor alternativa para promover el bienestar de la población dentro de un marco de desarrollo sustentable.

La investigación no pretende hacer una revisión exhaustiva del tema, sino analizar y discutir los puntos más relevantes dentro de un marco teórico, conceptual y práctico que permita, elaborar propuestas concretas, señalar las tendencias y proponer las alternativas más viables para el desarrollo de lo que ha sido llamada la "revolución azul".

II. MARCO TEORICO

La acuicultura es una actividad económica que por sus bases se asemeja a la agricultura, ya que varias de sus tareas son comunes, tales como la siembra, la fertilización, la prevención y el control de las enfermedades. La base de ambas actividades es la unidad productiva, como la parcela en el caso de la agricultura y la unidad de cultivo como el estanque, las jaulas, los encierros etcétera en el segundo caso. Desde un punto de vista general, ambas ramas tienen diferentes niveles de intensidad que van desde el más simple, hasta el más complejo. Así por ejemplo en la agricultura el nivel tecnológico más simple es la siembra de temporal, que depende básicamente de los ciclos de las lluvias y que consiste en la preparación del terreno, la siembra de la semilla y su posterior cosecha. En el caso opuesto se tiene a la hidroponía que supone un manejo técnico más complejo y en donde se utilizan instalaciones especiales como invernaderos, camas de cultivo, fertilizantes, control de la temperatura y humedad y la prevención y control de plagas y enfermedades. En contraste, en la acuicultura el nivel más simple se practica en la llamada acuicultura de repoblamiento, que consiste en la introducción de ainomorfos a los cuerpos de agua, sin control alguno, hasta los llamados sistemas intensivos o hiperintensivos de cultivo en condiciones totalmente controladas como es el caso del cultivo del camarón del género *Litopenaeus spp.*, en acuaceldas, o de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en canales de corriente rápida.

La enorme coincidencia que existe entre ambas actividades, permite que los ejidatarios y campesinos se adapten más fácilmente a proyectos productivos de acuicultura, dado que están acostumbrados a una serie de tareas como preparar la parcela, sembrar la semilla, fertilizar el terreno, prevenir y controlar las enfermedades e incrementar los rendimientos agrícolas utilizando técnicas modernas de cultivo y seleccionando las especies que ofrezcan una mejor rentabilidad económica.

En la figura 1 se puede observar la forma en que ambas actividades coinciden en sus procesos productivos. Es por esta razón que ambas pueden practicarse de manera conjunta en lo que se ha llamado la agroacuicultura.

En contraste los pescadores están acostumbrados a "cosechar" o pescar los organismos, aplicando artes de pesca, algunas de ellas prohibidas, convirtiéndose así por la necesidad económica en "depredadores cautivos", lo que ha afectado sensiblemente la producción pesquera en numerosas lagunas costeras y cuerpos de agua epicontinentales. En este sentido, las experiencias demuestran que es más difícil convertir a un pescador en acuicultor y por esto varios programas gubernamentales de fomento a la acuicultura han fracasado.

Para poder promover la actividad acuícola en el ámbito nacional se debe tomar en cuenta una serie de factores que a continuación se mencionan:

1. Se debe partir de la realidad de los receptores de la tecnología.

En este caso habrá que considerar diversos factores económicos, sociales, políticos y técnicos de la zona en donde se pretenda promover la acuicultura. Se debe contar en

principio con la aceptación de la población a este tipo de proyectos y la actividad tendrá que ser vista como una alternativa productiva y establecer de manera comparativa con otras actividades regionales su rentabilidad económica. Si la acuicultura tiene desventajas con el turismo, la industria, la minería o la agricultura, ésta debe ser descartada y no tratar de imponer modelos de desarrollo poco competitivos, de esta manera se evitarán los fracasos, aunque en el peor de los casos debe ser considerada como una actividad complementaria.

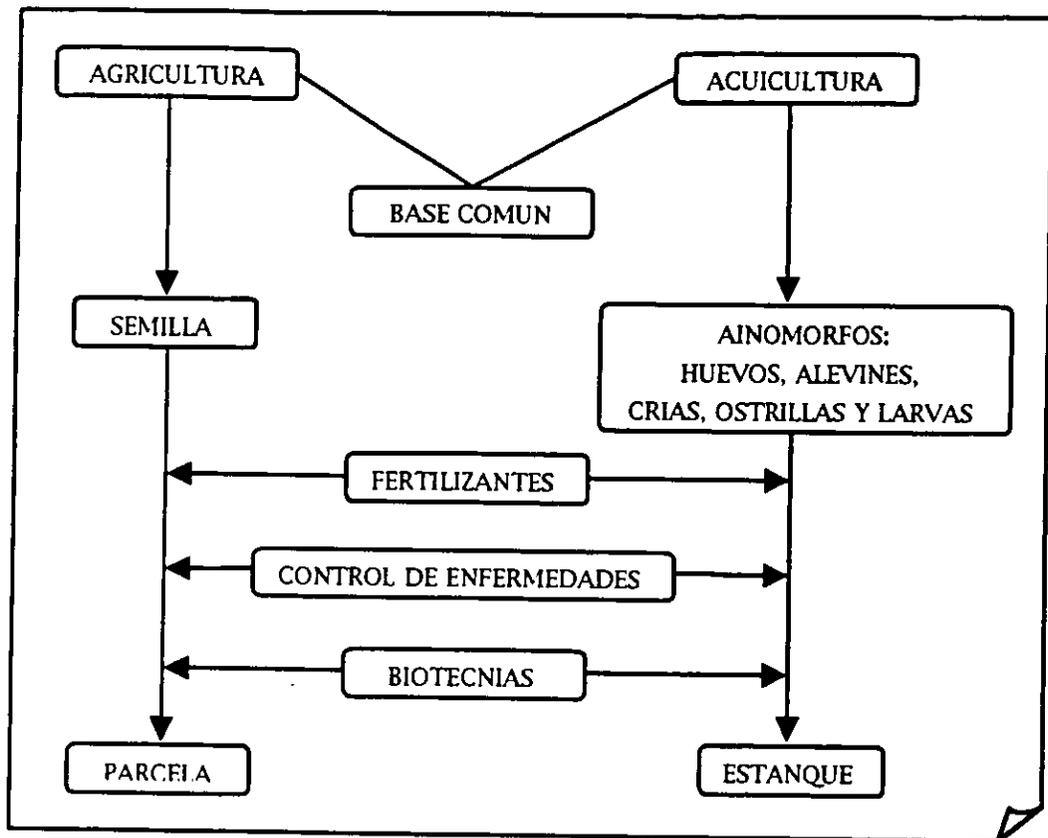


Figura 1. Relaciones entre la agricultura y la acuicultura.

Los beneficiarios deberán estar conscientes de la bondad de la actividad acuícola y tendrán que reconocer que el éxito en la producción obedece a un ciclo de actividades semejantes a la agricultura, que se requiere de trabajo constante y de horas de dedicación para obtener los beneficios económicos esperados.

2. Se debe ver a la acuicultura como una actividad rentable.

Dentro de los programas de impulso económico, la acuicultura debe ser considerada como una actividad exitosa, es decir, que genera riqueza y bienestar social. Para ello es menester elaborar proyectos rentables que fomenten la inversión y promuevan la generación de empleos.

3. Se deben considerar los diversos factores del entorno del desarrollo.

Entre los factores más importantes es necesario definir la especie o especies a cultivar, el tamaño del mercado, la talla comercial, la producción pesquera de la especie o especies, los productos similares, la temperatura óptima del crecimiento y reproducción, las facilidades de infraestructura, la calidad del agua, el alimento y su disponibilidad y los limitantes en el manejo y la transportación de organismos e insumos básicos de la producción.

La selección de una especie debe basarse en criterios de carácter económico, financiero y biológico, por lo que la decisión de manejo de una o varias especies no debe estar sesgada únicamente a la sugerencia técnica. Se debe buscar un producto de demanda más que un producto de oferta, ya que esto facilita su comercialización y venta, tanto en el mercado nacional como en el internacional. Por ejemplo, si en los Estados Unidos existe una demanda elevada de filete rosado ahumado de trucha, o de robalo entero o bien de langosta de quelas rojas, y en nuestro sitio seleccionado para establecer una granja se tienen las condiciones para producir esta especie y las facilidades para exportar, no se tiene porqué cultivar carpa o tilapia.

4. Se debe capacitar y preparar a los productores.

Uno de los problemas a los que se ha enfrentado nuestro país, ha sido la falta de capacitación y habilitación de los productores, sobre todos los del sector social. Por ello es necesario transformar la mentalidad del productor para que piense y actúe como empresario, de tal manera que maneje conceptos generales de administración, contabilidad, relaciones humanas, gestión, comercialización y ventas. La preparación debe ser continua y actualizada. Además, la técnica deberá orientarse al mejor manejo del proceso productivo en su totalidad considerando el control de calidad.

En el caso de pequeños productores, estos deben asociarse para obtener beneficios económicos reales, como por ejemplo menores precios en la compra de sus insumos básicos tales como alimentos balanceados y crías y el aseguramiento de un mercado que pague precios justos y con ello asegure la rentabilidad de las micro o pequeñas empresas.

Definición de la acuicultura.

La acuicultura se define como el cultivo de organismos acuáticos, incluyendo peces, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas. La actividad de cultivo implica la intervención del hombre en el proceso de cría para aumentar la producción en operaciones como la siembra, la alimentación, la protección de depredadores, etcétera. La actividad de cultivo también presupone que los individuos o asociaciones que la ejercen son propietarios de la población bajo cultivo. Esta definición elaborada en 1989 por la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), corresponde en la medida posible al sentido dado habitualmente a esta palabra y recuerda la distinción práctica establecida entre la caza y la recolección, por una parte, y la agricultura por la otra. Sin embargo, esta misma organización reconoce que quedan algunas zonas oscuras y la distinción entre la pesca y la acuicultura seguirá aclarándose en la medida en que mejore el conocimiento de las prácticas de la acuicultura en el ámbito mundial.

A su vez la Ley Federal de Pesca de 1991, incluye por primera vez una definición de la acuicultura, a la cual considera como el cultivo de la flora y fauna acuáticas, mediante el empleo de métodos y técnicas para el desarrollo controlado en aguas continentales, interiores, el Mar Patrimonial, la Zona Económica Exclusiva y los cuerpos de agua que se construyan. En esta misma ley en el artículo 24 se hace referencia en un segundo párrafo a la facultad que tiene la Secretaría (hoy Secretaria del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca) para otorgar concesiones para el cultivo de especies reservadas a personas físicas y morales.

Por otra parte la Ley Federal de Pesca de 1992, señala que las actualizaciones, concesiones y permisos podrán ser utilizadas por personas físicas y morales de nacionalidad mexicana, para realizar actividades de captura, extracción y cultivo de recursos regulados por ella según corresponda, o en el caso de recolectar del medio natural reproductores, postlarvas, crías, huevos, semillas o alevines, con fines de producción acuícola o de investigación.

Ambas definiciones contemplan como parte fundamental del proceso productivo el término de cultivo controlado, lo cual permite colocar en el ámbito de la acuicultura a las especies que se producen bajo estas condiciones y dejar en un apartado a las pesquerías derivadas de la acuicultura (que corresponde a la introducción de aionomorfos en cuerpos de agua, que a la larga producen el establecimiento de pesquerías). Esto significa que las pesquerías derivadas de una acción puntual de acuicultura tendrán que ser consideradas en un inciso aparte.

En México tradicionalmente se ha incluido en las estadísticas de acuicultura algunas prácticas de repoblación derivadas de acciones tales como la transferencia de ostrillas de una zona a otra, que se ha venido realizando durante más de cuarenta años con el ostión del Golfo de México (*Crassostrea virginica*) en los sistemas lagunares del Norte de Veracruz, con el objeto de rehabilitar los bancos que están sobreexplotados, o bien la siembra de crías de distintas especies de carpas o tilapias en los grandes embalses, que han propiciado con el paso de los años el establecimiento de pesquerías importantes, tal es el caso de las presas Temascal, Oaxaca, El Infiernillo en Michoacán y otras muchas a lo largo y ancho del territorio nacional.

Esta situación ha dado origen a múltiples discusiones al considerar la producción de algunas lagunas costeras y cuerpos de aguas epicontinentales en donde se realizan capturas importantes de ostión y peces como parte de las estadísticas acuícolas. La propuesta de la FAO (1989) de incluir el concepto de propiedad de la población bajo cultivo no es fácil de aplicar en nuestro país, ya que el verdadero propietario del recurso es el Gobierno Federal el cual expide una concesión o permiso para la captura o explotación de una población a particulares (permisionarios) o agrupaciones de pescadores tales como cooperativas o uniones de pescadores entre otras figuras asociativas.

Otro problema que afecta la aplicación de este concepto es que en las prácticas de repoblamiento no hay un control continuo de la actividad, ya que en ocasiones sólo se realiza una introducción de las crías y no se lleva a cabo una administración adecuada de la población. En muchos casos, no se vuelven a realizar introducciones y la población

simplemente se adapta, se reproduce y se establece en el cuerpo de agua.

Otro caso particular son los encierros en donde se construyen barreras para evitar la migración de las poblaciones, como es el caso de los tapos de camarón en las lagunas costeras, en donde no se lleva un control de la densidad, la alimentación y los depredadores. De hecho tradicionalmente la captura obtenida en este tipo de instalaciones rústicas se registra como captura en aguas protegidas, equivalente a la obtenida en lagunas costeras y no se da una separación clara entre ambas.

Estos casos en contraste con las actividades realizadas en otros países, suponen una forma particular de manejar la acuicultura en la que se mezcla por una parte el manejo empírico de las poblaciones y por otra la necesidad creciente de sostener y aumentar los recursos naturales explotables de los cuerpos de agua. No obstante, esto no ha sido logrado del todo y actualmente persisten problemas y deficiencias que afectan las pesquerías.

Estas estrategias de manejo representan una forma barata de producción, que consideran una baja inversión y una elevada rentabilidad y que de acuerdo con la superficie existente en nuestro país (1.3 millones de hectáreas de aguas epicontinentales y 1.6 millones de hectáreas de lagunas costeras), suponen un potencial que de ser explotado en forma racional podría producir cantidades importantes de productos pesqueros de alta calidad y valor económico.

Para mantener una estadística acuícola confiable es necesario atender el problema de definiciones de los distintos tipos de acuicultura que se practican en nuestro país, y resolver si en realidad corresponden con la definición del concepto de acuicultura propuesto por la FAO y si no recapacitar en el beneficio de contar con indicadores claros y precisos que permitan darle seguimiento al crecimiento de la actividad en términos comparativos contrastando cifras tanto a escala nacional como internacional, sin olvidar las particularidades de esta biotécnica en nuestro país.

Modelos de producción.

La producción acuícola en nuestro país puede dividirse en:

1. Acuicultura de repoblación.

Implica las acciones de siembra de ainoformas y posterior cosecha en diversos cuerpos de agua como lagos, lagunas costeras, embalses y ríos. La captura de los organismos se realiza por medio de distintas artes de pesca (agalleras, chinchorros, anzuelos, gafas, a mano y otras). El rendimiento es variable y depende básicamente de la productividad natural de los cuerpos de agua. En términos generales suele variar de menos de 100 a 800 kg/ha al año, aunque es posible encontrar casos excepcionales como en la Presa Las Golondrinas en el municipio de Alfajayucan, estado de Hidalgo en donde el rendimiento suele alcanzar hasta 3,000 kg/ha al año de tilapia *Oreochromis aureus*.

La historia de la acuicultura mexicana indica que las primeras acciones de este tipo se fincaron en la introducción de especies de agua dulce en lagos y embalses sin criterios claros, definidos y sin objetivos de preservación y conservación de la biodiversidad. A

principios de siglo se introdujeron las primeras especies tales como la carpa (*Cyprinus carpio*), la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) y posteriormente en la década de los sesenta varias especies de tilapia (*Tilapia* y *Oreochromis spp.*). Estas especies fueron distribuidas profusamente en cuerpos de agua epicontinentales que con el tiempo propiciaron el desarrollo y establecimiento de pesquerías importantes que hoy en día alcanzan aproximadamente las 100,000 toneladas anuales. El tema sobre la naturaleza acuícola o pesquera es discutible y no es aventurado afirmar que la mayor parte de las pesquerías fueron producto de siembras, pero éstas han sido esporádicas y no existe un verdadero control de las poblaciones establecidas, por lo que pueden ser consideradas como pesquerías basadas en el cultivo. Al parecer las principales limitantes de esta actividad no son de carácter técnico, sino institucional, logístico y financiero. Por lo general la administración y manejo de estos cuerpos de agua es deficiente ya que participan más de un organismo público y no existen recursos económicos para organizar y administrar las actividades de todas las operaciones que exige la actividad.

Actualmente, se están dando casos de caídas drásticas en la producción que son ocasionadas por la sobrepesca, la falta de vigilancia, la inexistencia de actividades de fomento, la introducción desmedida de especies exóticas y los cambios provocados por la evolución limnológica acelerada de las cubetas de estos sistemas. Las mismas poblaciones en los cuerpos de agua han perdido su vigor genético y por lo tanto no alcanzan las tallas comerciales y se observa una fuerte hibridación que no favorece la variación genética de las especies introducidas.

Para mantener los niveles de explotación actuales es necesario la aplicación de estrategias limnológicas. De manera inicial habrá que reconocer la capacidad productiva máxima de cada cuerpo de agua, integrando esquemas de manejo y explotación en los que participe la pesca deportiva, comercial, artesanal y el turismo, junto con otras actividades económicas. Es necesario la delimitación de áreas de reserva y protección de zonas de reproducción, la utilización de especies de diferentes hábitos alimenticios que reduzcan la competencia intra e interespecífica para lograr rendimientos pesqueros más elevados y mayores beneficios económicos para los pescadores. En realidad este tipo de acuicultura (si así lo podemos llamar) ha sido totalmente descuidada y a pesar de que se tiene un más de un siglo haciendo repoblaciones y la producción pesquera ha arrojado beneficios sociales y económicos, no existen estudios que validen su importancia y relevancia, ni propuestas concretas de como mejorar la producción pesquera.

A pesar del abandono en que esta sumida esta actividad el aporte a las estadísticas acuícolas es significativo y si no se realiza un programa agresivo para incrementar los niveles del rendimiento pesquero, se espera un estancamiento y problemas subsecuentes como la caída brusca de los mismos con situaciones impredecibles para los pescadores que viven de esta actividad (Arredondo, 1996; Arredondo, inédito).

2. Acuicultura de subsistencia.

Se aprovechan diversos cuerpos de agua de pequeño tamaño tales como bordos y jagüeyes, que pueden ser temporales y permanentes y que reciben el nombre de estanques habilitados, se caracterizan por presentar una etapa de inundación anual alternada con una de estío, o

bien permanecen inundados todo el año con variaciones marcadas de volumen.

La siembra de aionomorfos se realiza cuando alcanzan su máxima inundación y la cosecha se realiza cuando se reduce el volumen del cuerpo de agua. El rendimiento acuícola es variable y suele ser de 100 a más de 400 kg/ha al año, aunque con el uso de policultivos es posible obtener rendimientos superiores a las 2 toneladas por hectárea al año. En este caso generalmente sólo se obtiene una cosecha al año, no se requieren artes de pesca costosas, generalmente se utilizan la atarraya y el chinchorro y no se requiere de embarcaciones con motor debido a que estos sistemas tienen una pequeña área de inundación (entre 1 y 20 hectáreas en promedio con una profundidad media que fluctúa entre 50 y 300 cm).

Una característica fundamental es que este tipo de acuicultura se trata de asociar con otras actividades agrícolas o ganaderas, para darle un valor agregado a los productos que se cosechan en cada fase, por lo que se le ha dado el nombre de agroacuicultura debido a esta asociación. También ha sido considerada como una estrategia para el desarrollo de la acuicultura rural en los programas que realiza la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.

La acuicultura rural, que la definimos como aquella que se practica al nivel de subsistencia o semi comercial, comenzó a realizarse en nuestro país hace más de veinte años. Se basa en el cultivo de especies exóticas cuya tecnología ya esta total o parcialmente desarrollada como es el caso de las tilapias y las carpas chinas. Esta actividad depende básicamente de los insumos y la asistencia técnica que brinda el sector oficial o de gobierno y en ella se trata de aplicar conceptos de manejo integral (agroacuicultura) que incluya otro tipo de actividades tales como la agricultura y la ganadería en razón de obtener una mayor disposición de productos alimenticios para los productores rurales.

Marcando el entorno que rodea a las unidades de producción rural, éstas presentan posibilidades de desarrollo sobre todo si se insertan en el esquema de aprovechamiento integral de los recursos naturales. Esto permitirá que los productores rurales dispongan de una diversidad de especies que contribuyan en primer lugar al enriquecimiento de su dieta alimentaria y en segundo a la venta de excedentes de la producción. Este modelo debe ser funcional dependiendo de las alternativas que presenta cada región, dando la pauta para el aprovechamiento de los desechos en los diferentes niveles de producción y evitando los impactos ecológicos en los ecosistemas. El desarrollo de estos modelos implica un esfuerzo de investigación que hay que aplicar bajo diferentes climas y situaciones ambientales, que induzca a la adopción de tecnologías apropiadas de acuerdo con la actitud y aptitud de los pobladores rurales, sin imponer modelos desarrollados en otros países y bajo otras condiciones sociales, tomando en cuenta la situación económica en que estos se desenvuelven.

Este tipo de acuicultura puede ser aplicado en las zonas de menor desarrollo económico y donde los niveles de pobreza extrema son altos, ya que el esfuerzo que se requiere sobre todo en la fase inicial no se ve recompensado por los beneficios que produce ya sea en comida como en ingresos y un factor que llega afectar a estas unidades es la falta de tradición por el consumo de animales acuáticos de importancia nutricional. Las limitaciones no son de carácter técnico ya que se puede enfocar hacia el cultivo de especies con demanda

local o bien modificar las tecnologías de cultivo con el fin de lograr bajas substanciales en el costo unitario de producción. En este sentido las especies nativas pueden jugar un papel fundamental en la economía de estas unidades.

Las experiencias en la región Latinoamericana ponen en evidencia la necesidad de aplicar métodos de extensión acordes con la realidad socio-económica. La introducción de esta tecnología ha tropezado con problemas estructurales, con las dificultades inherentes a su condición de innovación y con las consecuencias que resultan de no tomar en cuenta las características culturales de los usuarios potenciales. La ignorancia de este hecho explica los numerosos casos de deserción que se han observado en los proyectos de este tipo, una vez que desaparece la asistencia técnica directa. En los resultados obtenidos en los pocos análisis que se han realizado al respecto se manifiesta una definida tendencia por parte de los usuarios que permanecen en la actividad, a pesar de la modalidad de cultivo que se ha llamado de subsistencia, a formas de orientación total o parcialmente comercial. Resulta que es más atractivo para un productor obtener ingresos económicos para adquirir otros productos de la canasta básica y balancear su economía familiar.

El enfoque que se le ha dado a esta actividad es una orientación a la acuicultura de la "pobreza", más que darle una idea de empresa rentable que pueda favorecer el bienestar familiar. Esto se puede lograr mediante una orientación adecuada que permita a los productores cultivar especies de elevado valor económico y de alta demanda regional, sustituyendo las especies que son consideradas como "baratas", tal es el caso del cultivo de la trucha arco iris, el bagre de canal, el langostino y la langosta de quelas rojas entre otras.

La visión de los países Asiáticos donde durante siglos se ha desarrollado este tipo de acuicultura es verdaderamente empresarial y han podido asociar a este esquema actividades económicas substanciales como la exportación de productos de buena calidad, la industria y el turismo, logrando así abrir perspectivas más amplias para las comunidades rurales e insertarlas en la globalización de los mercados. Es por lo tanto necesario aplicar un programa agresivo que permita romper las ataduras con la visión del pasado y crear un nuevo paradigma con cambios impactantes que resuelvan en forma definida la problemática social y económica de las poblaciones rurales marginadas (Arredondo, 1996).

3. Acuicultura comercial o industrial.

Se asemeja por sus bases técnicas a la agricultura y parte de una unidad básica fundamental que es un espacio físico limitado construido en específico para cultivar organismos acuáticos. En estos sistemas se pretende alcanzar un incremento notable del rendimiento acuícola, utilizando para esto aportes de energía externa tales como la fertilización, los alimentos balanceados o bien ambos a la vez. Es posible mediante este sistema obtener mayores cosechas que por ejemplo en nuestro país fluctúan entre 1.5 toneladas por hectárea al año en estanques rústicos de tierra, hasta 25 toneladas por hectárea al año en canales de corriente rápida. En algunos casos se utiliza el policultivo como una estrategia para aumentar la producción y entre los más conocidos se tiene la combinación de carpas chinas, europeas y tilapia con langostino.

A pesar de que la acuicultura en México de algún modo fue conocida desde la época

prehispánica, el desarrollo más significativo se ha dado en los últimos veinte años dejando de ser meramente experimental para convertirse en una actividad que en algunos casos ya constituye una realidad económica apreciable. En este impulso las especies introducidas de otros países y continentes han tenido un papel destacado y actualmente se tiene un dominio mayor o menor de la biotecnología de cultivo de aproximadamente 20 de ellas, pero hasta el momento no se ha logrado consolidar una tecnología propia y de vanguardia que garantice un nivel de competencia destacado con los principales productores en el ámbito mundial.

El hecho de contar con condiciones naturales favorables y un manejo aceptable de la tecnología no significa que esto induzca por sí mismo el desarrollo, ya que se presentan problemas que limitan o frenan la inversión en este sector. Uno de ellos es la falta de una biotecnología propia que asegure la rentabilidad de los cultivos, otro es la escasez de cuadros técnicos capacitados, además de una total y real ausencia de vinculación entre el sector productivo y el de investigación y desarrollo tecnológico y finalmente la falta de estudios de mercado de los principales productos acuícolas que permita la selección de especies y tecnologías apropiadas antes las eventualidades que representa un mercado elástico y cambiante.

Si bien algunas especies se han logrado consolidar económicamente (como es el caso del camarón y la trucha arco iris), aún otras requieren de análisis más profundos que permita contar con criterios de selección basados en la demanda en los mercados internacionales y de la competitividad, lo cual incluye la presentación del producto, los precios y sus fluctuaciones, los canales de comercialización y la agilidad para establecer los nexos y relaciones con los compradores que garantice un precio razonable y asegure el mercado a largo plazo.

En este sentido el Gobierno Federal deberá de hacer un esfuerzo para garantizar la exportación de los productos acuícolas, proporcionando información oportuna a los productores y presentando planes de negocios que induzca a los inversionistas a participar en esta actividad. Es de considerar que se debe proponer el cultivo de aquellas especies más atractivas desde el punto de vista de su rentabilidad económica y financiera y que tengan una gran perspectiva en los mercados internacionales.

Niveles de intensidad.

Generalmente se reconocen tres niveles de intensidad en la acuicultura:

1. Acuicultura extensiva.

Esta actividad se desarrolla en cuerpos de agua naturales y artificiales tales como lagos, presas, jagüeyes y estanques construidos *ex profeso* para esta actividad. Su característica fundamental es que los organismos introducidos obtienen su alimento básicamente del medio natural (productividad natural) y no se tiene un control de las enfermedades, ni de los competidores y depredadores. Generalmente, se llegan a establecer pesquerías derivadas de la introducción y estas se mantienen en el tiempo, como es el caso de las grandes presas.

La inversión en este caso es baja y no se requiere de personal capacitado, pero sus

rendimientos son bajos.

En esta categoría se ubica la llamada acuicultura de repoblamiento, la cual aporta a las estadísticas pesqueras aproximadamente 100,000 toneladas anuales, que se consumen casi exclusivamente en el país.

Esta tecnología por su fácil manejo se ha venido utilizando en México desde hace más de 100 años.

2. Acuicultura semi intensiva.

Se desarrolla en diferentes instalaciones tales como estanques, corrales y cuerpos de agua como bordos temporales o permanentes, jagüeyes, represas, canales de riego y otras. En este caso el control sobre el sistema es mayor, se aplica fertilización orgánica o química, alimento suplementario, se tiene un control y registro de los principales parámetros de calidad del agua y la densidad de siembra es mayor.

La inversión es más alta que la anterior, se requiere de una mayor mano de obra calificada y los rendimientos acuícolas son mayores.

Este tipo de cultivo se practica en casi todas las especies de la acuicultura nacional.

3. Acuicultura intensiva.

Este tipo de acuicultura requiere de instalaciones especiales tales como estanques, jaulas, canales de corriente rápida o bien sistemas de recirculación y reacondicionamiento del agua. Por sus características el control de las condiciones de agua, la alimentación y la sanidad es estricta. Se requiere de mano de obra calificada y una fuerte inversión y su producción es de tipo industrial, es decir una elevada producción en espacios pequeños y un programa de control de calidad total, que implica un estricto control de cada una de las fases de producción que va desde la selección genética de individuos reproductores hasta la cosecha de tallas comerciales. También, se considera las condiciones sanitarias de todo el proceso desde las distintas fases de cultivo hasta la distribución y venta del producto.

En la figura 2 se muestra el esquema de tecnología de alimentación y su dependencia con la densidad, con relación a los tres tipos de acuicultura: extensiva, semi intensiva e intensiva. Todas estas prácticas se llevan a cabo en nuestro país. Algunos ejemplos de esto son: a) a nivel extensivo las especies que más éxito han tenido son las carpas chinas y europeas, las tilapia, el ostión del Golfo de México y el camarón entre otras,; b) en el sistema semi intensivo la trucha arco iris, la tilapia, el bagre de canal, la carpa y el camarón entre las principales, y c) en los sistemas intensivos el ejemplo mas claro en aguas interiores es el del cultivo de la trucha arco iris, el bagre de canal y la tilapia roja o pargo cerezo, en jaulas, canales de corriente rápida y en sistemas cerrados y en ambientes costeros el ostión y el camarón como ejemplos fundamentales.

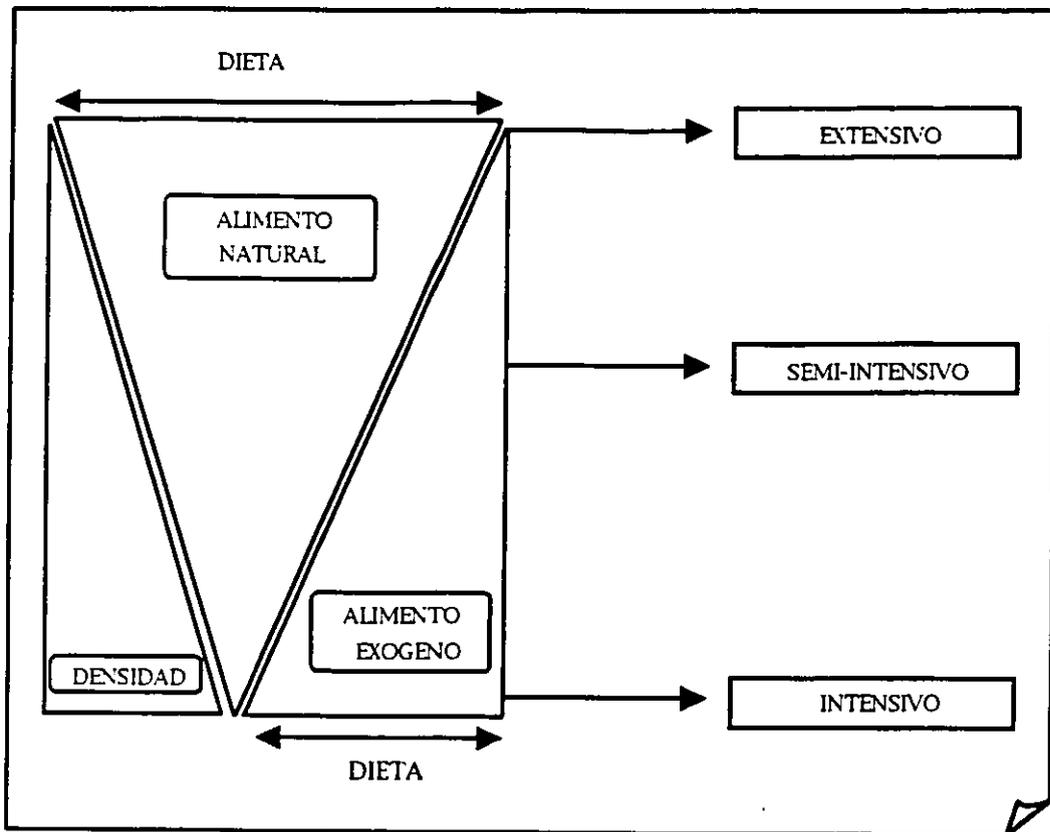


Figura 2. Estrategias de alimentación en los tres sistemas de acuicultura, en el que se consideran tres aspectos fundamentales: a) la densidad de organismos, b) el alimento endógeno (productividad natural del cuerpo de agua) y c) el alimento exógeno (alimento suplementario o balanceado).

Principales organismos que se cultivan en México.

Los principales grupos que se cultivan en nuestro país, corresponden a diversas especies de peces, moluscos, crustáceos, anfibios, reptiles, macrofitas acuáticas y microalgas, y otras especies que son consideradas como cultivos de apoyo porque sirven generalmente como fuente de alimento para una o varias fases del ciclo del cultivo. Las especies se cultivan en ambientes dulceacuícolas, salobres y marinos, utilizando distintas modalidades e intensidades tecnológicas.

Para mantener un orden de ideas lógico, se separarán los organismos por su hábitat, refiriéndose en primer término a las especies cultivadas en las aguas epicontinentales y en segundo lugar a las cultivadas en ambiente salobres y marinos.

En el primer caso sobresalen por sus niveles de producción las diferentes especies de tilapia y carpas (*Oreochromis spp.* y *Cyprinus carpio*), con un volumen anual de explotación que oscila entre ambas alrededor de las 100,000 toneladas, lo cual se logra mediante la llamada acuicultura de repoblamiento o mejor conocido por la FAO como pesquerías derivadas de la

acuicultura. Entre estas especies cabe destacar por su importancia a la tilapia (*Oreochromis niloticus*), que ha ido sustituyendo paulatinamente a *O. aureus* quien en su momento representó la especie más importante de las pesquerías epicontinentales. Dentro de las carpas, la carpa común *C. carpio* es la más destacada, debido a su elevada capacidad adaptativa ya que las carpas llamadas "Chinas", como son la carpa herbívora *Ctenopharyngodon idellus*, la carpa plateada *Hypophthalmichthys molitrix*, la carpa cabezona *Aristichthys nobilis* requieren para su reproducción la inducción por medio de hormonas heteroplásticas sintéticas y por lo tanto su disponibilidad esta limitada al dominio de la tecnología de su reproducción (Figura 3).

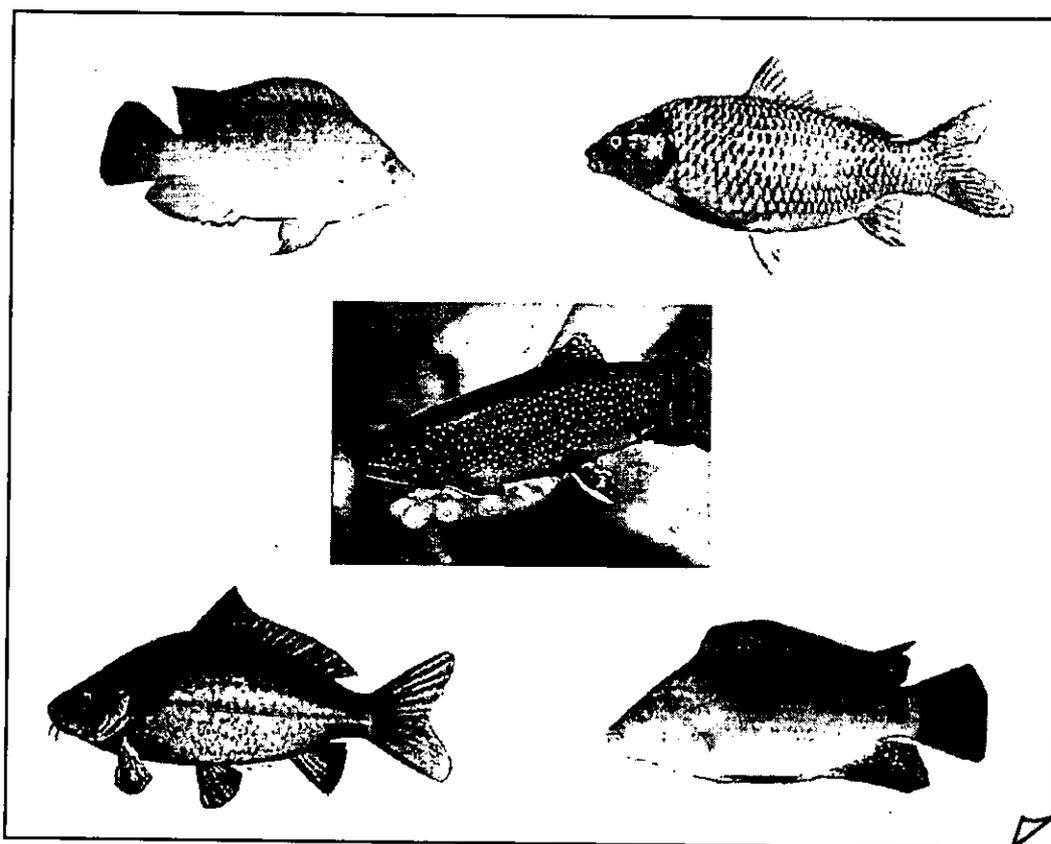


Figura 3. Especies de peces cultivadas en México (de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha): tilapia Rocky Mountain (híbrido producto de la cruce de *Oreochromis aureus* por *O. niloticus*), carpa barrigona (*Cyprinus carpio carpio*), trucha arco-iris (*Oncorhynchus mykiss*), carpa cuero (*Cyprinus carpio carpio*) y tilapia (*Oreochromis aureus*).

La mayor explotación pesquera derivada de la acuicultura, se sostiene en los grandes embalses mayores de 10,000 hectáreas y de otros cuerpos de agua epicontinentales (pequeñas presas, lagos, bordos, etcétera). También destacan en este grupo otras especies tales como la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), el bagre de canal (*Ictalurus punctatus*), la lobina negra (*Micropterus salmoides*) con dos variedades (*salmoides* y *floridanus*). Además de otras especies nativas tales como el pescado blanco y charal del

género *Chirostoma* spp., el catán (*Atrocteus tropicus* y *A. oseus*), la acúmara (*Algansea lacustris*), el bagre del Balsas (*Ictalurus (Istlarius) balsanus*), el bagre del Papaloapan (*Ictalurus meridionalis*) y las mojarra nativas del género *Cichlasoma* spp.

Entre los crustáceos el langostino es la principal especie que se cultiva. Tres especies de este grupo de decápodos han mostrado su bondad en el cultivo; el langostino gigante de Malasia *Macrobrachium rosenbergii*, el langostino del Golfo de México *M. acanthurus* y el chacal o langostino del Pacífico *M. tenellum*.



Figura 4. Especies cultivadas en nuestro país: en el primer recuadro dos especies nativas de langostino (*Macrobrachium tenellum* y *M. acanthurus*), en el segundo recuadro el langostino gigante de Malasia (*Macrobrachium rosenbergii*), en el tercer recuadro el ostión Japonés (*Crassostrea gigas*) y en el cuarto recuadro la langosta de quejas rojas (*Cherax quadricarinatus*).

Una especie que se perfila para tener una contribución importante en la acuicultura mexicana es el acocil *Procambarus* spp., nativa de nuestro país y la langosta australiana de quejas rojas *Cherax quadricarinatus*, que fácilmente puede substituir al langostino porque presenta varias ventajas entre las que se pueden mencionar: a) su elevada tasa de crecimiento, b) su fácil adaptación a los sistemas de cultivo y c) su ciclo biológico se desarrolla en agua dulce, a diferencia del langostino que requiere de agua salobre en una etapa de su vida (Figura 4).

En ambientes salobres y marinos destacan entre los moluscos, el ostión del Golfo de México

Crassostrea virginica que aporta a las estadísticas por acuicultura aproximadamente 30,000 toneladas anuales. En la vertiente del Pacífico el ostión japonés *C. gigas* y el ostión de plater *C. corteziensis*, de las cuales se produce cerca de 2,500 toneladas anuales. Las tecnologías de cultivo de estas especies son diferentes en cada litoral; mientras en el Golfo de México se aplican técnicas extensivas y semi intensivas, en el litoral del Pacífico se utilizan técnicas semi intensivas e intensivas, sobre todo para el caso del ostión japonés, del cual se tiene el dominio de todas sus fases de producción y generalmente se practica una tecnología de alta densidad (Figura 4).

También, en la Península de Baja California se cultiva el mejillón *Mytilus galloprovincialis*, del cual se han llegado a obtener hasta 600 toneladas anuales vía cultivo, utilizando balsas y líneas madres en mar abierto (Figura 5).

Esta última tecnología de reciente introducción ha sido exitosa y representa para esta región una alternativa promisoriosa, por el gran potencial que representa. Otras especies de moluscos que se cultivan en esta misma región son: el abulón rojo *Haliotis rufescens* y las almejas manila *Tapes (Ruditapes) philippinarum* y la catarina *Argopecten circularis*. También, han sido identificadas cerca de veinte especies de moluscos con amplias posibilidades de ser cultivadas (Figura 5).

El cultivo del camarón marino de los géneros *Litopenaeus* y *Farfantepenaeus* se ha desarrollado notablemente a partir de 1985, principalmente en Sonora, Sinaloa y Nayarit. El número actual de granjas rebasa las 200 y a pesar de los problemas a los que enfrenta esta industria, sus perspectivas a futuro son importantes (Figura 5).

Para el caso de los anfibios se tiene el cultivo de la rana toro *Rana catesbeiana* y de otras especies que tienen potencial para ser cultivadas sobre todo en zonas de humedales, canales de riego o en granjas especialmente diseñadas.

Los esfuerzos de cultivo de reptiles, se han canalizado hacia las tortugas, el cocodrilo y el caimán, todas ellas nativas de nuestro país y que están siendo cultivadas en una fase de su ciclo de vida con el propósito fundamental de preservarlas del peligro de extinción, pero a la larga el conocimiento generado en estos estudios puede permitir el establecimiento de cultivos precomerciales o comerciales. De hecho algunas granjas han operado en algunos estados de la República sin mostrar hasta el momento su rentabilidad económica.

En el caso de las macrofitas acuáticas, las lemnaceas (*Wolffia* y *Lemna*) representan una gran potencialidad debido a su abundancia y facilidad de cultivo, y entre las algas marinas existen varias especies, sobre todo en la Península de Baja California donde hay importantes poblaciones naturales que son explotadas comercialmente como es el caso de *Euchema sp.*, *Gracilaria sp.*, y *Macrocystis sp.*, entre otras, de las cuales se extraen productos de uso farmacéutico como el agar-agar y los alginatos. Las microalgas como *Spirulina spp.* y *Chlorella spp.*, representan también un gran potencial. La primera de ellas se cultivó durante muchos años en la Empresa Sosa Texcoco S.A. y su tecnología se tiene totalmente dominada, a tal grado de que esta empresa llegó a ser la principal exportadora de harina en el ámbito mundial (400 toneladas métricas anuales). En este mismo sitio también se produjo la Artemia (*Artemia sp.*).



Figura 5. Especies marinas que se cultivan en México. En el recuadro de la izquierda se observa el desdoble de semilla de mejillón (*Mytilus galloprovincialis*), en el recuadro superior derecho la extracción del callo de la almeja catarina (*Argopecten circularis*) y en el inferior derecho, el camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) cultivado en estanques en el estado de Sinaloa.

Existe un grupo de especies que son cultivadas como apoyo a las actividades principales del cultivo, como es el caso de diversas microalgas (*Chaetoceros spp.*, *Monocrisis sp.* e *Isocrisis sp.*, etcétera), la *Artemia Artemia spp.*, la pulga de agua (*Daphnia sp.* y *Moina sp.*), rotíferos como *Brachionis plicatilis* y el camarón duende *Streptocephalus spp.*

Estos ejemplos nos muestran que la biota acuática de nuestro país es compleja en cuanto a su diversidad, por lo que la posibilidad de aprovecharla es alta. Por otra parte los cultivos se pueden llevar a cabo bajo dos modalidades; la primera es el llamado monocultivo donde se maneja una sola especie como es el caso del cultivo intensivo de trucha arco iris y bagre de canal en canales de corriente rápida y la segunda se conoce como policultivo ya que maneja dos o más especies en un solo sistema y que alcanza su máxima expresión en el policultivo de carpas chinas, carpas europeas, tilapia y langostino, con la concurrencia de hasta siete especies o más, que tienen hábitos alimenticios diferentes y donde las relaciones intra e interespecificas son de carácter sinérgico. En ambos casos los rendimientos obtenidos son elevados de acuerdo al tipo de tecnología que se utilice.

III. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Para una mejor comprensión del desarrollo histórico de la acuicultura, la información expresada en este capítulo se ha separado de acuerdo a épocas históricas, destacando en cada caso los hechos más relevantes de la actividad acuícola.

Época prehispánica.

Existen testimonios de que la acuicultura se practicaba desde la época prehispánica ya que desde esos tiempos se construían encierros, que hoy en día son conocidos con el nombre de "tapos", los cuales llamaron poderosamente la atención de los cronistas españoles a su llegada a las regiones de Nayarit y Sinaloa, habiendo escrito que *"los indios se alimentaban con peces y camarones, los que capturaban colocando enramadas en los canales y lagunas que conducían al mar"* (Chapa, 1956).

En la Cuenca de México, llamada también Cuenca del Anáhuac, el agua constituyó un medio ineludible para la supervivencia de los pueblos, ya que en los lagos y zonas pantanosas de esta zona obtenían diversos alimentos (Sierra, 1973). Los habitantes de esta región practicaban el cultivo del ahuahutli, que consistía en la colecta de huevos de insectos acuáticos entre los tulares que eran llevados en lazos de tule a medios más adecuados para su desarrollo (Rojas, 1985; Rodríguez *et al.*, 1986).

Según algunas crónicas, el Rey Netzahualcóyotl tenía en sus jardines una serie de estanques con aves acuáticas, algunas de los cuales eran alimentadas con peces, que posiblemente los mantenían por tiempo variable en algunos de los estanques.

Gortari (1963), sostiene que la piscicultura no era una actividad desconocida por los antiguos mexicanos y esta actividad consistía en depositar los animales o su hueva en estanques especiales, para lograr su desarrollo y reproducción.

Generalmente, los conocimientos que se tienen de las prácticas acuícolas de aquella época, parten de las crónicas de los españoles que por primera vez llegaron a la Cuenca de México en 1519. Como ejemplo, Hernán Cortés, quien en la segunda carta de relación indicó que el *"Señor de Iztapalapa tenía jardines y albercas de agua dulce muy bien labradas, con sus escaleras hasta el fondo, que sugerían la forma de un estanque"*. Muchos autores mencionan que el cultivo de peces en Iztapalapa, fue una actividad de gran importancia (Ciudad Real, 1976; SEPESCA-INI, 1986; Solís, 1973; Torquemada, 1975; Turok *et al.*, 1988).

Estos mismos cronistas describieron hechos que permiten suponer la importancia de la acuicultura en la capital del Imperio Azteca y coinciden en que el Emperador Moctezuma tenía 10 ó 12 estanques, unos de agua dulce para los peces de los ríos y otros de aguas salobres para los de mar. Estos estanques estaban bien cuidados, con recambios de agua y se limpiaban frecuentemente. Al parecer la finalidad fue probablemente de tipo ornamental, desarrollando la piscicultura no como una necesidad de alimento, sino como un resultado de

su floreciente situación (Carranza, 1953; Morales, 1975 y Medina *et al.*, 1976). También mencionan, que en las lagunas que circundaban la ciudad se criaba pescado que llamaban blanco y algunas otras especies más pequeñas, lo que hace suponer que estas especies correspondían a los aterinidos actuales (Torquemada, 1975; Díaz del Castillo, 1977; Vilchis, 1978; Alvarado, 1980; Cortés, 1987; Toledo, 1990).

Por otra parte los Mixtecos en Oaxaca, tuvieron profundos conocimientos sobre el molusco gasterópodo *Purpura panza*, realizando durante siglos el aprovechamiento racional de este recurso. Una de las prácticas para la conservación de la especie, consistió en extraer el tinte sin matar al organismos y colocarlo en su medio ambiente natural, por lo que se reconoce que el conocimiento y la práctica de manejo de este molusco estaba dirigida a respetar el ciclo reproductivo y el hábitat del caracol, así como el tiempo en que los organismos recuperan el tinte (Turok *et al.*, 1988).

En las últimas décadas antes de la llegada de los españoles, el Emperador Moctezuma II, ordenó la conquista de Tehuantepec; puesto que los reyes Mixteco y Zapoteco estaban ofendidos por el agravio y el recelo del Imperio Azteca. Para evitar mayores daños, acordaron formar una alianza contra el ejército de Moctezuma II. Ante tal situación para alimentar al ejército, entre otros preparativos tomaron la precaución de hacer estanques en la cima de la montaña de Guiéngola, en donde introdujeron peces, que capturaban en los arroyos y ríos cercanos, los que fueron muy útiles durante el sitio que duró 7 meses. Se tienen noticias de que se conservaron los peces restantes mucho tiempo después del triunfo de los ejércitos aliados y estos estanques todavía los vieron los primeros españoles que llegaron a esta región (Cházari, 1884; Carriedo, 1949; Iturrigarria, 1969; Alvarado, 1980; Toro, 1985; Vázquez y Vázquez, 1991).

Esta información permite suponer que en esa época se tenían conocimientos sobre el manejo de organismos acuáticos de importancia nutricional, y que los habitantes de estas regiones desarrollaron técnicas artesanales para el manejo y la explotación de las especies nativas, manteniendo una relación estrecha con su entorno ecológico y respetando los ciclos biológicos de las especies. A raíz de la Conquista muchas de las prácticas acuícolas se perdieron ó bien en algunos casos se mantuvieron a un nivel artesanal y no han sido rescatadas y evaluadas como tecnologías apropiadas.

La Colonia.

Durante esta época existe escasa información al respecto. De acuerdo con Vilchis (1978), la extracción de la almeja perlera en la Baja California, data del siglo XVI con la llegada de los españoles a esta región, siendo la Ciudad de la Paz, el centro de actividades de explotación de la madreperla, lo que culminaría posteriormente en el maricultivo de esta especie.

Don Antonio Alzate durante 1784, 1792 y 1794 publicó varios trabajos en la Gacetas de México y de Literatura, donde sugirió el establecimiento del cultivo de peces en la Cuenca de México. Sus recomendaciones las puntualizó sobre las riveras de las lagunas de Chalco y Texcoco, así como en estanques abandonados para el cultivo en Culhuacán, Churubusco, Chapultepec y San Joaquín y este antecedente es considerado como la primer propuesta para iniciar la piscicultura en México (*vide*: Vázquez, 1994).

Al parecer durante la época de la Colonia, no se rescatan las experiencias acuícolas ancestrales y sólo surgen ideas acerca de la importancia que representa la maricultura y la piscicultura, constituyendo los primeros antecedentes de un posible aprovechamiento de los recursos naturales existentes en la zona marítima de la Península de Baja California y en la Cuenca de México.

La Independencia.

La idea de la piscicultura se pierde por la Guerra de la Independencia y permanece en ese estado de latencia durante la guerra con los Estados Unidos y el Imperio de Maximiliano (Carranza, 1953).

En 1839, se publicó un trabajo anónimo con el título de "Productos Naturales", donde se mencionó a los ríos y lagunas del Estado de Colima y se hizo referencia de las especies más apreciadas como es el caso de la trucha arco iris, la lisa y la huavina, reviviendo las ideas vertidas por Antonio Alzate (Alvarez *et al.*, 1961).

Dada la importancia que representaba la explotación de la madreperla en la Península de Baja California, José Pujol en 1871, hizo un estudio biológico sobre la madreperla (*Ostrea avicola margaritifera* = *Pinctada mazatlanica*), mencionando los lugares del país en donde se pesca, así como la descripción taxonómica y los sistemas de pesca empleados por los buzos mexicanos.

Otro trabajo digno de mencionarse es el de Jesús Sánchez, publicado en 1880 sobre esta misma especie donde citó los procedimientos empleados por los indios para pescar la, así como los nuevos sistemas de buceo utilizados para la captura de las conchas.

Alfonso Herrera en 1892, estudió los moluscos de agua dulce que podrían aprovecharse para la obtención del nácar y perlas y clasificó a estos organismos. El mismo autor explicó como se capturaban y desprendían las perlas, así como el valor que éstas llegaron a alcanzar en los mercados locales, haciendo hincapié en el aprovechamiento de estas especies y de otras poco conocidas y que podrían dar origen a un comercio de importancia.

La explotación de ostras perleras o madreperla en las costas de Baja California Sur, estuvo concesionada a tres compañías extranjeras, entre la más importante se tiene a Mangara Exploration Company, Ltd., corporación inglesa que operaba desde el alto Golfo de California, hasta Guatemala. Otra compañía, cuyo dueño era el Señor Miguel Cornejo, obtuvo una concesión en las Islas Espíritu Santo, San José Cerralvo en el Golfo de California y en Bahía Carmela a 109 km al norte de Manzanillo en el Pacífico (Acosta y Chávez de Nishikawa, 1986). Bajo estas circunstancias la alternativa de cultivar la madreperla, fue estudiada por el Gobierno local.

En el año de 1893 el General B. Topete, recibió un informe de las técnicas de propagación de nácares en las Islas Tuamotou, elaborado por el Señor Cattet, quien junto con el naturalista Gastón Vivés, permitieron a este último desarrollar técnicas de cultivo para la madreperla *Pinctada mazatlanica*.

En 1903 Juan Gastón Vivés consiguió del Gobierno de Porfirio Díaz una concesión para la explotación y uso de una patente para el cultivo de la madreperla en la Ensenada de San Gabriel de la Isla Espíritu Santo, B.C.S. Un año después se fundó la Compañía Criadora de Concha y Perla, con capital efectivo de 300,000 pesos. De los años de 1910 a 1914, la Compañía había extendido sus actividades productivas hacia las Islas de San José y Cerralvo, B.C.S. y tenía a su cargo aproximadamente 1,000 empleados, el 65% de éstos se dedicaba al trabajo perlicola que consistía en la construcción y mantenimiento de las estructuras de cultivo, además del cultivo propiamente dicho, el cual incluía el tratamiento final del producto (conchas, perlas y carne). Durante el mandato de Don Francisco I. Madero se rescindió la concesión de la Compañía Explotadora de Madreperlas, debido al primer decreto sobre pesca que la declara libre para todos los habitantes de la República (*fide*: Cariño y Cázquez, 1990).

De acuerdo con esta información la maricultura en nuestro país, arranca en forma paralela a la piscicultura a finales del siglo XIX, ya que en el año de 1883, se inicia la piscicultura institucional y en ese entonces la Secretaría de Fomento giró instrucciones a Alfredo V. Lamotte, para que se construyera un vivero de peces. Este vivero fue construido en Ocoyoaca, Lerma, Estado de México y se le dio el nombre de Vivero Nacional de Chimaleapan, adquiriendo en ese entonces un lote de 500,000 huevos de trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss* (*Salmo gairdneri*), importados de los EE.UU. (Morales, 1975; Medina *et al.*, 1976).

Al año siguiente Esteban Cházari, promovió el desarrollo de esta actividad y comisionado por la Secretaría de Fomento escribió un tratado con el nombre de "Piscicultura de Agua Dulce". En este excepcional trabajo describe la historia de la piscicultura, la anatomía y los sistemas de nomenclatura zoológica, toma en cuenta la necesidad de conocer y estudiar las aguas en las que se ha de hacer el cultivo, especifica las técnicas de laboratorio, sistemas de incubación y viveros, alimentación de los peces y sus enfermedades, transporte de huevos y alevines y la utilización de cuerpos de agua. Finalmente abordó la piscicultura industrial, agrícola y doméstica y comparó la piscicultura con otras actividades como la agricultura. En conclusión resumió los conocimientos de piscicultura de la época y planteó sus ideas para llevarla a la práctica (Cházari, 1884).

En su constante labor Cházari (1887), difundió la utilidad de la piscicultura y relacionó a esta actividad con la agricultura aportando algunas ideas para impulsar ambas biotécnicas en conjunto.

Por el trabajo escrito por este autor y su labor constante de promoción al cultivo de peces en las aguas epicontinentales, Esteban Cházari, puede ser considerado como el Padre de la Piscicultura Mexicana.

Fernández Leal en 1897, presentó al Congreso de la Unión un estudio sobre la piscicultura en el que se manifestó el interés que la Secretaría de Fomento tenía en la implantación de esta actividad en nuestro país. Citó también los progresos alcanzados en el Vivero Nacional de Chimaleapan y las medidas gubernamentales para impedir el uso de sustancias nocivas tales como la cal y la dinamita en la práctica pesquera.

Hay antecedentes que señalan que además del Vivero Nacional de Chimaleapan existió otro en La Condesa, cerca de la entonces Ciudad de México, donde se realizaron algunos trabajos sobre la alimentación de peces, utilizando *Tubifex spp.*, mosco, *Daphnia spp.* y otras combinaciones interesantes (Carranza, 1953).

El primer informe de repoblación realizado con ejemplares cultivados en los Viveros de Chimaleapan y La Condesa datan del año de 1892, siendo una pequeña publicación de la Secretaría de Fomento, que fue la encargada de dar instrucciones sobre el cultivo y cuidado de la trucha arco iris, incluyendo además ejemplares de carpa. La distribución se llevó a cabo con mucho éxito a principios del siguiente año (Leal, 1893). De manera oficial se puede afirmar que la acuicultura de repoblación se inicia en esta fecha, siendo las primeras especies introducidas en diversos cuerpos de agua la trucha arco iris y la carpa (Cabrera y García, 1986; Morales, 1975).

Herrera en 1896, formuló y editó el catálogo de la colección de peces del Museo Nacional de México junto con el norteamericano David Jordan, quien desde 1886, contribuyó enormemente al conocimiento de la ictiología mexicana y de otros países del continente. Justino Solórzano publicó en 1887 un estudio sobre la naturaleza de las aguas, condiciones y especies existentes desde la unión del Río Verde con el Yautepec hasta Jojutla, estado de Morelos (trucha, bagre, salmiche, mojarra, camarón de agua dulce y charal) y recomienda la introducción al lugar de huevos de salmónes, carpas y anguilas (*vide*: Alvarez *et al.*, 1961).

Esta época se caracteriza por dos hechos históricos, el primero de ellos es el desarrollo del cultivo de la ostra perlera, que significa el primer intento comercial de cultivo de una especie nativa y constituye el primer antecedente de la maricultura en nuestro país. El otro hecho relevante es la importancia que se le da a la piscicultura de aguas dulces y de las primeras medidas para su fomento, entre la que se incluye la construcción del primer vivero, la introducción de especies exóticas y su posterior distribución, dando inicio a la acuicultura de repoblación.

Es importante destacar que la distribución de organismos producidos o introducidos en diversos cuerpos de agua, no partieron de criterios de conservación de la fauna y flora nativa, con lo cual durante esta época se comprometieron varios ecosistemas acuáticos, de los cuales no existe información para cuantificar sus efectos. El inicio de una actividad de repoblación indiscriminada no tuvo un sustento científico ni técnico.

La Revolución y el periodo postrevolucionario.

Díaz de León en 1910, describió la historia de las exploraciones malacológicas de la República en el transcurso del siglo comprendido entre 1803 y 1903, proporcionando una lista de los nombres de los moluscos incluyendo además, el de la persona a la que ha sido dedicada cada especie; en 1912, se ocupó de los grupos taxonómicos hasta órdenes, citando familias, géneros y especies, así como la etimología de los nombres científicos y sus localidades.

En 1919, Cuesta Terrón escribió un tratado titulado: "Estudio particular sobre la pesca del

Robalo", que incluyó los hábitos migratorios de los peces y en especial del robalo, describió los métodos de pesca, así como el precio que alcanza este pez en el mercado; en 1925, presenta a la Sociedad Científica Antonio Alzate su trabajo "La fauna Ictiológica y Malacológica comestibles del Lago de Chapala, Jalisco y su pesca", en donde describió las especies autóctonas del lugar; en 1932, publicó el trabajo titulado: "Lista de los peces de Baja California" donde enlistó los peces del lugar, utilizando los nombres vulgares, científicos y su localidad. En 1934, hizo un trabajo monográfico sobre las lisas. El mismo autor también escribió entre otros documentos: "Peces mexicanos de agua dulce", "Apuntes para el estudio de la Pesca Nacional" y otros más de importancia fundamental para el desarrollo de la acuicultura de esa época (Alvarez *et al.* 1961).

En 1929, por orden del General Lázaro Cárdenas, se introdujo la lobina negra (*Micropterus salmoides*), en el Lago de Pátzcuaro. Dicha especie fue traída a México y depositada en Ocotlán, Jalisco. Al parecer no hay acuerdo entre los autores para precisar quien la introdujo a México, ya que algunos autores lo atribuyen a las gestiones realizadas por el Ingeniero Ballesteros en el año de 1910 y otros al Señor Thomas H. Williams, sin hacer referencia a la fecha (Carranza, 1953; Morales, 1975).

La Comisión Nacional de Irrigación, construyó en 1930 una estación para el cultivo de peces y con las crías obtenidas se repoblaron las aguas de las presas a su cargo; encontrándose los resultados en la revista Irrigación de México y en el Boletín Hidrológico (Carranza, 1953 y Morales, 1975).

En 1934, se crea el Departamento Forestal de Caza y Pesca. A partir de entonces resurge la piscicultura impulsada por el Director de este centro el Ingeniero Miguel Ángel de Quevedo. Uno de los problemas que fue de mayor interés en esa época fue la repoblación de las aguas interiores y se nombra al Sr. Felipe Berriozábal al frente de este programa asesorado por dos técnicos japoneses el Dr. Yoshiichi Matsui y el Ingeniero Yoshie Yamashita.

Miguel A. Quevedo informó al Departamento Forestal en el año de 1935, la organización y mantenimiento interior de las cooperativas costeras y la iniciación del registro de las sociedades autorizadas, para lograr un completo control de las explotaciones que se llevan a cabo; también hace un análisis de la Ley vigente sobre explotación de los recursos pesqueros y propone algunas mejoras (Alvarez *et al.*, 1961).

Muchos estudios fueron realizados en esa época, algunos de mayor calidad y otros regulares, pero había surgido el interés particular por la piscicultura.

Matsui y Yamashita (1936), después de estudiar los lagos de Pátzcuaro y Zirahuén y el Río Cupatitzio, enviaron un informe al Departamento Forestal de Caza y pesca, indicando los resultados de estos estudios, recomendando los siguientes: a) que en el Lago de Pátzcuaro no se venda pecado blanco cuando aún no ha alcanzado el estado adulto completo y aún no ha desovado; b) que se ceda el casco de la Hacienda de Ibarra, para establecer una estación limnológica y c) que se establezca una cooperativa de pescadores para que la utilidad de los productos sea para ellos y no para los intermediarios.

Respecto al Lago de Zirahuén sugieren la reforestación de las laderas de los cerros vecinos

para conservar la pureza de las aguas y la introducción de trucha arco iris y trucha de arroyo en el Río Cupatitzio, además del establecimiento de una estación piscícola.

Matsui y Yamashita, durante su estancia en el país también estudian la posibilidad de impulsar el consumo de pescado en la República Mexicana y argumentaron que en los lugares del Japón donde no se consume pescado, la mortalidad por enfermedades del aparato digestivo entre niños es común; y en un país como el nuestro que cuenta con litorales en dos océanos debe fomentarse su consumo (Alvarez *et al.*, 1961).

En 1936, se inició la construcción de la estación piscícola para truchas en Almoloya del Río, lugar de origen del Río Lerma. Un año después, otra más se empezó a construir en el Cerro de las Cruces del mismo Estado de México, por el Departamento Forestal de Caza y Pesca (Medina *et al.*, 1976).

Las primeras introducciones de trucha provenientes de estos viveros se realizaron en 1937 en las Lagunas de Zempoala y las de lobina negra en el Lago de Tequesquitengo; así como en San Miguel Regla, Huichapan, Necaxa y otros cuerpos de agua (Morales, 1975).

Por su parte el Ingeniero Miguel A. Quevedo informó acerca de la situación en que se encontraban los trabajos de investigación de los biólogos japoneses en los Lagos de Pátzcuaro y Zirahuén y sobre la explotación efectuada en los manantiales y ríos de los Estados de Morelos y Guerrero y el Puerto de Acapulco; exploración en la que intervinieron Matsui, Yamashita, Berriozábal, García Martínez y Zozoya.

El mismo Matsui en 1938, señaló al Departamento Forestal de Caza y Pesca, la necesidad urgente que tenía México de formar técnicos competentes en cada una de las disciplinas piscícolas, enviándolos a los planteles del Japón a especializarse en Biología Acuática y Planctónica, Investigación sobre la propagación de la trucha salmonada, técnicas de crias de ostras, la industria empacadora y otras actividades semejantes (*fide*: Alvarez *et al.*, 1961).

Por su parte el Hidrobiólogo Enrique Beltrán escribió en 1935, un texto general de Hidrobiología con aplicación a los problemas del país; sin embargo, existen antecedentes a este respecto desde 1896 por J. Aguilera en su estudio titulado "Bosquejo Geológico de México".

Antonio García en 1939, escribió "La pesca del camarón en la Costa del Pacífico", en el cual describió al crustáceo, sus hábitos y los lugares donde se encuentra, las temporadas de pesca, la importancia de la producción camaronera y la organización de los pescadores. El Departamento Forestal de Caza y Pesca acordó en ese mismo año la determinación de las temporadas hábiles de explotación del camarón y las épocas de veda para los estados de Sonora, Sinaloa y Nayarit, estableciendo al mismo tiempo ciertos requisitos para el uso de las redes de arrastre.

En 1939, el entonces Departamento de Marina incorporó en su organización los aspectos de pesca, encargándose también de la sección correspondiente de la Secretaría de Agricultura y Fomento. Esto desembocó en la formación de la Dirección General de pesca e Industrias Conexas, iniciándose así un claro proceso de centralización y unificación de esfuerzos en los

trabajos relacionados con la explotación pesquera y la acuicultura en general (Medina *et al.*, 1976).

A partir de 1940 se inició la construcción de "El Zarco" en el Distrito Federal y la Estación Acuícola La Hacienda del Pabellón en Aguascalientes, bajo la asesoría ésta última del Sr. Roberto Arroyo, iniciándose con esto el cultivo de bagre, carpa dorada y otros peces (Morales, 1975).

Ramírez Cantú en 1939, describió la fauna acuática del Valle de México, e hizo una revisión histórica de las plantas en el antiguo valle, explicando las diferencias entre las acuáticas y las terrestres; y en colaboración con el Profesor Herrera (1939) contribuyó al conocimiento de las macrofitas acuáticas del Lerma y sus alrededores (*fide*: Alvarez *et al.*, 1961).

Manuel Camiro publicó en 1939, un artículo de divulgación sobre la industria del abulón en la costa occidental de la Península de Baja California, citando los lugares del país en donde se explota, las generalidades taxonómicas, así como el buceo y los beneficios sociales y económicos generados por las enlatadoras.

En 1947, llegó a México el Dr. Jackson, biólogo del Instituto Politécnico de Virginia y publicó en la revista Marina, los métodos de cultivos de peces (*fide*: Carranza, 1954 y Morales, 1975). El estudio realizado por el Dr. Jackson despertó el interés en esta rama y en 1951, se inició la publicación del Boletín Mensual de divulgación sobre Piscicultura Rural por los biólogos Rodolfo Ramírez Granados y María Luisa Sevilla. Este boletín duró diez años y logró ser un medio eficiente para promover esta actividad en el país.

Por otro lado el Sr. Fernando Obregón dirigió un proyecto para promover y desarrollarla piscicultura en el medio rural.

En septiembre de 1950 se creó la Comisión para el Fomento de la Piscicultura Rural y en 1951, se divulgó a través de uno de sus trabajos los conocimientos conservacionistas entre los interesados en la cría de peces; se ocupó también del porqué de la prohibición a los particulares de introducir peces en aguas interiores; expuso las desventajas de tal práctica en lagos y ríos, sin antes haber efectuado un estudio previo de las especies naturales existentes, ya que en la mayoría de los casos los daños causados por la especie introducida pueden ser de graves consecuencias, lo que constituyó la primera llamada para proteger a los medios ambientes acuáticos, sobre todo en aquellos en donde existían especies nativas o autóctonas.

Asimismo la Comisión en ese mismo año, detalló los recursos pesqueros y en 1952 publicó una serie de artículos acerca de los recursos naturales y su conservación. Ocupándose de igual manera del transporte de huevo y las condiciones y métodos en la práctica de la piscicultura (Alvarez *et al.*, 1961).

Jorge Carranza en 1951, se ocupó de los estanques naturales y artificiales como medio de conservación del suelo y agua; de la pesquería del atún en el Golfo de México y las posibilidades de dicha actividad (1953); al año siguiente estudió las pesquerías marinas de la Península de Yucatán; sin olvidar escribir la historia de la piscicultura en México (1956); todo lo anterior lo podemos constatar en sus publicaciones como son "Los estanques

naturales y artificiales como medio de conservación del agua"; "Métodos para marcar peces de pequeño tamaño, de utilidad en estudios de poblaciones"; "La pesca del atún y sus posibilidades en el Golfo de México"; "Historia de la Piscicultura en México", entre otros (*vide*: Alvarez *et al.*, 1961).

La Ley de Pesca en 1950 autorizó a terceros, la explotación del ostión, abulón y langosta, con lo cual se propició las prácticas de acondicionamiento de fondos y trasplantes de semillas para el cultivo del ostión en la Laguna de Tamiahua, Veracruz. A partir de esa fecha se estableció el cultivo semi intensivo del ostión del Golfo de México (De Buen, 1957).

En 1954 Fernando Obregón Fernández, inició trabajos sobre la piscicultura ejidal y publicó "La piscicultura y los problemas ejidales"; "Trabajos de piscicultura en Nayarit" y otros (*vide*: Morales, 1975).

Una de las instituciones que realizó gran número de intervenciones para el fomento y práctica de la acuicultura fue el Banco Nacional de Crédito Ejidal (fundado en 1958) y construyó varias estaciones piscícolas, entre éstas podemos mencionar la de Aldama, Chihuahua (1958); Canatlán, Durango, Tamazulapan y Tlacolula, Oaxaca (1959); Chilpancingo, Guerrero y San Cayetano, Nayarit en 1960; por último la estación piscícola Las Pintas, Jalisco en 1961 (Medina *et al.*, 1976; Ferré, 1982).

La Secretaría de Industria y Comercio formó en 1958 el Instituto Nacional de Investigaciones Biológico-pesqueras, siendo el primer Director el Biólogo Mauro Cárdenas Figueroa, y en 1963 se introdujeron algunas especies que se cultivaban en ese momento en diversos países del mundo.

En 1964 se adquirieron tres especies de mojarra africanas procedentes de los Estados Unidos (*Tilapia nilotica* = *Oreochromis niloticus*, *T. melanopleura* = *T. rendalli* y *T. mossambica* = *O. mossambicus*) (Morales, 1975). En 1965, se importaron por primera vez los ciprinidos asiáticos "carpa herbívora" (*Ctenopharyngodon idellus*) y la "carpa plateada" (*Hypophthalmichthys molitrix*) ambos procedentes de la República Popular china (Arredondo, 1976; 1983).

Armando Morales describió la actividad piscícola en el período comprendido entre 1963 y 1975, señalando que la piscicultura dejó de ser un simple cultivo y cría de peces, mediante la aplicación de sistemas más o menos rudimentarios; para ser una industria que implica conocimientos limnológicos complementados con la intervención técnica de personal preparado y adiestrado en la ejecución de trabajos piscícolas, se ha pasado a la etapa del estudio de la productividad de los embalses, al cultivo de las diferentes especies. El personal técnico no se limita a visitar otros países para enterarse de su labor que en ellos se realiza, sino que se reúnen y estudian la bibliografía para estar al día en los avances científicos en este campo.

La actividad piscícola por consiguiente no se orientó únicamente hacia el incremento de las repoblaciones, sino también hacia el logro de las mejores combinaciones en presas y embalses naturales para lograr el máximo rendimiento de éstas y no se deseó introducir una

sola especie, aunque ésta fuera la más adecuada, prefiriéndose introducir varias simultáneamente con el fin de diversificar e incrementar la producción y aprovechar en forma más completa los recursos hídricos. Las principales especies distribuidas en ese período fueron la lobina negra, carpa y tilapia y se efectuaron sobre el bobo, sabalote, mojarra y bagre (Morales, 1975).

En 1972, se iniciaron los cultivos experimentales de camarón en estanques naturales (Sur de Sinaloa). De igual manera se construyó el Centro de Investigaciones sobre Acuicultura Tropical en Puerto Ceiba, Tabasco, mismo que tuvo por objeto estudiar las especies nativas de la zona y determinar el efecto causado por la introducción de especies exóticas en la región (Juárez y Palomo, 1987).

De acuerdo con lo anteriormente expresado, en esta etapa después del movimiento revolucionario, empiezan a emerger ideas en torno a la acuicultura y se muestra un creciente interés en la actividad. Se fincan las políticas institucionales y se crean entidades especiales para atender para promover el cultivo de distintas especies, se construyen centros productores de crías, se fortalece la acuicultura de repoblación, se introducen especies exóticas y se llevan a cabo numerosas investigaciones en torno a los recursos naturales susceptibles de ser cultivados.

Esta época se puede caracterizar como la etapa básica del desarrollo, ya que confluyen intereses de tipo social, concesionando las principales especies a las Sociedades Cooperativas Pesqueras, se instituye la Ley Federal de Pesca y su reglamento y se derivan recursos federales para atender las necesidades de una actividad creciente.

Epoca actual (1980-a la fecha).

"La Acuicultura en México: antecedentes y desarrollo alcanzado hasta 1982", es el título del trabajo publicado por Juárez y Palomo en 1987, que describe la situación de la acuicultura de 1977 a 1982. En este período se suscribió el Plan Nacional de Desarrollo Pesquero (1977-1982), señalando como objetivos para la acuicultura: a) incrementar la producción con fines de alimentación, b) generar empleos y divisas y c) crear y consolidar la infraestructura tecnológica y la infraestructura física.

Con el transcurso del tiempo, las perspectivas sufrieron modificaciones y en 1981, se suprimieron las estrategias y objetivos que originalmente se habían aprobado en el Plan Nacional de Desarrollo Pesquero y se ajustó la intervención de la acuicultura al fomento del cultivo de cuatro especies de peces (bagre, carpa, trucha y tilapia), con ocho subprogramas. El Programa Nacional de Acuicultura (SAM-Acuicultura) recogió parcialmente el planteamiento sustentado por los profesionales de la acuicultura en México, registrado desde 1978 y que tuvo como objetivo superar la etapa de una acuicultura extensiva y cimentar la fase más productiva del proyecto acuícola que es la práctica de cultivos controlados, operados por piscicultores rurales o por acuicultores industriales. El programa citado estableció una prioridad al destino de la producción, manejando especies de consumo masivo enfocado básicamente a satisfacer los mínimos de alimentación de un 21% de la población identificada por el Sistema Alimentario Mexicano (SAM) en treinta millones (Departamento de Pesca, 1981).

En este periodo se intentó superar la etapa de la piscicultura de siembra, o de repoblación en las aguas dulces y se desarrolló una incipiente acuicultura intensiva. En los dos últimos años de esta etapa destacan los avances logrados en el estado de Nayarit con el cultivo del camarón, ostión y callo de hacha. Para esa fecha se reportaron 49 centros productores de crías, mismos que son insuficientes en cuanto a su capacidad de producción, se dispuso de seis granjas de carácter comercial; y por último se instrumentó una fuente de financiamiento con esquemas de tramitación y líneas de crédito ya probadas en los últimos años (Juárez y Palomo, 1987).

Por su parte Medina y colaboradores en 1976, mencionaron que la actividad de la acuicultura por parte de la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH), Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG), Secretaría de Industria y Comercio (SIC), Secretaría de Marina (SM) y la Comisión Federal de Electricidad (CFE) tuvo como finalidad el fomento de la pesca, también analizaron en su trabajo titulado "La acuicultura en la planeación hidráulica" puntos de importancia dentro de esta rama como la escasez de los conocimientos limnológicos; el manejo empírico de las especies para la introducción de peces en los cuerpos de agua, sin tomar en cuenta los criterios ecológicos; el abandono y la interrupción de líneas y proyectos de investigación; la práctica de la pesca deportiva de la trucha en las zonas frías del país, de lobina y mojarra en la zona norte y la deficiencia para evaluar programas regionales tomando como base el número de crías.

Cabrera y García en 1986, publicaron "El estado de la acuicultura en México, al término de 1982", en donde los autores citaron las especies más valiosas, las de mayor consumo y las poco explotadas en nuestro país. Opinaron que el ostión es el recurso más valioso de la acuicultura mexicana, tanto por su volumen de producción como por los niveles de consumo y la magnitud de los empleos generados a través del cultivo de tres especies autóctonas *Crassostrea virginica*, *C. corteziensis* y una especie exótica *C. gigas*.

Respecto a la tilapia, señalaron que ésta ha cobrado importancia a partir de 1971, llegando a su mejor momento de producción en 1975 y actualmente constituye el rubro más importante de la producción pesquera (dulceacuícola). La especie más importante es *Oreochromis aureus*.

La carpa, es el segundo recurso de importancia, después de la tilapia en las aguas continentales. La almeja, la lisa, la langosta y el abulón presentan el menor volumen de producción anual y son susceptibles de cultivo. El camarón ha llegado al límite máximo de su rendimiento; existiendo diversos métodos para su cultivo. Algunas de las especies más estudiadas son *Litopenaeus stylirostris* y *Farfantepenaeus californiensis*. Entre las poblaciones pesqueras de especies acuícolas susceptibles de cultivo destacan tilapia, carpa, charal y pescado blanco, bagre, langostino, lobina y rana.

Juárez y Palomo (1985), opinaron que la función de la acuicultura está basada en la potencialidad de la producción de alimentos, la generación de fuentes de empleos y el mejoramiento de la dieta de la población rural; sin embargo, a pesar de su importante función, ésta sólo puede ser cuantificada en forma aproximada para la economía nacional, ya que su consolidación data de hace cinco años y se carece de un método de registro de

beneficios y rendimientos que permitan evaluar cuantitativamente el resultado de la actividad. Tampoco se tienen datos precisos sobre las especies cultivadas de ciclo completo, ya que éstas se encuentran todavía en un nivel experimental con diferentes biotécnicas.

Por último, cabe señalar que el número de crías que se depositan en los cuerpos de agua es conocido, no obstante, al carecer de un control estadístico de las extracciones, el resultado de su producción es nuevamente aproximado. Si bien se señalan las carencias, también es digno de mencionarse los avances obtenidos como son: el desarrollo tecnológico, referente al desove y la fecundación artificial del pescado blanco; la reproducción artificial y natural de la carpa herbívora; la producción de crías para la acuicultura extensiva y el cultivo de camarón que se ha convertido en una de las ramas más estudiadas y practicadas en nuestra historia.

El cultivo controlado superó la etapa de la piscicultura de siembra o repoblación; dicha práctica fue empleada por comunidades rurales o empresas de carácter ejidal. Los avances logrados en la transportación masiva de peces vivos y el ejercicio de la reproducción artificial, son los aspectos básicos que han contribuido para lograr el nivel actual de la piscicultura en México.

Los mismos autores consideraron que se deberá promover un programa de producción que se apoye en la tecnología existente, proporcionando también las facilidades para su desarrollo con lo cual se logrará fomentar la investigación.

Rosas y Sánchez (1987), citaron en una publicación una serie de trabajos en donde se refleja la actividad y desarrollo que ha tenido la acuicultura hasta la fecha. Entre los datos importantes se pueden señalar que en 1986 existían en México 53 piscifactorías en aguas interiores y 43 unidades de producción en zonas costeras, todas dependientes de la Secretaría de Pesca. Utilizando cuadros compararon la producción de especies de aguas salobres tanto del Pacífico como del Golfo de México y peces de agua dulce, citando tilapias, carpas, bagres y langostinos y las especies de aguas salobres ostión, abulón, almejas y peces. Observándose que el mayor número de crías en agua dulce corresponde a la carpa y la tilapia y las especies de mayor producción en aguas salobres la ocupa en primer lugar el ostión.

Asimismo señalan la importancia de realizar estudios profundos de biología y ecología para los cultivos de especies acuáticas, ya que la investigación es esencial para un óptimo manejo de estos organismos.

Al año siguiente Noriega y Noriega (1988), llevaron a cabo un estudio sobre el estado de la planificación de la acuicultura en México, en donde después de analizar los indicadores geográficos de la República Mexicana elaboró un marco de referencia de la situación de la acuicultura, precisando las características, posibilidades de desarrollo y consecuencias de las diversas modalidades que se practican en el país.

Así, los autores expresaron que *"cuando se trata de diagnosticar el estado de desarrollo de la acuicultura mexicana, es frecuente incurrir en el error de omitir la cuantificación de los beneficios, en términos de datos de producción de carne, número de personas beneficiadas,*

tipo y monto de tal beneficio, así como la trascendencia social y económica de ellos. En lugar de lo anterior, se suele referir en detalle el rubro de infraestructura, señalando lo relativo a los centros o estaciones existentes, la cantidad de crias que se producen, el número de embalses y hectáreas que se siembran con ellas, el número de especies que se implican en tales operaciones, el número de centros escolares que tienen programas para la formación de personal técnico en acuicultura, el número de egresados de los mismos, y otros detalles por el estilo; que si bien significan algo en cuanto al estado de desarrollo de la acuicultura, son de importancia secundaria y carecen de sentido si no se aborda antes la cuantificación de los beneficios. Pero fundamentalmente se propone que una cuantificación de los beneficios sea desde una perspectiva integral, técnica, social, económica, administrativa y de la planificación. La evolución de las estructuras estatales de acuicultura, impulsada durante la actual administración, ha permitido perfilar una nueva visión de estas actividades y expresar la acuicultura como una política de producción de alimentos, empleos y divisas en el ámbito nacional dentro del contexto del sistema de producción pesquera que genere en los productores un cambio de actitud hacia sus sistemas de producción. Llevar a la acuicultura a este nivel significa desarrollar una institución multidisciplinaria, organizada de tal manera que permita contemporáneamente generar proyectos, evaluarlos e integrarlos, desde el punto de vista económico-social. Asimismo, generar tecnologías adecuadas a nuestras condiciones socioeconómicas a través de sistemas piloto, capacitar técnicamente a los recursos humanos de nivel superior que operan los proyectos, asesorar y preparar productores para que se integren a esta actividad; ejecutar los distintos programas a escala comercial y hacer óptimos sus rendimientos".

Rangel (1990), señaló que actualmente las especies que se cultivan y se siembran en los grandes embalses son peces de agua dulce. El nivel de la tecnología empleada y las producciones obtenidas colocan a nuestro país en un sitio de prestigio, con 111,694 toneladas de producción derivada de acuicultura en 1989, y 260,000 toneladas estimadas para 1994, tan solo para tilapia, carpa, bagre, trucha, lobina y charal.

En lo que respecta a las especies marinas, las experiencias de cultivo no han sido apoyadas ni los esfuerzos continuos, aún cuando existen zonas costeras donde las tecnologías aplicadas en diferentes áreas de la producción (ganadería, agricultura, transformación de alimentos y petroquímica) son de punta, y una orientación hacia la maricultura sería fácil de desarrollar. La única especie en la que se ha cumplido este planteamiento es el camarón en las costas de Sinaloa y Sonora, pero llegando al extremo de destinarle todos los recursos, aún cuando restan por definir aspectos tecnológicos y normativos.

Se debe hacer notar que actualmente, la acuicultura no ha logrado el desarrollo alcanzado en otras latitudes por problemas de organización de los productores, financiamiento e infraestructura; siendo todos ellos el resultado de una carencia de planificación sólida con metas y estrategias a corto, mediano y largo plazo.

Sin embargo, la transportación masiva de peces vivos así como el ejercicio de la reproducción artificial, son los avances más significativos de esta época y se propone que una cuantificación en los beneficios de la acuicultura sea vista desde una perspectiva integral, técnica, social, económica, administrativa y de planificación, que permita superar

los problemas añejos y se dé una respuesta efectiva a los inversionistas para ser más competitiva la actividad, sobre todo ante el nuevo orden económico que se establece con la firma del Tratado Trilateral del Libre Comercio entre los EE.UU., Canadá y México, además de los procesos de globalización y de apertura económica.

De este análisis se deriva que en los últimos años la acuicultura pasó por una etapa de análisis y reflexión, que permitió realizar un diagnóstico de la actividad, planificar y plantear alternativas y estrategias, dejando a un lado la acuicultura de repoblación y mirando más hacia el cultivo de mayor intensidad tecnológica. Se fortaleció notablemente la infraestructura, se consolidaron las dependencias federales y estatales que participan en la actividad, se cambió la Ley Federal de Pesca, se establecieron reglamentos más acordes con la realidad y se fomentó marcadamente la organización, la capacitación y se abrieron los créditos y financiamientos a proyectos productivos.

Siempre se manejó una visión simplista de la actividad, sin considerarla de forma integral ni vinculada al desarrollo sustentable. Realmente es con la creación de la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), cuando estas ideas empiezan a fluir en la mente de los servidores públicos y de los técnicos y surgen como una respuesta a los problemas ambientales las Organizaciones no gubernamentales (ONG).

Es en esta nueva perspectiva cuando nuevas ideas y conceptos emergen como propuestas para cambiar la forma de pensamiento de la sociedad mexicana, cada día más preocupada por mejorar el medio ambiente y conservar sus recursos naturales y es en esta nueva expresión en la que ahora se encuentra inmersa esta actividad.

Aspectos legales, administrativos y políticos de la acuicultura.

A continuación se resumen los principales eventos que han impactado el desarrollo de la acuicultura mexicana en orden cronológico.

1. En los albores del siglo XIX se instrumentaron las primeras medidas tendientes a regular y fomentar la pesca en México, y en 1853 se creó el Ministerio de Fomento, Colonización, Industria y Comercio, que se encargó de estas funciones.
2. Por su parte el General Porfirio Díaz, durante su gestión gubernamental, formó la Oficina de Piscicultura, dependiente de la Secretaría de Fomento, con el fin de impulsarla (Ley del 13 de mayo de 1891).
3. El 16 de septiembre de 1912, el Presidente Francisco I. Madero declaró que dada la importancia que el ramo de la pesca tiene para el país, debido a sus vastos recursos en las costas mexicanas, el gobierno espera obtener con la explotación de la pesca la base de la alimentación del pueblo, lo que se supone fue la primera declaración para acceder a los recursos pesqueros del país.
4. Ya siendo Presidente Venustiano Carranza, se instituyó el 25 de diciembre de 1917 la Secretaría de Agricultura y Fomento, creándose dentro de esta Secretaría la Dirección Forestal de Caza y Pesca, a la cual se le otorgaron atribuciones para controlar y vigilar la

explotación de la flora y la fauna acuáticas.

5. Bajo la Presidencia del General Alvaro Obregón (1923), se creó la Dirección de Pesquerías, dependiente de la Secretaría de Agricultura y Fomento, encargada de regular, fomentar y desarrollar la actividad pesquera, mediante el establecimiento de agencias y oficinas de inspección en diversos puntos del país.
6. La primera Ley de Pesca fue promulgada en 1925 por el Presidente Plutarco Elías Calles, con el objeto de regular la explotación de los recursos naturales y determinar vedas y zonas de reserva, funciones encomendadas a la entonces Secretaría de Agricultura y Fomento. Dentro de esta dependencia, en 1926 se constituyeron la Comisión de Biología Marina y la Comisión Nacional de Irrigación, con atribuciones para la investigación y el fomento de la pesca en general.
7. Durante las gestiones gubernamentales de los Presidentes Emilio Portes Gil, Pascual Ortiz Rubio y Abelardo L. Rodríguez, se promulgaron numerosas disposiciones jurídicas a propósito de la pesca y de las aguas, tanto al nivel de leyes como de reglamentos. Iniciando con la definición de lo que es acuicultura e incorporando el concepto de "zona reservada de cultivo".
8. El Presidente Lázaro Cárdenas dispuso en 1934 la creación del Departamento Forestal de Caza y Pesca, que suplió a la Dirección de Pesquerías, ocupándose de la protección, investigación y difusión de las actividades pesqueras, así como de la educación y capacitación de los recursos humanos a través de los Institutos de Enseñanza Superior y de Investigación Forestal de Caza y Pesca.
9. A partir de 1940 se inició la construcción del Centro Acuícola "El Zarco", por parte del estado. En ese mismo año, el Presidente Manuel Avila Camacho transformó el Departamento de Marina en Secretaría de Marina, a la cual quedó adscrita la Dirección General de Pesca e Industrias Conexas, para cubrir las tareas de implementar una estadística pesquera que permitiera desempeñar con criterios técnicos las funciones de conservación, desarrollo, organización, fomento, protección y control de la fauna y flora marítima, fluvial y lacustre.
10. El Presidente Miguel Alemán creó a través de la Ley de Secretarías y Departamento de Estado, la Secretaría de Recursos Hidráulicos (Diario Oficial 31-XII-1946), estableciéndose dentro de ella la Dirección de Lagunas Litorales con funciones de acuicultura.
11. Cuatro años después con el objeto de establecer las condiciones técnicas y legales para el ejercicio de la pesca y la explotación de los recursos naturales, se promulgó la Ley de Pesca de los Estados Unidos Mexicanos (Diario Oficial, 16-I- 1950). De esta Ley sobresalen en materia de acuicultura, dos nuevos elementos jurídicos orientados al fomento y atención de la piscicultura rural y el otorgamiento de concesiones a particulares para el cultivo del ostión, abulón y langosta de mar (Ferré, 1982).
12. A partir de 1968, la acuicultura dirigió su atención a las aguas salobres (aguas

protegidas), iniciándose los estudios de los planes pilotos de Yavaros y Escuinapa, que constituyeron el antecedente de la creación de tres fideicomisos para las lagunas litorales de los estados de Sinaloa, Nayarit y Oaxaca.

13. Por acuerdo Presidencial del 15 de enero de 1971, durante la gestión del Presidente Luis Echeverría Álvarez, la Dirección General de Pesca e Industrias Conexas se convirtió en Subsecretaría de Pesca.
14. En 1971 se expidió la Ley Federal de Aguas, en donde se sentaron las bases para el establecimiento de los distritos de acuicultura, mismos que materializaron el concepto de la planeación del desarrollo de la acuicultura en las zonas estuarinas del país bajo un esquema de aprovechamiento integral de los recursos disponibles.
15. Asimismo, al promulgarse dicha Ley en 1972 se creó la Dirección General de Acuicultura como dependencia de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, a la cual se le confirieron las siguientes atribuciones: a) integrar los distritos de acuicultura, b) preservar y asesorar las condiciones de las aguas dulces y salobres nacionales y c) Investigar y explotar la flora y fauna acuáticas.
16. En ese mismo sexenio, el Gobierno Federal incrementó su participación en el sector pesquero mediante la creación de entidades paraestatales, entre las que destacan el Fideicomiso para la Prevención y Control de las Aguas, el Fideicomiso para el Desarrollo de la Fauna Acuática (FIDEFA) y el Fideicomiso único para el Desarrollo de la Flora y Fauna acuáticas (FUDFYFA); siendo éste último el resultado de la fusión de los tres fideicomisos para las lagunas litorales.
17. Transformada la Dirección de Pesca en Subsecretaría, las actividades acuícolas en aguas continentales fueron manejadas por el Fideicomiso para el Desarrollo de la Fauna Acuática, cuya fiduciaria la constituyó Nacional Financiera, S.A.
18. En 1972 se crearon por decreto presidencial tres Distritos de Acuicultura: Nayarit (1972), (Cuenca del Papaloapan) Veracruz (1973) y Tabasco (1973). Se constituyeron 18 residencias de Acuicultura, posteriormente denominadas Centros de Acuicultura, que fueron posteriormente las Oficinas de Acuicultura de la Secretaría de Pesca.
19. En 1976 se creó el Departamento de Pesca, y posteriormente la Secretaría de Pesca y se conjuntaron en esta dependencia todas las funciones y las instalaciones del sector público federal relacionadas con el trabajo pesquero, permaneciendo la Dirección General de Acuicultura como unidad rectora del desarrollo de esta actividad. En este periodo, la legislación que regulaba la actividad pesquera estaba controlada en la Ley Federal para el Fomento de la Pesca, la cual poco aportaba para la normatividad del trabajo acuícola.
20. En 1976, la acuicultura era practicada por cinco Secretarías de Estado (S.R.H.; S.I.C.; S.R.A.; S.E.P. y S.A.G.) un organismo descentralizado (Comisión Federal de Electricidad) tres gobiernos estatales (México, Michoacán y Puebla) y siete particulares (Piscifactorías de Atlapulco, Los Truchones, El Oro y Acambay en México; Río Frío,

Puebla; El Rosario, Sinaloa y Ranicola de Jamay, Jalisco).

21. En el rubro de la planificación, el sector pesca dispone por primera ocasión de un Plan Nacional de Desarrollo Pesquero (1977-1982) y el desarrollo de la acuicultura se planifica en los años 1981-1982 con el Programa Nacional SAM Acuicultura que únicamente proyecta acciones para el cultivo de la carpa, bagre, trucha y tilapia.
22. La importancia que adquirió la actividad pesquera hizo que el 4 de enero de 1982 se creara la Secretaría de Pesca. La administración federal (1982-1988) estuvo dirigida por las proyecciones, estrategias y líneas de acción del Plan Nacional de Desarrollo; por su parte la actividad pesquera tuvo como instrumento rector al Programa Nacional de Pesca y Recursos del Mar (1983-1988), ambos consideraron a la acuicultura como actividad prioritaria y con una alta potencialidad para contribuir a alcanzar la satisfacción de los grandes objetivos nacionales, ampliar la captación de divisas y favorecer el desarrollo regional.
23. Durante la Presidencia del Lic. Miguel de la Madrid, la Ley Federal de Pesca (1986) definió el concepto de acuicultura y autorizó a la Secretaría de Pesca y sus dependencias a establecer servicios de investigación en genética, nutrición, sanidad y extensionismo en materia de acuicultura; promovió la capacitación de personal especializado en nuevas técnicas de acuicultura, y en el caso de las especies reservadas, dicha Secretaría podrá establecer centros acuícolas en apoyo a las sociedades cooperativas de producción pesquera, para el desarrollo de algunas fases de cultivo (Diario Oficial 26-XII-1986).
24. La Ley de Pesca que entró en vigor en 1987, tuvo modificaciones debido a las demandas de nuevos centros y las necesidades de alimentación nacional y enfatizó que el cultivo de especies reservadas en tierras comunales y ejidales que únicamente será realizado por sociedades cooperativas, ejidales o comunales, y el 2 de octubre de 1987, se inició el Programa Nacional de Cultivo de Camarón como parte de la modernización del Sector pesquero (Hernández, 1988).
25. La Ley federal de Pesca y su Reglamento publicados el 7 de febrero de 1991, señala la modificación y ampliación del concepto de la acuicultura: "... cultivo de la flora y fauna acuáticas, mediante el empleo de métodos y técnicas para su desarrollo controlado en aguas continentales, interiores, el mar territorial, la zona económica exclusiva y los cuerpos de agua que se construyan". De igual manera el artículo 24 del citado ordenamiento, hace referencia en su 2o. párrafo a la facultad que tiene la Secretaría de Pesca para otorgar concesiones para el cultivo de las especies reservadas en agua de Jurisdicción Federal indicando que las sociedades cooperativas de producción pesquera, incluidas las ejidales y comunales, ejidos y comunidades, personas físicas y morales de nacionalidad mexicana podrán solicitar dichas concesiones (Ley Federal de Pesca y su reglamento, 1991).
26. En 1992 la Ley Federal de Pesca vigente, en su artículo 3o. prevé la aplicación de la misma determinando entre sus facultades, promover el desarrollo de la acuicultura en coordinación con otras dependencias del Ejecutivo Federal, Estatal y Municipal; determinar de acuerdo con las condiciones técnicas y naturales las zonas de captura y

cultivo, las de reserva en aguas interiores y frentes de playa para la recolección de postlarvas, crías, semillas y otros estadios biológicos, así como las épocas y volúmenes a que deberá sujetarse la colecta; regular la introducción de la flora y fauna acuáticas en cuerpos de agua y Jurisdicción Federal; definir las normas técnicas sanitarias para garantizar el sano desarrollo de las especies acuáticas, etc.

Respecto de las autorizaciones, concesiones y permisos, la propia Ley señala que las mismas podrán ser utilizadas únicamente por personas físicas o morales de nacionalidad mexicana para realizar las actividades de captura, extracción y cultivo de los recursos regulados por ella según corresponda, o en el caso de recolectar del medio natural reproductores, larvas, postlarvas, crías, huevos, semillas o alevines, con fines de producción acuícola o de investigación. En este último supuesto las autorizaciones para realizar esta actividad quedarán sujetas a la disponibilidad y conservación de las especies.

Ya no se contempla el capítulo de los recursos pesqueros reservados que autorizó a las sociedades cooperativas de producción pesquera incluidas las ejidales y comunales la captura de especies reservadas, de lo que se deduce que ya no hay especies reservadas (Diario Oficial 25-VI-1992).

Los eventos históricos relacionados con los aspectos legales, administrativos y políticos de la acuicultura señalados en este apartado, se desglosan en forma gráfica en la figura 6.

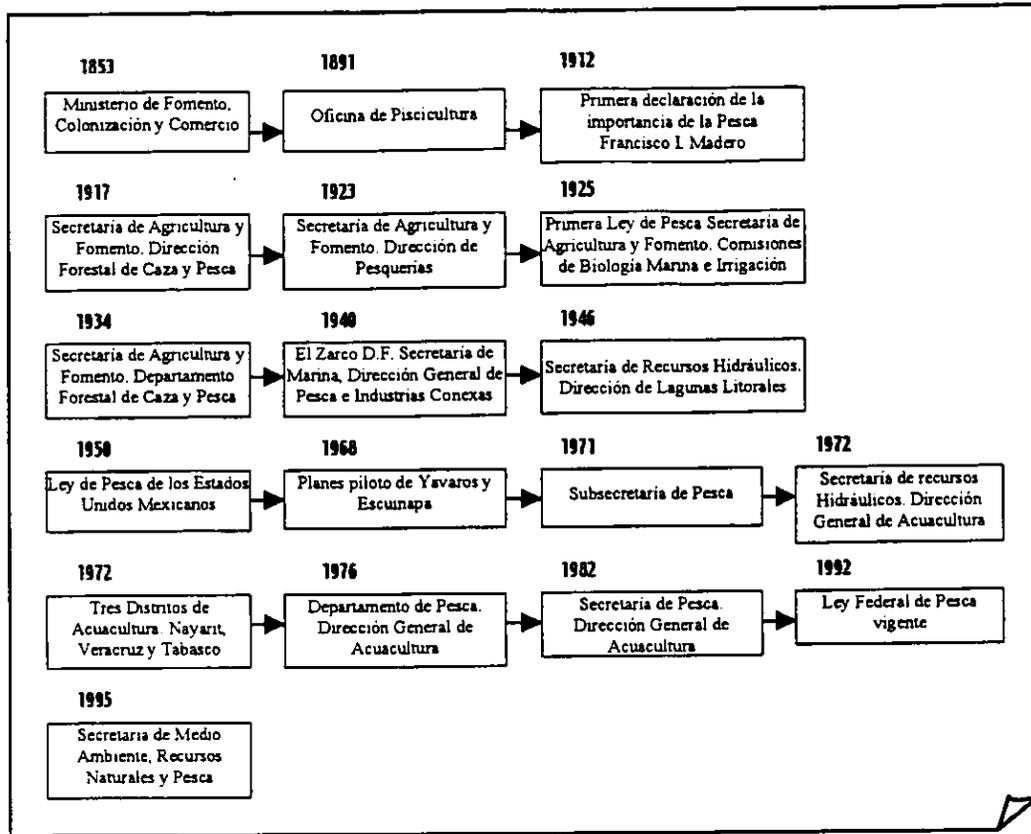


Figura 6. Representación gráfica de los principales eventos históricos y las dependencias federales que han participado en el desarrollo de la acuicultura nacional.

IV. ESCENARIO BIOGEOECONOMICO DE LA ACUICULTURA

La República Mexicana se encuentra situada en el Hemisferio Occidental, en la parte Sur de América del Norte. Sus fronteras son al Norte con los Estados Unidos de Norteamérica; al Sur y al Oeste con el Océano Pacífico, al Este con el Golfo de México y al Mar de las Antillas y al Sudeste con las repúblicas de Guatemala y Belice (Figura 7).

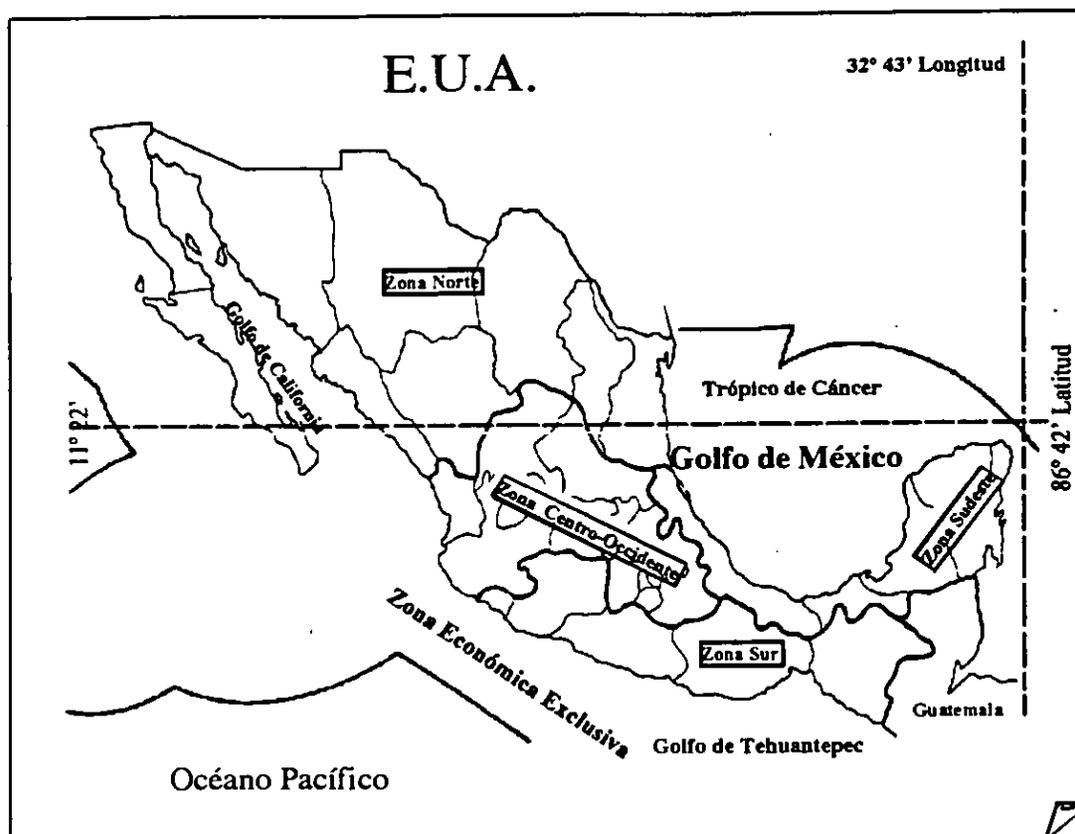


Figura 7. Mapa de la República Mexicana, donde se muestran las regiones acuícolas.

Tiene una extensión territorial de 1,972,544 km² y políticamente se divide en 31 estados y un Distrito Federal. Ocupa el decimotercero lugar en cuanto a su territorio en la estadística mundial y es el segundo más grande en población (91 millones en 1995) en América Latina y el primero en habla hispana (Palomo y Arriaga, 1988; INEGI, 1995).

El mosaico geográfico que presenta la República Mexicana, brinda una clara idea del potencial que existe para ser aprovechado en las actividades de acuicultura, ya que en el país inciden cuatro de los cinco tipos de clima existentes, 30 tipos de vegetación y cerca de 100 zonas geoeconómicas, algunas de ellas corresponden a núcleos de gran originalidad y son únicas en el mundo por sus características tan particulares.

La biodiversidad es elevada debido a la confluencia de dos regiones biogeográficas bien delimitadas que son la neártica y la neotropical, ambas a su vez agrupan a 18 provincias bióticas (13 neárticas y 6 neotropicales), con características particulares donde es posible encontrar áreas de endemismo marcado y polos de especiación de algunos grupos de animales principalmente de peces. Situación que llevó a Meek (1904) a considerar a México como una zona de gran importancia desde el punto de vista ictiofaunístico (García, *et al.*, inédito).

Esta situación permite disponer de más de cien especies de algas, moluscos, crustáceos, peces, anfibios y reptiles con amplias posibilidades de ser utilizadas en la acuicultura y que representan más del 25% de la disponibilidad total de especies a nivel mundial, por lo que se presentan condiciones de privilegio, que confirman las amplias posibilidades que tiene esta actividad a futuro como una fuente generadora de alimentos para el consumo humano (García y Cabrera, 1990; Hernández y García, 1990).

Tipos de climas.

En la República Mexicana se presentan distintos tipos de climas, desde los cálidos húmedos hasta los semifríos áridos. Posee cuatro de los cinco tipos climáticos fundamentales de acuerdo a su temperatura que son: los cálidos y muy cálidos con una temperatura media anual mayor de 18 °C, semicálidos con una temperatura media anual entre 18 y 22 °C, templados entre 12 y 18 °C y semifríos entre 5 y 12 °C.

De lo anterior podemos concluir que puede ser considerada como una zona de temperatura estable, ya que existen variaciones de 5 °C registrada como temperatura media en la zona fría a 22 °C predominantes en las regiones cálidas, localizadas éstas últimas tanto en la costa del Pacífico como en la franja costera del Golfo, incluyendo a toda la zona del sudeste. El centro del país es predominantemente templado y semicálido por lo que la temperatura varía solamente de 12 a 22 °C. Los estados de Coahuila, Nuevo León y parte de Zacatecas y Chihuahua registran temperaturas cálidas durante el verano, mientras que el invierno se caracteriza por un fuerte descenso de las mismas. Por su parte el Valle de México se considera como una zona de temperatura templada durante todo el año. De acuerdo a la clasificación climática de Köppen, modificada por García se reconocen cinco tipos de clima: húmedo, subhúmedo, semiárido, áridos y muy áridos (García, 1988).

En las regiones costeras el clima es principalmente cálido, variando únicamente en su grado de humedad, con excepción de Veracruz y Campeche, que tienen mucha humedad debido a la cantidad de lluvias que presentan. Los estados de Coahuila y Nuevo León se caracterizan por comprender una extensa región semicálida y seca. Los desiertos de Sonora y Chihuahua figuran entre los principales del mundo. El centro del país se caracteriza por clima templado.

Vegetación.

La situación geográfica de México, sus particularidades fisiográficas y su diversidad climatológica, favorecen que en su territorio se desarrollen 30 tipos de vegetación. Por tal motivo, es difícil encontrar un acuerdo de criterios por parte de los investigadores para clasificar la cubierta vegetal de nuestro país. Sin embargo, Rzedowsky (1978) propone un

sistema de clasificación en donde se muestra cierta homogeneidad de criterios básicos.

La ubicación de los límites entre las comunidades vegetales se desconoce aún en muchas regiones del país y las demarcaciones señaladas entre el bosque tropical subcaducifolio y el bosque tropical caducifolio, así como entre el bosque espinoso y el matorral xerófilo son muy tentativas. Asimismo, sus bosques tropicales, tienen caracteres cercanos a los del bosque ecuatorial y se localizan en las regiones de climas tropicales lluviosos con periodos de sequía bien diferenciados. En grandes extensiones de su territorio se advierte la presencia de flora desértica, tanto en las regiones de clima estepario como en el semi desértico seco y extremosos (Palomo y Arriaga, 1988).

Hidrología.

Una división clásica si se toman en cuenta criterios de tipo fisiográfico (García y Falcón, 1974), permite dividir al país en cuatro grandes zonas; 1) la altiplanicie mexicana, que se encuentra delimitada por la Sierra Madre Occidental y Oriental, extendiéndose desde el límite norte con los estados Unidos de Norteamérica hasta el Sur, cortándose por el eje volcánico transversal, entre los 19 y 20° de latitud norte y que a su vez se encuentra subdividida en la Meseta Norte y Meseta Central o del Anáhuac; 2) la Cuenca del Balsas, hacia el sudeste y sur de la Meseta central limitada por la Sierra Madre del Sur y la de Oaxaca; 3) la región del sudeste separada de la Meseta central y la Cuenca del Balsas por el Istmo de Tehuantepec distinguiendo en ella algunas subregiones como la depresión central de Chiapas, la meseta de Comitán y la Llanura Tabasqueña y 4) la Península de Yucatán, que ocupa el extremo sudeste de la República Mexicana y que corresponde a una losa terciaria o cuaternaria débilmente inclinada hacia el norte y con una baja altitud sobre el nivel del mar. En la parte baja de esta última zona se ubica la Llanura de Campeche, que es una continuación de la Llanura Tabasqueña.

El estado de Chiapas cuenta con una de las mayores riquezas hidrológicas del país, ya que tiene 72 ríos permanentes, destacando por su magnitud el Sistema Grijalva-Usumacinta y la Cuenca de Comitán que drenan hacia el Golfo de México y el río Huixtlán, Suchiate y Pijijiapan entre otros que drenan hacia el Pacífico Sur.

Lozano y Contreras (1987), al estudiar la ictiofauna de este estado establecen tres provincias ictiofaunísticas en siete provincias fisiográficas, que nos brindan una idea de la complejidad que tiene y en la cual se han reportado 135 especies de peces en 38 familias y 72 géneros, siendo 72 especies totalmente del continente.

En el caso de los ríos que vierten sus aguas a los océanos Pacífico y Atlántico, se han agrupado tradicionalmente en tres zonas: 1) la vertiente del Océano Atlántico, separado en el Golfo de México y Mar Caribe; 2) la Península de Baja California y 3) la vertiente del Océano Pacífico.

De acuerdo con los datos señalados por Tamayo (1974), la vertiente del Atlántico presenta una área total que suma 46 cuencas con 753,476 Km³, y un escurrimiento total medio anual de 244,701 millones de m³. Las vertientes de la Península de Baja California constan de 10 cuencas que contiene una superficie de 140,252 km² y 949 millones de m³ de escurrimiento. La vertiente directa al Pacífico, tiene 86 cuencas que suman 753,478 km² con un escurrimiento anual de 125,616 millones de m³. La suma total de 146 cuencas, sin tomar en cuenta las

cuencas interiores arreicas y endorreicas, es de 1,647,206 km² de superficie y de 371,266 millones de m³ de escurrimiento medio anual.

El criterio de la UNESCO clasifica a los principales ríos del mundo, como aquellos cuyo caudal medio es superior a 100 m³/s. México presenta 16 principales ríos, dos de ellos en el Pacífico Norte, que son el Río Fuerte y el Río Culiacán y, los restantes están localizados al sur del Trópico de Cáncer, y por lo tanto, dentro de la zona intertropical.

Los tres ríos mayores del país son: el Sistema Grijalva-Usumacinta, el Río Coatzacoalcos y el Río Papaloapan, todos localizados al sur del Golfo de México.

El escurrimiento de cada uno de estos tres ríos es de 3,300 m³/s, 710 m³/s y 1,200 m³/s respectivamente y la suma de estos tres escurrimientos representa el 47% del correspondiente a todo el país, pero la suma de sus áreas de cuenca constituyen únicamente el 12% del área total de la nación.

El Río Bravo es de una gran importancia en el país tanto por su extensión como por su localización geográfica, misma que permite ubicarlo como punto divisorio entre nuestro país y los Estados Unidos de Norteamérica. Su longitud alcanza 3,030 km, superando al Río Lerma-Santiago que es 1,010 km y a los Ríos Balsas y Grijalva de 770 y 700 km respectivamente. Por su parte, la región del Istmo se ve sumamente enriquecida con la presencia de los ríos Papaloapan y Coatzacoalcos; mientras que el Grijalva, el Usumacinta y el Río Hondo coadyuvan al desarrollo del Sudeste del país (Noriega y Noriega, 1988; Decenio Hidrológico Internacional, 1981).

A pesar de que se tiene una idea del monto total de los recursos potamológicos y limnológicos que presenta el país, aún no se dispone de un inventario nacional de cuerpos de agua epicontinentales totalmente terminado. Entre los esfuerzos que se han realizado se tienen trabajos pioneros por Osorio-Tafall (1946), Tamayo (1962) y el Inventario Preliminar de Cuerpos de Agua Epicontinentales elaborado por Cadena y col. (inédito), en los que se incluyen embalses naturales y artificiales. De acuerdo con este último Inventario, hasta 1979 se tenían catalogados 12,000 cuerpos de agua, que cubrían una área superficial de 862,000 hectáreas.

La Secretaría de Recursos Hidráulicos a través de la Dirección de Agua y Suelo, indica que la disponibilidad de cuerpos de agua rebasa un millón de hectáreas, incluyendo los vasos de agua naturales y artificiales con una capacidad mayor a los cinco millones de metros cúbicos. El Inventario más reciente fue elaborado por la Dirección General de Acuicultura, en 1989 donde se señala una superficie de 1.3 millones de hectáreas que incluye lagos y presas (Tinoco y Atanacio, inédito).

De este gran total, aproximadamente 400,000 hectáreas corresponden a lagos y el resto a presas. De acuerdo con Arredondo y Aguilar (1983), existen 69 lagos naturales siendo 8 de ellos mayores de 10,000 ha, que se reparten en la Meseta del Norte y al Meseta Central, seguido en orden de importancia, la región del Sudeste y la Península de Yucatán y al final la Cuenca de Balsas, siendo los estados de Michoacán, Jalisco, Chihuahua, Tabasco, Campeche y Quintana Roo, los que cuentan con la mayor disponibilidad en cuanto a número y área superficial de inundación.

Dentro de esta gama de lagos, se encuentran aquellos que tienen un avanzado estado de evolución y que están en vías de desaparecer, otros de origen volcánicos, los formados por eventos combinados y los establecidos en cuencas de disolución (García *et al.*, inédito).

Indicadores de población, analfabetismo y mortalidad.

Los resultados definitivos del Censo de Población y Vivienda, indican que la población del país en el año de 1995, fue de 91,158,290 habitantes, es decir 10 millones más que al inicio de 1990 y casi el doble de la que tenía en 1970. Actualmente el país está creciendo a una tasa anual ligeramente menor del 1.8%, lo cual señala una mínima disminución comparada con la década de los ochenta que fue de 2.3% y de los noventa con 2.0 respectivamente. Con la tasa de crecimiento actual México alcanzará a finales de 1997 una población de 93 millones de habitantes. (Boletín Informativo del INEGI, 1997).

El crecimiento poblacional de las entidades federativas ha presentado diferentes intensidades. Así los estados con mayor dinámica de crecimiento entre 1990 y 1995 corresponden a Quintana Roo (6.5% anual), Baja California (4.3%), Morelos (3.4%), Campeche y Aguascalientes (3.3%), estado de México (3.2%) y Querétaro (3.1%). Por el contrario, la tasa de crecimiento promedio anual más baja la tienen el Distrito Federal, Zacatecas y Durango (0.5, 0.8 y 1.1% anual respectivamente) (INEGI, 1995), (Tabla 1).

Tabla 1. Población total por entidad federativa (1990, 1992 y 1995).

Entidad	Superficie Territorial (km ²)	%	Habitantes			Densidad de la población (hab/km ²)
			1990	1992	1995	
Aguascalientes	5,589	0.3	719,659	770,972	862,720	154
Baja California N.	70,113	3.6	1,660,855	1,908,434	2,112,140	30
Baja California S.	73,677	3.7	317,764	351,690	375,494	5
Campeche	51,833	2.6	535,185	569,417	642,516	12
Coahuila	151,571	7.7	1,972,340	2,040,046	2,173,775	14
Colima	5,455	0.3	428,510	458,607	488,028	89
Chiapas	73,887	3.8	3,210,496	3,436,574	3,584,786	48
Chihuahua	249,087	12.6	2,441,873	2,503,514	2,793,537	11
Distrito Federal	1,499	0.1	8,235,744	8,276,345	8,489,007	5,663
Durango	119,648	6.1	1,349,378	1,394,571	1,431,748	12
Guanajuato	30,589	1.6	3,982,593	4,170,885	4,406,568	144
Guerrero	63,794	3.2	2,620,637	2,732,699	2,916,567	45
Hidalgo	20,987	1.1	1,888,366	1,945,514	2,112,473	100
Jalisco	80,137	4.1	5,302,689	5,693,177	5,991,176	75
México	21,461	1.1	9,815,795	10,705,862	11,707,964	545
Michoacán	59,864	3.0	3,548,199	3,336,044	3,550,114	59
Morelos	4,941	0.3	1,195,059	1,259,170	1,442,662	292
Nayarit	27,621	1.4	824,643	871,710	896,702	32
Nuevo León	64,555	3.3	3,098,736	3,336,044	3,550,114	55

Oaxaca	95,364	4.8	3,019,560	3,207,147	3,228,895	39
Puebla	33,919	1.7	4,126,101	4,406,652	4,624,365	136
Querétaro	11,769	0.6	1,051,235	1,126,143	1,250,476	106
Quintana Roo	50,350	2.6	493,277	577,419	703,536	14
San Luis Potosí	62,848	3.2	2,003,187	2,088,544	2,200,763	35
Sinaloa	58,092	3.0	2,204,054	2,341,346	2,425,675	42
Sonora	184,934	9.4	1,823,606	1,866,757	2,085,536	11
Tabasco	24,661	1.3	1,501,744	1,595,487	1,748,769	71
Tamaulipas	79,829	4.1	2,249,581	2,351,663	2,527,328	32
Tlaxcala	3,914	0.2	761,277	812,749	883,924	225
Veracruz	72,815	3.7	6,228,239	6,405,478	6,737,324	92
Yucatán	39,340	2.0	1,362,940	1,390,318	1,556,622	39
Zacatecas	75,040	3.8	1,276,323	1,309,493	1,336,496	18
Total	1,967,183	100.0	81,249,645	85,627,971	91,158,290	46

Fuente: (INEGI, 1990, 1992 y 1995).

El 41% de la población del país reside en cinco entidades: México, Distrito Federal, Veracruz, Jalisco y Puebla. El estado de México con 11.7 millones de habitantes es la entidad federativa más poblada y concentra el 13% de la población nacional y capta el 19% del crecimiento total del país entre 1990 y 1995 (Tabla 1).

Las cifras indican que existe una tendencia cada día mayor de concentrarse la población en las grandes zonas urbanas y a la vez una elevada dispersión poblacional en pequeñas localidades rurales. De esta manera en las zonas metropolitanas de las ciudades de México, Guadalajara y Monterrey, que ocupan de manera conjunta el 2% del territorio nacional, reside el 25% de la población total. Otro indicador que pone de manifiesto la tendencia de la población a residir en localidades de mayor tamaño relativo a la concentración de población en localidades mayores de 100,000 habitantes, es que en 1970 existían 34 localidades con esos volúmenes y radicaban en ellas el 23% de la población; para 1990 eran 97 y la proporción de población se incrementó al 44% y para 1995 son 108 localidades que concentran el 46% del total nacional.

Por otra parte el porcentaje de población que reside en poblados de menos de 2,500 habitantes ha disminuido del 41% en 1970 al 26% en 1995. Los estados con una mayor proporción de población que viven en localidades de este tamaño son Chiapas y Oaxaca con el 56% e Hidalgo con el 52%.

El problema de la población no radica sólo en el número de personas, sino en la distribución geográfica y por edades (Palomo y Arriaga, 1988). La explosión demográfica ha causado serios problemas de desempleo, subempleo y de insuficiencia de servicios de todo tipo. Lo que ocasiona que las oportunidades de desarrollo social y económico disminuyan drásticamente en medida que la capacidad intelectual del mexicano se deteriora, producto en primera instancia de un desarrollo fetal e infantil inapropiado, originado fundamentalmente por el déficit de proteínas de origen animal en la dieta del individuo. La población exhibe una tendencia a concentrarse en los polos de desarrollo regional, en busca de mayores oportunidades de empleo, alimentación y bienestar social, dejando las áreas rurales por la falta de oportunidades.

La disminución de la tasa de crecimiento, ha implicado el inicio de un proceso de

envejecimiento de la población; esto significa que la proporción de personas menores de 15 años ha ido disminuyendo: en 1970 ese porcentaje equivalía al 46%; en 1990 al 38% y para 1995 representó el 35%. Lo anterior se confirma con el aumento de la edad mediana. Así por ejemplo en 1990 la mitad de la población tenía 19 años o menos, mientras que en 1995 la edad mediana se incrementó a 21 años.

En lo referente al grado de alfabetismo este mantiene una tendencia a la baja: en 1970 la tasa de analfabetismo se ubicaba en el 26%, es decir 26 de cada 100 mexicanos con edad de 15 años y más eran analfabetas; para 1990 la cifra bajó al 12% y para 1995 se redujo a 10.6%. Por edades los indicadores señalan que en los jóvenes de 15 a 19 años sólo 4 de cada 100 son analfabetas, en el grupo de edad de 20 a 24 se mantiene el mismo indicador, sin embargo, para la población de 60 a 64 años se eleva al 27% y para el grupo mayor de 65 años la cifra aumenta al 35%. Por entidad federativa los valores más altos de analfabetismo se encuentran en Chiapas (26%), Guerrero (24%), Oaxaca (23%) e Hidalgo (17%). El Distrito Federal es la entidad con el menor índice de analfabetismo con sólo el 3% de la población de 15 años o más. Le siguen Nuevo León y Baja California, con el 4% (INEGI, 1990, 1995).

En resumen estos indicadores indican que nuestro país experimenta una dinámica poblacional caracterizada por un ritmo de crecimiento menor, una población predominantemente joven y un incremento de las personas en la llamada tercera edad. El aumento de la concentración urbana y la alta dispersión rural sigue siendo un fenómeno actual del territorio nacional. La población exhibe una tendencia al aumento a la migración al interior del país; presenta una rica diversidad étnica y cultural, con un promedio de escolaridad equivalente al primero de secundaria y una marcada tendencia hacia la terciarización de la economía.

Los datos confirman la necesidad urgente de desarrollar otras actividades económicas acordes con las condiciones fisicogeográficas, que permitan el arraigo de la población rural y el crecimiento armónico del territorio nacional, tratando de lograr un reparto equilibrado de la riqueza, conservando y mejorando los recursos naturales del país.

Por otra parte, México es un país que tiene una alta tasa de mortalidad infantil, las enfermedades de las vías respiratorias, digestivas, paludismo y el sarampión, son las principales causas. La mayor incidencia se presenta en los estados del Centro y del Sudeste que coincidentemente son los más densamente poblados.

Alimentación y contribución de la pesca y la acuicultura.

En nuestro país la dieta para la mayor parte de la población presenta deficiencias nutricionales, producto de diversos factores que influyen de manera determinante en su situación alimentaria; así por ejemplo, en las zonas marginadas urbanas, ante la pérdida del ingreso, la población sacrifica la calidad de sus alimentos para cubrir otros gastos fijos, tales como la renta y el transporte; reflejándose lo anterior en sus hábitos de alimentación, ya que sólo el 18% del total de la población ingiere dietas variadas y equilibradas (Noriega y Noriega, 1988).

Debido a su naturaleza, la acuicultura es una opción para la producción masiva de alimento barato de alto contenido proteínico, por lo que se orienta dicha actividad hacia el sector social popular, contribuyendo así directamente a que los consumidores estén en condiciones de

satisfacer sus requerimientos nutricionales, lograr los mínimos de bienestar y favorecer el balance nutricional de la canasta básica (Ferré, 1982).

El consumo alimenticio promedio en México, medido por el consumo diario de energía y proteínas es ligeramente menor que en otros países miembros de la OCDE. Sin embargo, el análisis de las fuentes de alimentación muestra un predominio de los productos vegetales sobre los animales. Mientras que cerca del 83% del consumo diario de energía del mexicano promedio proviene de productos vegetales (básicamente maíz, trigo y frijol), esta fuente sólo representa el 33% en los Estados Unidos. Esta diferencia refleja una menor demanda de productos animales, debido a que los ingresos promedio son más bajos que los que existen en los EUA, pero también puede explicarse por diferencias en las preferencias de los consumidores, ya que en México el maíz es utilizado para la alimentación humana. El consumo *per capita* de energía y proteínas ha presentado una ligera baja entre 1980 y 1992, ya que en el primer año el consumo de energía era de 3,180 kcal/habitante/día, y de 85 gramos de proteína/habitante/día, en 1992 fue de 3,146 y 79 gramos respectivamente. Esta situación ha obedecido a la disminución de los ingresos reales de los trabajadores (OCDE, 1997).

De acuerdo a los datos oficiales, el consumo energético mínimo por persona en México debe ser de 2,300 calorías por día y el mínimo de proteínas debe ser de 60 g por persona por día (INCO, 1987).

En los últimos años se ha definido una dieta que da énfasis en el consumo de proteínas de origen animal, vinculada con el desarrollo de la ganadería; sin embargo, el 40% de la población no alcanza a cubrir sus requerimientos mínimos necesarios a pesar de que el consumo promedio de calorías y de proteínas por habitante se encuentra cerca de los niveles recomendados, tal como se menciono anteriormente.

El valor nutritivo promedio de algunas especies acuicolas se presenta en la tabla 2, donde es posible observar que estos productos presentan valores altos de proteínas y bajos en grasas y carbohidratos, comparables con otros alimentos como los cereales, leguminosas y carnes, además que contienen otros elementos nutritivos que lo ubican como un producto alimenticio completo para balancear la dieta de los mexicanos.

Ante estas circunstancias tanto la pesca como la acuicultura juegan un papel importante en el mejoramiento de la dieta por la calidad de su proteína y su participación en la producción nacional que cada día es más significativa, como ejemplo basta mencionar que en 1985 la pesca y la acuicultura en conjunto contribuyeron con más de un millón de toneladas y esta cifra se ha mantenido constante en los últimos 11 años variando de 1.1 a 1.4 millones de toneladas, contribuyendo junto con el sector agropecuario y la silvicultura con el 6.5 del PIB en 1995 y 6.3 en 1996 (INEGI, 1997).

En la última década la disponibilidad de productos marinos para consumo humano directo registró un crecimiento anual superior al ritmo de crecimiento de la población nacional, dando como resultado que la disponibilidad *per capita* sea superior en más de 3 kilogramos a la de hace 10 años. Durante el periodo 1986-1996, el consumo *per capita* de productos pesqueros (incluyendo la acuicultura) ha fluctuado ligeramente siendo en promedio de 13 kg/habitante en 1986 y 12 en 1996. La producción de la acuicultura nacional observó una tasa de crecimiento

promedio anual de 7.2%, superior al 5.3% del crecimiento registrado por el sector en su conjunto (Programa Integral para el Desarrollo de la Acuicultura, 1990-1994). En 1995 la participación de la acuicultura de acuerdo con las cifras de 1995 (SEMARNAP, 1995), fue del 11.22% del total de la captura pesquera nacional.

Tabla 2. Principales productos alimenticios y su composición.

Nombre del producto	Nombre científico	Proteínas (g)	Grasas (g)	Carbohidratos (g)
CEREALES.				
Avena	<i>Avena sativa</i>	10.8	3.1	73.8
Maíz	<i>Zea mays</i>	8.3	4.8	69.6
Trigo	<i>Triticum vulgare</i>	10.6	2.6	73.4
Leguminosas				
Frijol	<i>Phaseolus vulgaris</i>	19.2	1.8	61.5
Garbanzo	<i>Cicer arietinum</i>	20.4	6.2	63.1
Haba	<i>Vicia faba</i>	22.6	2.2	63.1
CARNES				
Pollo		18.2	10.2	0.0
Carne de Cerdo		17.5	13.2	0.0
Carne de Res		21.4	2.4	0.0
PESCADOS Y MARISCOS				
Carpa Común	<i>Cyprinus carpio</i>	16.0	0.8	0.0
Ostión	<i>Crassostrea virginica</i>	6.3	0.7	2.8
Bagre	<i>Ictalurus sp.</i>	17.6	16.8	1.5
Camarón	<i>Penaeus spp.</i>	19.2	2.7	0.0

Fuente: Tomada de Hernández *et al.* (1987).

La producción acuícola se incrementó de 1983 a 1990, pasando de 122 mil a 190 mil toneladas y se observó una disminución en 1991 con 171 mil toneladas y una tendencia a estabilizarse hasta 1995 (Indicadores de Producción Pesquera, 1991, Dirección General de Informática y Registros Pesqueros, SEPESCA); en estas cifras la tilapia y la carpa, explotadas fundamentalmente en los grandes embalses y el ostión proveniente de los bancos cultivados en el Golfo de México y el camarón de cultivo ocuparon un lugar preponderante al representar en promedio el 86% del volumen aportado por la actividad, indicando que en los últimos 10 años, no se han presentado cambios en los aportes de estas especies a la producción acuícola nacional, salvo el caso del camarón cultivado cuya participación se ha incrementado notablemente a partir de 1989 (Tabla 3).

En 1998 la producción atribuida a la acuicultura fue cercana a las 160,000 toneladas, de las cuales casi 30,000 se atribuyen a sistemas controlados, de esta producción el 80% fue obtenida a través del cultivo de camarón. La mayor producción se obtuvo en el litoral del Golfo y Caribe

con el 43%, siendo los estados de Veracruz y Tabasco los que alcanzaron una mayor producción, seguido del Litoral del Pacífico con el 36%, sobresaliendo en este caso Sinaloa y Michoacán. Los estados sin litoral sólo aportaron el 21% destacándose los estados de Zacatecas, Puebla y México (SEMARNAP, 1998).

Es interesante destacar que las estadísticas incluyen en la producción por acuicultura, dos rubros, los sistemas controlados y las pesquerías derivadas de la acuicultura. En el primer caso en 1998 destacó en primer lugar el cultivo de camarón, seguido por el ostión y la trucha. En el segundo caso tenemos a la tilapia, el ostión y la carpa. En estas últimas poco se ha hecho para aumentar la producción, en el caso del ostión las técnicas de trasplante de semilla a áreas de engorde y la captación de semilla son las actividades más comunes del sistema de cultivo. Realmente, las especies en donde se lleva a cabo un verdadero cultivo son el camarón, la trucha arco iris y el bagre de canal, al igual que el ostión japonés en el litoral del Pacífico. Los sistemas controlados sólo representan el 19%.

Tabla 3. Volumen de captura por acuicultura en peso vivo, expresado en miles de toneladas de l periodo de 1989 a 1998.

Especies.	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Camarón	2.8	4.9	4.9	8.3	11.8	13.1	15.8	13.3	17.4	23.8
Carpa	22.5	27.0	28.0	28.3	25.1	18.8	25.9	29.5	24.9	24.7
Mojarra-tilapia	73.8	83.8	75.2	76.9	80.6	75.5	76.1	79.1	83.1	70.4
Ostión	56.6	52.6	38.8	32.1	25.8	33.4	30.5	37.8	40.4	33.5
Bagre	2.9	3.3	3.4	4.2	4.6	2.6	2.7	3.3	2.8	2.5
Trucha	0.84	1.1	1.5	1.8	3.3	4.7	2.6	2.7	1.5	1.6
Otras	22.2	17.0	19.3	15.0	18.6	25.7	0.41	1.2	1.2	1.8
Totales	182	190	171	166	169	173	154	167	174	160

Fuente: Tomado de los indicadores básicos del sector pesquero 1986-1995 y Anuario Estadístico de Pesca, 1995, 1996, 1997 y 1998 SEMARNAP)

Las regiones acuícolas.

De acuerdo a la propuesta realizada por Bassols (1979), es posible delimitar regiones geoeconómicas que presentan características comunes en cuanto a la distribución de los recursos naturales, su aportación en la producción acuícola y su potencialidad. En un sentido práctico es posible reconocer las siguientes regiones acuícolas:

1. Zona Norte
2. Zona Centro-Sur y Occidente
3. Zona Sur
4. Zona Sudeste o del Golfo y Península de Yucatán

En algunas de las zonas citadas es posible encontrar subregiones que presentan condiciones

particulares y que supondrían una posible separación, tal es el caso de la Península de Baja California en la zona norte y la Península de Yucatán en la zona sudeste o del Golfo. Sin embargo, para los propósitos del presente trabajo, se agrupan en una sola zona. En la figura 8 se presenta un mapa donde se señalan las zonas antes mencionadas.

1. Zona Norte.

Abarca los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas y Durango (Figura 9).

El desarrollo de la acuicultura en esta zona, está fundamentado en tres tipos: la acuicultura de repoblación, acuicultura rural e industrial o comercial.

En el caso de la acuicultura de repoblación, esta zona destaca por presentar 10 de los 17 grandes embalses mayores de 10,000 hectáreas. Además, de estas grandes presas, se cuenta con 89 más, con una capacidad de almacenamiento mayor de 12,457,840 m³ y otros cuerpos que representan una disponibilidad aproximada de 300,000 hectáreas, en las cuales habitan 23 especies endémicas y no nativas que sostienen importantes pesquerías o son cultivadas, con una ictiofauna de características comunes propias de la Provincia Neártica y la participación de otras especies exóticas como es el caso de la tilapia y la carpa (Tabla 4).

De acuerdo con las estadísticas pesqueras en el año de 1998, en esta zona, se produjeron un cerca de 40,000 toneladas atribuidas a la actividad acuícola, siendo el camarón, la tilapia, carpa, bagre, trucha arco iris y el ostión las principales especies. La tilapia, carpa, bagre y trucha arco iris son producto de pesquerías derivadas de la acuicultura aunque también se producen en granjas especializadas. Es importante destacar el creciente papel que tiene la trucha arco iris en las zonas altas y montañosas del estado de Chihuahua.

Los estados de Sonora, Sinaloa en conjunto produjeron más de 20,000 toneladas de camarón cultivado lo cual representa 50% de la producción total; siendo las especies del camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) y azul (*L. stylirostris*), las especies más importantes

En la mayoría de los embalses, se practica la pesca deportiva y es por esta razón, que en estos sistemas han sido introducidas especies tales como la lobina negra (*Micropterus salmoides*) con sus dos variedades *salmoides* y *floridanus*, la lobina boca chica *Micropterus dolomieu*, el robalo *Morone saxatilis* y el "black crappie" *Pomoxis annularis*, incluyendo en las partes altas y frías a la trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss*.



Figura 8. Zonas acuícolas de la República Mexicana.

Tabla 4. Especies que se capturan en las presas de la Zona Norte.

Familia	Nombre vulgar	Nombre científico
CRUSTACEOS		
Astacidae	Acocil	<i>Procambarus clarkii</i> **
PECES		
Lepisosteidae	Catán	<i>Atractosteus oseus</i>
Salmonidae	Trucha arco iris	<i>Oncorhynchus mykiss</i>
	Trucha nativa	<i>O. mykiss nelsoni</i> y <i>O. mykiss crysogaster</i> .

Centrarchidae	Lobina negra	<i>Micropterus salmoides salmoides</i> <i>Micropterus salmoides floridanus</i>
	Lobina de boca chica	<i>Micropterus dolomieu</i>
	Mojarra de agallas azules	<i>Lepomis macrochirus</i>
	Mojarra de agallas verdes	<i>Lepomis cyanellus</i>
	Mojarra	<i>Lepomis gibosus</i>
	"Black crapie"	<i>Pomoxis annularis</i> **
Cichlidae	Tilapia	<i>Oreochromis aureus</i> y <i>O. niloticus</i> **
	Tilapia	<i>Tilapia zillii</i> **
	Mojarra	<i>Cichlasoma spp.</i>
	Mojarra	<i>C. cyanoguttatum</i>
Cyprinidae	Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i> **
	Carpa dorada	<i>Carassius auratus</i> **
Serranidae	Robalo "stripped bass"	<i>Morone saxatilis</i> **
Ictaluridae	Bagre de canal	<i>Ictalurus punctatus</i>
	Bagre azul	<i>Ictalurus furcatus</i>
	Bagre cabezón	<i>Pylodictis olivaris</i>
	Bagre nativo	<i>Ictalurus pricei</i>
Catostomidae	Matalote	<i>Ictiobus niger</i>
	Matalote	<i>Carpioides carpio</i>

(**) Especies introducidas.

El manejo de estas especies permite combinar la pesca deportiva con la comercial y alrededor de ellas se desarrollan actividades relacionadas con el turismo, que propician una derrama económica importante entre los pobladores que viven cerca y alrededor de los embalses. Por ejemplo en la Presa Vicente Guerrero en Tamaulipas, se estima que se captan aproximadamente tres millones de dólares anuales, por concepto de permisos y servicios turísticos.

Aparte de estas especies, en las capturas se obtienen otras que le brindan un valor agregado a la producción.

El estudio de las especies nativas con potencial en la acuicultura es escaso y sólo se puede citar como ejemplo los trabajos realizados en el Centro de Acuicultura de Tancol, en Tampico, donde se ha logrado la reproducción del catán o pejelagarto *Atractosteus oseeus* y los estudios básicos realizados por de la Universidad Autónoma de Baja California para preservar la población de *Oncorhynchus mykiss nelsoni* que habita en la Sierra de San Martín en Baja California. Especies que aunque no tienen un alto valor en la producción acuícola de la región, el dominio de su tecnología de cultivo permitirá contar con elementos que marquen nuevas alternativas en la producción. En la tabla 4 se agrupan las especies nativas y no nativas, que se han reportado en esta región y que soportan pesquerías o bien se cultivan en diversos grados en las unidades de producción acuícola (Ruiz-Campos, 1989; Ruiz-Campos y Gómez, 1991 y Ruiz-Campos y Cota-Serrano, 1992).

A nivel de la acuicultura rural e industrial, se tienen reportadas en 1998 un total de 306 granjas comerciales en las que se cultiva principalmente camarón, ostión, bagre de canal, trucha arco iris, carpa y tilapia.

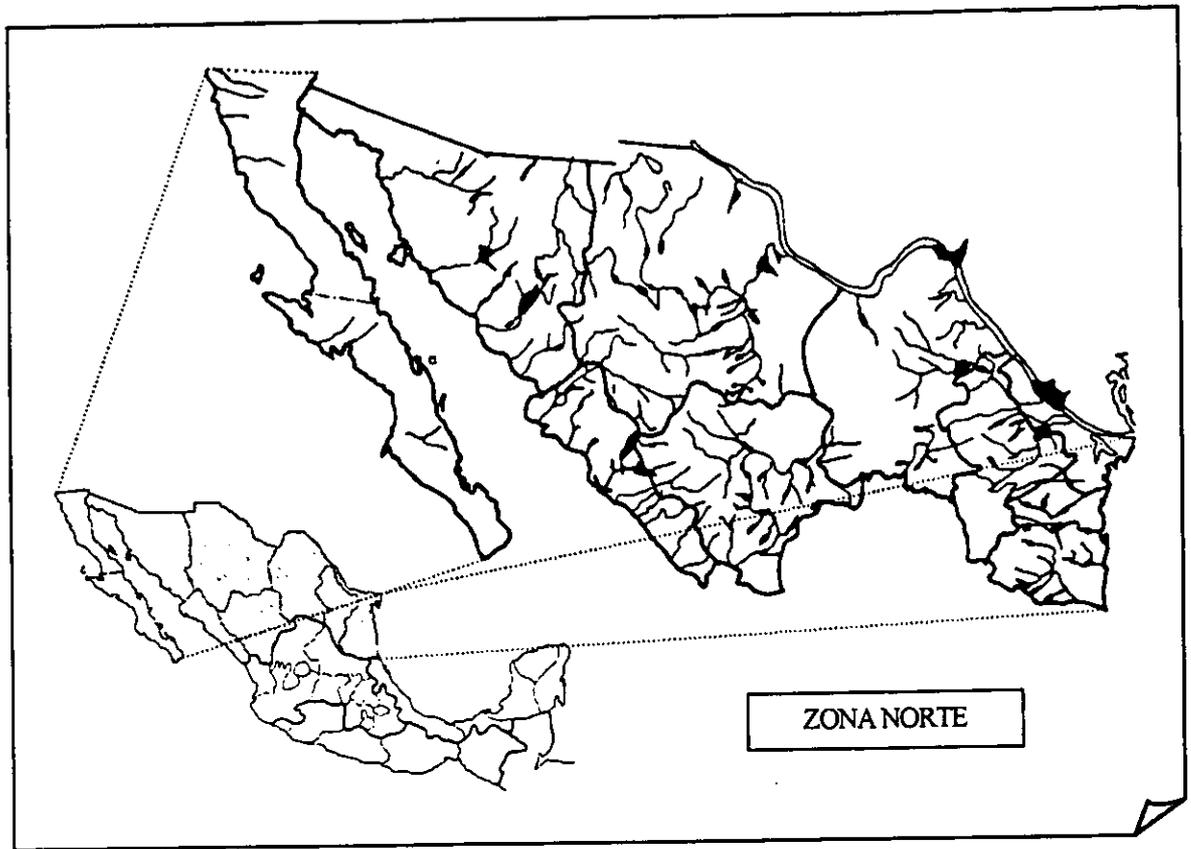


Figura 9. Zona Norte.

Destacan los estados de Sinaloa, Sonora y Chihuahua con 246 unidades que manejan distintos sistemas de cultivo como jaulas, canales de corriente rápida y estanques, donde el camarón, el ostión japonés y el bagre de canal son las especies más cultivadas (Anuario Estadístico de Pesca, SEMARNAP, 1998).

Además, se cuentan con 7 centros acuícolas en los que se producen crías de trucha, bagre de canal y tilapia y en el caso del Centro Acuícola de Tancol, en Tampico, Tamaulipas, la producción de catán o pejelagarto para apoyar el desarrollo acuícola de esta zona.

La Península de Baja California puede ser considerada en forma independiente a raíz de su potencial tan elevado, sobre todo en lo que se refiere al cultivo de moluscos y peces marinos. Esta situación ya ha sido comprobada en la práctica, ya que en la actualidad existen 13 cooperativas ostrícolas con una capacidad instalada de producción de 2,885 toneladas anuales. Esta actividad es desarrollada a escala comercial desde 1972, y se estima que cerca de 789 socios cooperativistas poseen experiencia en estas operaciones. También, se han reconocido algunas especies de peces marinos que tienen un futuro importante en las actividades acuícolas de la Península, un ejemplo de ello son los estudios realizados con el cultivo de la cabrilla *Paralabrax maculatofasciatus* y de otra especies de pargos y guachinangos.

Los recursos naturales de moluscos están integrados en dos grupos, los reservados a Sociedades Cooperativas de Producción Pesquera y las no reservadas, aunque a partir de 1992, la Nueva Ley Federal de Pesca desaparece a las especies reservadas. En el primer caso se tiene al grupo de especies del abulón, el ostión y la almeja pismo.

Entre las que se cultivan se tienen a las familias Ostreidae con el ostión japonés *Crassostrea gigas* y el ostión europeo *Ostrea lurida*. En la familia Haliotidae las principales especies son el abulón amarillo *Haliotis corrugata* y el azul *H. fulgens*; en los mitilidos se tiene a *Mytilus galloprovincialis*, en la familia Veneridae a la almeja manila *Venerupis (Ruditapes) philippinarum* y en los pectínidos a la almeja catarina *Argopecten circularis*. Otras especies tienen posibilidades en la acuicultura por lo cual esta zona puede ser considerada como privilegiada (Baqueiro, 1984; Maeda-Martínez, 1990; Rangel, 1988 a, b y 1990).

La Tabla 5 se presenta una relación de las especies de moluscos que tienen posibilidad de integrarse a los cultivos.

Tabla 5. Especies de moluscos con importancia en la acuicultura de la Península de Baja California.

Familia	Nombre común	Nombre científico
Ostreidae	Ostión japonés	<i>Crassostrea gigas</i> *
	Ostión europeo	<i>Ostrea edulis</i> *
	Ostión de roca	<i>Crassostrea iridescens</i>
	Ostión de mangle	<i>Crassostrea corteziensis</i>
Haliotidae	Abulón amarillo	<i>Haliotis corrugata</i>
	Abulón azul	<i>Haliotis fulgens</i>
	Abulón negro	<i>Haliotis crocheronii</i>
	Abulón chino	<i>Haliotis sorenseni</i>
Mytilidae	Mejillón	<i>Mytilus californianus</i>
	Mejillón	<i>M. galloprovincialis</i> *
	Mejillón	<i>Modiolux capax</i>
Veneridae	Almeja blanca peluda o indio	<i>Glycimeris gigantea</i>
	Almeja pismo	<i>Tivela stultorum</i>
	Pata de mula	<i>Anadarara tuberculosa</i>
	Almeja manila	<i>Venerupis (Ruditapes) philippinarum</i> *
	Almeja chocolata negra	<i>Megapitaria squalida</i>
	Almeja chocolata roja	<i>M. aurantiaca</i>
	Almeja blanca	<i>Dosinia ponderosa</i>
	Almeja china roñosa	<i>Chione undatella</i>
Pinnidae	Almeja china	<i>Chione gnidia</i>
	Callo de hacha	<i>Pinna rugosa</i>
Pectinidae	Callo de hacha	<i>Atrina maura</i>
	Almeja voladora	<i>Pecten vogdesi</i>
Fissurellidae	Almeja catarina	<i>Argopecten circularis</i>
	Lapa	<i>Megathura crenulata</i>
Astracinae	Caracol panocha	<i>Astraea turbanica</i>
		<i>Astraea galeanus</i>

Strombidae	Caracol burro	<i>Strombus galeatus</i>
	Caracol de uña	<i>Strombus gracilior</i>
Muricoidea	Caracol chino negro	<i>Muricanthus nigritus</i>
Muricidae	Caracol chino rosa	<i>Hexaplex erythrostomus</i>
	Caracol espuma o alacrán	<i>Murex elenensis</i>

(*) Especies introducidas.

Fuente : Tomado de Abbot (1968) .

En el caso particular de Sinaloa, la acuicultura en este estado se ha desarrollado en torno al cultivo de camarones peneidos. En 1998 se reportaron 119 granjas en operación con una superficie estimada de 11,000 hectáreas (29 extensivas, 87 semi intensivas y 3 intensivas), que representan el 50% del número total de granjas y el 60% de la superficie actual de cultivo en México (Anuario Estadístico de Pesca, SEMARNAP, 1998).

1. Zona Centro-Sur y Centro-Occidente.

Esta región se ubica principalmente en la Meseta Central de México y comprende los estados de Aguascalientes, San Luis Potosí, Guanajuato, Jalisco, Nayarit, Querétaro, Hidalgo, Zacatecas, Tlaxcala, Puebla, Estado de México y Morelos (Figura 10).

Cuenta con más de 10,000 cuerpos de agua que cubren aproximadamente 300,000 hectáreas, con un total de presas que contienen 275,000 hectáreas de superficie embalsada y que presentan el mayor potencial para la acuicultura de repoblación. En esta zona también se presenta uno de los mayores cuerpos de agua naturales del país el Lago de Chapala. También se posee la mayor concentración de pequeños embalses temporales y permanentes de 1 a 100 hectáreas (SARH, 1976).

A través de la acuicultura de repoblación en 1998 se registró en esta región una producción de más 34,000 toneladas, siendo los estados de Zacatecas, Jalisco y Puebla los que reportaron casi el 50% de este volumen. Las especies que contribuyeron principalmente a esta producción fueron la mojarra-tilapia y la carpa con más del 40% del volumen total (Anuario Estadístico de Pesca, SEMARNAP, 1998).

La producción pesquera en estos cuerpos de agua está representada por especies nativas y no nativas, entre las que destacan los aterinidos del género *Chirostoma spp.*, un ciprinido nativo con alto potencial en la acuicultura, la acómara *Algansea lacustris*, el bagre de Chapala *Ictalurus dugessi*, la lobina negra *Micropterus salmoides*, las carpas chinas y asiáticas como son la herbívora *Ctenopharyngodon idellus*, la carpa común *Cyprinus carpio*, la tilapia *Oreochromis spp.*, La trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss*, ésta en las zonas altas y montañosas, el langostino malayo y del Pacífico *Macrobrachium rosenbergii* y *M. tenellum*, entre las especies más importantes.

La acuicultura también se desarrolla en unidades de producción, de las cuales se tenían registradas 486 hasta el año de 1998, en donde se cultiva principalmente el camarón, la carpa, la tilapia, la trucha arco iris y el langostino, además del bagre de canal (Anuario Estadístico de Pesca, SEMARNAP, 1998).

En el estado de Nayarit se realiza además, el cultivo de ostión de placer *Crassostrea corteziensis* y el camarón con dos especies; el blanco *Litopenaeus vannamei* y el azul *L. stylirostris*. Por sus características físico-geográficas este estado tiene un gran potencial sobre todo en lo que se refiere a la maricultura, con un gran número de especies que tienen amplias posibilidades, sobre todo de peces marinos y moluscos. En el Centro Acuicola de San Cayetano, se tiene una producción limitada de rana toro *Rana catesbeiana*, especie que tiene una gran perspectiva a futuro, por el alto valor que alcanza la carne y la piel, así como el animal entero en el mercado internacional.

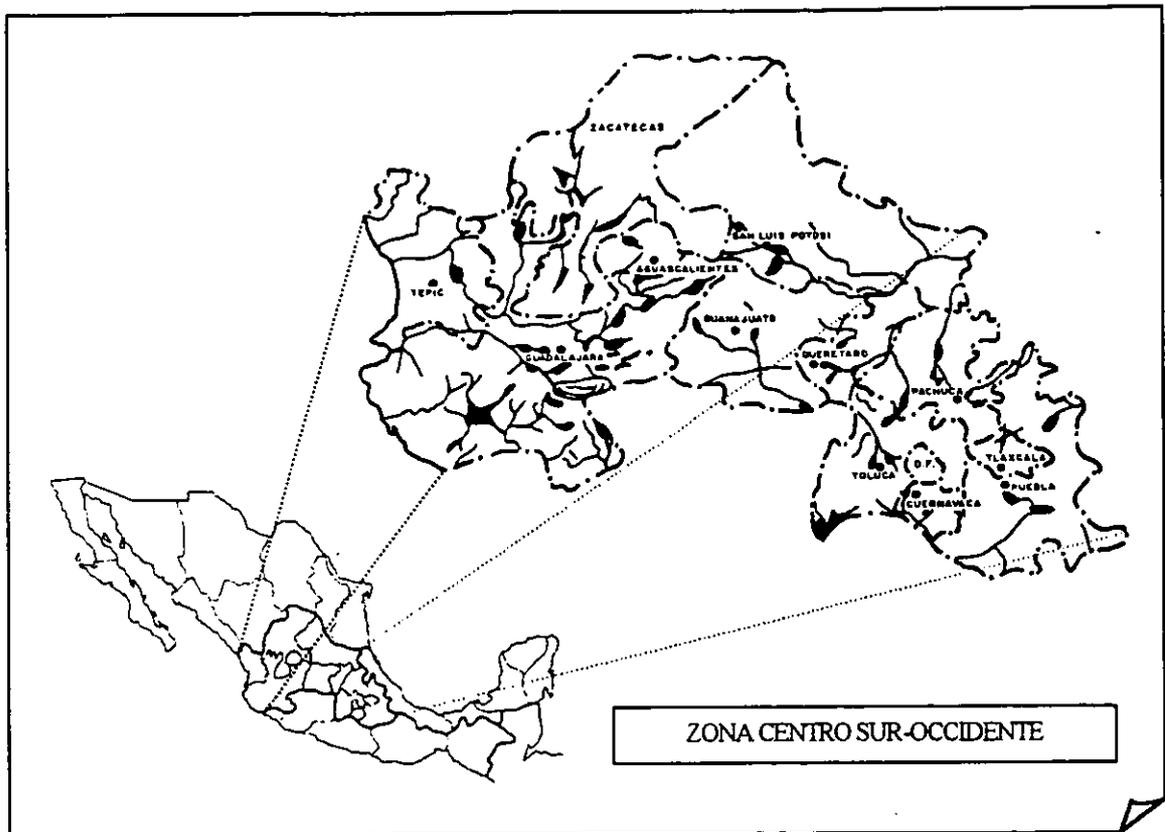


Figura 10. Zona Centro-Sur y Centro-Occidente.

Los centros acuícolas de estos estados, producen crías de especies tales como la tilapia, la carpa y la trucha arco iris. No obstante, el mayor potencial se inclina hacia la producción de trucha arco iris dado el alto valor de este organismo y de que poco a poco este producto incrementa su demanda en el mercado nacional.

La acuicultura rural en esta región está llamada a ser la estrategia fundamental, alternando esta actividad con otras agrícolas y ganaderas, que pueden brindar un valor agregado a la producción y diversificar los cultivos en aras de enriquecer la alimentación de la población y los excedentes comercializados en la zona. No obstante, el papel de la acuicultura de repoblación es indudable debido a la gran cantidad y diversidad de cuerpos de agua, que

pueden aportar volúmenes importantes de proteínas para la población, en particular en esta zona donde se presenta la mayor densidad de población por km².

2. Zona Sur.

Esta zona la comprenden los estados costeros del Pacífico Sur, desde Colima, parte de Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas (Figura 11). En ellas se ubican cinco de las mayores presas y constituyen una reserva importante para la producción de proteínas de origen animal a través de la acuicultura de repoblación. Además de los lagos de Pátzcuaro y Zirahuén que tienen gran importancia desde el punto de vista limnológico. En el caso particular del lago de Pátzcuaro éste es uno de los más estudiados desde el siglo pasado.

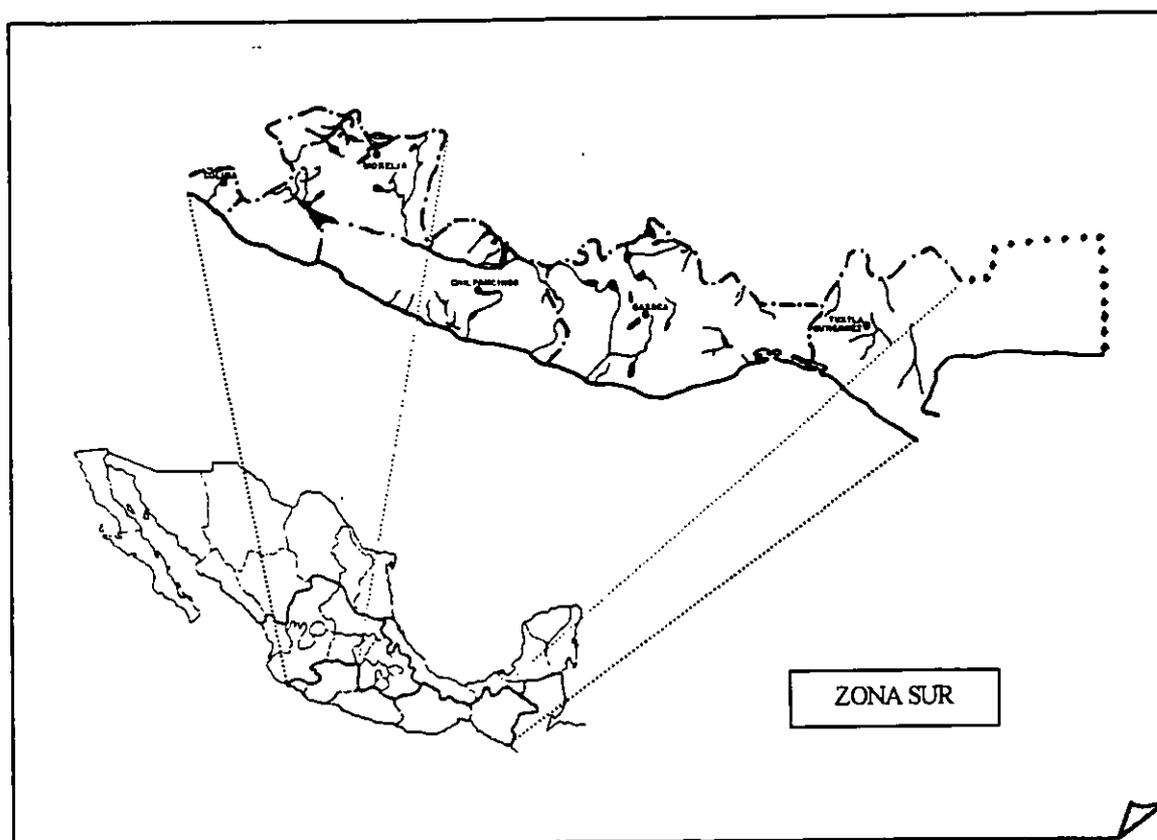


Figura 11. Zona Sur.

La especie dominante en esta zona es la tilapia, ya que tan sólo en 1998 se produjeron más de 15,000 toneladas que representan el 70% de la captura total que fue de 18,000 toneladas, destacando por su contribución los estados Michoacán y Chiapas. En esta zona existen cerca de 450,000 hectáreas de cuerpos de agua embalsados, en donde es posible encontrar como componentes de la pesquería a la tilapia *Oreochromis aureus*, *O. mossambicus*, *O. niloticus* y *T. rendallii*, la carpa común *Cyprinus carpio*, el bagre *Ictalurus meridionalis*, el juil *Brycon guatemalensis*, el matalote *Ictiobus meridionalis* y las mojarra nativas del género *Cichlasoma*

spp.

Una mención especial merece la Presa El Infiernillo en los estados de Michoacán y Guerrero, que ha sostenido importantes pesquerías durante muchos años con una producción que fluctúa entre 10,000 a 18,000 toneladas anuales sostenidas principalmente por la tilapia y la carpa y donde se ha reportado la reproducción natural de las carpas chinas, uno de los pocos casos conocidos en el mundo (Morales, 1991).

En los lagos de Pátzcuaro y Zirahuén existen especies endémicas que tienen importancia comercial, tal es el caso de la Acómara *Algansea lacustris*, el pescado blanco y el charal del género *Chirostoma spp.*, que soportan fuertes pesquerías y generan beneficios económicos a los pobladores de la zona (Rivera, 1990 y Boujard, 1987 a y b).

Es importante destacar que en Michoacán y Chiapas se producen cerca de 190 toneladas de trucha arco iris, en las partes altas y montañosas.

La acuicultura se realiza en más de 600 unidades de producción principalmente en el estado de Michoacán, en donde se cultiva la tilapia, la carpa y el bagre principalmente. El camarón se cultiva principalmente en granjas en el estado de Chiapas (Anuario Estadístico de Pesca, SEMARNAP, 1998).

Esta zona tiene una gran potencialidad a futuro sobre todo en lo que se refiere al cultivo semi intensivo, ya que en la parte sur y norte de Chiapas, cuenta con tierras aptas para el cultivo de camarón. Las condiciones climáticas son superiores a otros estados como Sinaloa y Sonora y se pueden cultivar prácticamente todo el año, por lo que está llamada a ser la zona más importante para el desarrollo de la camaronicultura nacional.

Por sus mismas condiciones, es posible realizar policultivos que incluyan otras especies en los sistemas de cultivo y los moluscos pueden ser otra alternativa interesante en esta zona.

3. Zona Sudeste o del Golfo y Península de Yucatán.

Esta zona se encuentra comprendida por dos áreas bien diferenciadas; la primera la conforman los estados de Veracruz, Tabasco y Campeche y la segunda Yucatán y Quintana Roo (Figura 12).

En la primera se cuenta con una elevada disponibilidad de cuerpos de agua epicontinentales, con pocas presas, tres de ellas en el estado de Veracruz con 7,200 millones de m². No obstante, cuenta con ríos caudalosos y un gran número de cuerpos de agua aún no cuantificados en los tres estados, tan sólo en el estado de Tabasco, se han detectado cerca de 700,000 hectáreas, en donde existe una gran diversidad de especies. Sumado el estado de Campeche la potencialidad puede rebasar las 900,000 hectáreas. En esta área dominan principalmente los peces nativos como son la mojarra *Cichlasoma gadovii*, la castarrica *Cichlasoma urophthalmus*, la mojarra paleta *C. fenestratum*, la mojarra sacatera *C. persaei* y la tenhuayaca *Petenia splendida*; además de varias especies introducidas del género *Oreochromis spp.*

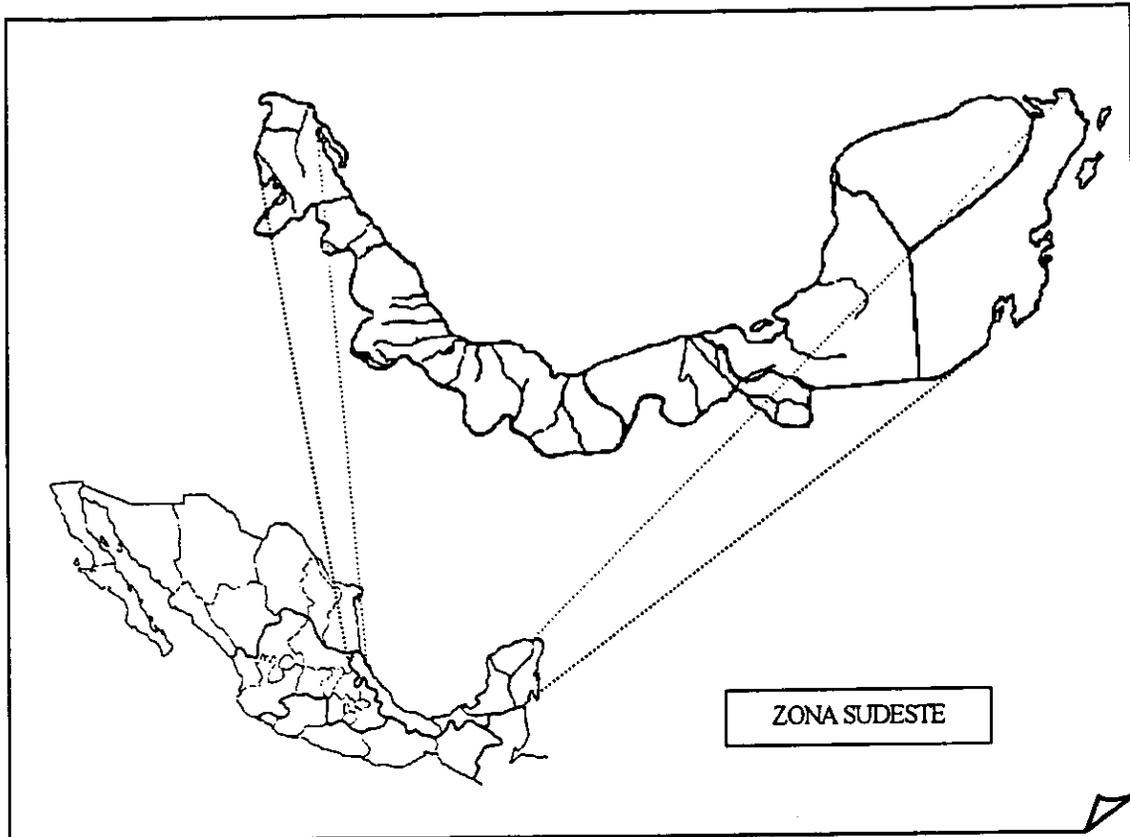


Figura 12. Zona Sudeste-(Golfo de México).

En particular en el estado de Tabasco, en las derivaciones terminales de los ríos Grijalva-Usumacinta, se cuenta con una zona de alta especialización de ciclidos, donde abunda una gran diversidad de especies. En la zona ha adquirido importancia creciente el catán o pejelagarto *Atractosteus (Lepisosteus) tropicus* del cual ya se realizan actividades de cultivo tendientes a recuperar las poblaciones nativas, que están sujetas a una fuerte presión de pesca. Otras especies que son consideradas como importantes son el cangrejo de río *Potamocarcinus (Potamocarcinus) armatus*, el cocodrilo *C. moreletti* y el caimán *Crocodylus chiapasius* (Pineda y Utrilla, 1989).

En el lago de Catemaco, Veracruz, el topote *Dorosoma cf. mexicana* adquiere un gran valor como componente de la población sujeta a la pesca. El caracol acuático conocido como tegogolo *Pomacea catemaquensis*, se perfila como una especie con amplias posibilidades de ser cultivada, debido al conocimiento tecnológico que se tiene de este caracol.

Otras especies que se cultivan en las aguas interiores son los langostinos *Macrobrachium rosenbergii*, especie introducida y una nativa con gran potencial que es *Macrobrachium acanthurus*. Los astacidos del género *Procambarus spp.* y la rana toro *Rana catesbeiana*, pueden ser fácilmente cultivadas en la región en zonas pantanosas y ciénagas inundadas que no tienen un uso agrícola o ganadero.

Los intentos por cultivar el tambaqui *Colossoma macropomum* han fracasado a pesar de que se ha observado un buen crecimiento, sin embargo, aún no se domina la fase de su reproducción.

Los datos de producción de 1998 señalan que en estos estados las mojarra alcanzan una producción ligeramente superior a las 60,000 toneladas anuales, siendo el estado de Veracruz, el que aporta el 50% de la producción total atribuida a la acuicultura, seguida por el estado de Tabasco. Ambos estados producen más del 90% de la producción total de la región (Anuario Estadístico de Pesca, SEMARNAP, 1998).

En la zona costera y principalmente en los sistemas lagunares de Veracruz, Tabasco y Campeche, se produce una fuerte cantidad de ostión americano *Crassostrea virginica*, con una producción anual estimada en 30,000 toneladas tan sólo en 1998. Utilizando técnicas simples y de bajo costo, que han permitido mantener una alta producción durante cerca de 40 años, aunque su potencial es mayor ya que puede triplicarse fácilmente en vista de que sólo se aprovecha el 5% del área concesionada para su cultivo (Rangel, 1990).

Por otra parte algunas granjas de esta zona cultivan el camarón blanco *Litopenaeus vannamei*, pero la especie nativa *Litopenaeus setiferus* ha demostrado buenas posibilidades como una alternativa, aunque se requiere de una mayor investigación, a efecto de perfeccionar el dominio tecnológico de la especie.

En esta zona se han reportado 129 unidades de producción, donde básicamente se produce ostión, camarón y tilapia. Siendo los estados de Veracruz, Tabasco y Campeche los que cuentan con el mayor número de unidades (Anuario Estadístico de Pesca, SEMARNAP, 1998).

Las posibilidades de manejar policultivos en sistemas lagunares o estanques han sido propuestas con la participación de la mojarra, robalo y lisa, siendo las especies más apropiadas la lisa *Mugil cephalus*, los robalos *Centropomus undecimalis* y *C. parallelus* y las mojarra *Diapterus rhombeus* y *D. auratus* (Salvadores, 1989). La producción de jaiba mudada del género *Callinectes spp.*, podría ser también una alternativa interesante de ser analizada, así como el cultivo de almeja, corvina y anguila entre otras.

En la Península de Yucatán debido a su formación geológica de roca calcárea de origen biológico, no se cuenta con ríos y lagunas de importancia para el desarrollo de la acuicultura, los cuerpos de agua son los cenotes, sartenejas, petenes y lagunas, muchas de ellas conteniendo una rica fauna endémica, por lo que la acuicultura sólo puede desarrollarse en pocos cuerpos de agua o bien en pozas de excavación de roca caliza, en donde algunas empresas extraen material para la construcción, dejando una laguna profunda en donde pueda realizarse algunas actividades acuícolas. En estos sistemas se han realizado algunos ensayos para cultivar peces principalmente tilapia en jaulas, pero estos no han sido contundentes como para promover un desarrollo en la zona, por lo que las posibilidades de cultivo están más bien enfocadas hacia el medio marino o la maricultura (Arredondo y Flores, 1992).

Se ha detectado en Yucatán una zona en donde es posible construir granjas camaroneras, donde las posibilidades de manejar especies nativas son interesantes como el caso del camarón *Penaeus schmitti*, ya que se cultiva en Cuba con buenos resultados. El cultivo de *Artemia spp.*

en estanques se está realizando a nivel experimental al igual que el de algunos moluscos como es el caso del ostión *Crassostrea rizophorae* y los caracoles *Strombus gigas* y *Strombus costatus*. Las posibilidades planteadas aquí están muy limitadas y faltaría hacer un análisis más completo a efecto de buscar otras alternativas, que pudieran fortalecer el desarrollo de esta región.

V. INFRAESTRUCTURA PRODUCTIVA PARA LA ACUICULTURA

La infraestructura productiva con que cuenta el país está representada básicamente por las unidades de producción o granjas comerciales, donde se cultivan diferentes especies de organismos acuáticos y los centros acuícolas. Estos últimos, son propiedad de los gobiernos federal, estatal, municipal e iniciativa privada, cuya función principal es la producción, distribución y venta de aionomorfos, así como promover y fomentar la actividad acuícola en nuestro país. A continuación se mencionan ambas en forma separada.

Unidades de producción acuícola.

En el caso de las llamadas unidades de producción se incluyen a las granjas que realizan actividades acuícolas comerciales, o bien de subsistencia, aunque de acuerdo con la información recabada hasta el momento, el número, su ubicación, así como la forma en que operan, no es lógica, ni mucho menos confiable ya que los datos que se han incluido en los Anuarios Estadísticos de Pesca en 1995 y 1998 y los generados por la Dirección General de Acuicultura de la SEMARNAP en 1990, son confusos y contradictorios (Tabla 6).

De acuerdo con la información recabada por Olmos y Tejeda (1990), en 1988 se tenían identificadas 2,311 unidades económicas, que significaban la apertura al cultivo de más de 17,000 hectáreas y la incorporación de un volumen de agua superior a los 34,000 m³. Por el número de granjas acuícolas destacaron en ese año los estados de Chihuahua, Durango y Michoacán con el 19.5, 13.4 y 11.9%, del total nacional (Tabla 6). El grado de tecnificación de estas unidades, permitió en ese momento ubicarlas en tres niveles de intensidad: las intensivas, las semi intensivas y las extensivas.

En el primer nivel tecnológico, se contaba hasta esa fecha con 1,850 unidades, significando el 80% del total y destacando los estados de Chihuahua, Morelos, Sinaloa, Tamaulipas, Veracruz, Quintana Roo, México, Nayarit, Baja California, Baja California Sur y Tlaxcala en función del número de unidades intensivas en existencia, superficie en operación, artes de cultivo instaladas y volumen de agua en operación.

Por su parte, la acuicultura semi intensiva se desarrolló en 441 unidades que representaron el 19%, destacando el estado de Durango con 300 bordos en operación y 75 hectáreas incorporadas.

Finalmente, los cultivos extensivos alcanzaron el 1% restante, sobresaliendo Chiapas que tuvo el 70% de ellos con 1,915 hectáreas destinadas exclusivamente al cultivo de camarón.

Por el grado de aprovechamiento de la infraestructura disponible, destacaron los estados de Quintana Roo, Baja California Sur, Sonora, Baja California y Tabasco por su participación relativa en este concepto.

Tabla 6. Unidades de producción reportadas en 1988, 1995 y 1998.

Estado	No. de Unidades			Superficie total (ha)			Volumen total (m ³)			
	Años	1988	1995	1998	1988	1995	1998	1988	1995	1998
Aguascalientes		2	0	0	11	0	0	0	0	0
Baja California		7	16	22	131.5	440	803	0	0	140
Baja California Sur		16	32	3	6.7	518	39	0	0	0
Campeche		4	14	33	92.5	522	145	0	0	926
Coahuila		0	0	7	0	0	0	0	0	35,245
Colima		26	6	11	54.9	61	82	0	230	2,630
Chiapas		132	4	5	1,967.10	145	215	2,315	50	0
Chihuahua		451	49	62	107.9	8	9	3,200	7428	7,428
Durango		313	7	6	108.1	9	0	440	4595	3,394
Guanajuato		103	11	14	62	63	106	0	400	0
Guerrero		101	15	4	303.5	313	7	0	0	0
Hidalgo		61	15	26	73.7	17	9	5,314	2374	9,137
Jalisco		15	24	80	84.3	119	1,854	100	1008	0
México		46	182	205	12.8	12	18	13,980	32564	32,268
Michoacán		279	82	677	560	729	698	1,728	18723	32,637
Morelos		29	19	55	72.5	53	48	0	0	6,673
Nayarit		7	72	80	684	1127	1,854	0	0	0
Nuevo León		24	4	4	25.5	1	2	0	104	795
Oaxaca		168	0	0	1,068.30	0	0	0	0	0
Puebla		66	30	55	27.4	12	5	3,240	12106	15,432
Querétaro		0	1	5		0	28		0	50
Quintana Roo		9	0	1	0.5	1	0	3,452	0	0
San Luis Potosí		7	3	11	10	6	23	80	36	3,007
Sinaloa		76	116	119	6,443.40	10,312	10,887	0	0	0
Sonora		35	39	65	248	1631	4,516	0	440	20
Tabasco		98	30	31	1,906.00	617	27	0	0	352
Tamaulipas		26	12	18	598	254	365	420	8855	15,328
Tlaxcala		69	0	0	27	0	0	0	0	0
Veracruz		115	41	61	3,137.40	2	78	83	6064	22,735
Yucatán		12	4	3		1	47	0	0	2,524
Zacatecas		14	0	0	12.5	0	0	0	0	0
Total		2,311	828	1,618	17,836.5	16,973	20,437	34,352	94,977	211,809

Fuente: Anuario Estadístico de Pesca 1995 y 1998 (SEMARNAP).

Los estados que aparentemente no tuvieron una participación significativa fueron aquellos que han fundamentado el desarrollo de su actividad en la acuicultura extensiva o de repoblamiento.

Pulido y Olmos (inédito), al actualizar el inventario de unidades de producción, hasta el mes de septiembre de 1990, consideraron que hubo un crecimiento en las mismas, reportando un total de 3,363 unidades de las cuales 3,299 estaban en operación, 39 detenidas por problemas de abasto de agua, organización o falta de interés de los productores, 16 al nivel de estudio de prefactibilidad o en proyecto y siete en construcción.

Las que operaron utilizaron como sistema de cultivo estanquería rústica, jaulas, encierros, estantes, estanques habilitados, balsas, líneas madre, canastas, aquaterrarios, colectores, canales de corriente rápida, cercos, bancos y laboratorios, cubriendo una superficie de 12,945 hectáreas, incorporando un volumen de agua dulce de 210,775 metros cúbicos,

utilizando 2,157 artes de cultivo y operando 11 laboratorios productores de aionomorfos.

Por otra parte, 14 especies fueron cultivadas: ocho estrictas de ambientes dulceacuicolas; cinco estrictas de ambientes marinos o salobres y una con capacidad para crecer tanto en habitats dulceacuicolas como salobres.

La especie que se cultivaron en ese año, en una mayor proporción fueron la carpa (32.8%), con un mayor número de unidades, en tanto que la mayor superficie en operación se destinó al cultivo de camarón (64.9%), por el atractivo económico que este crustáceo representa. Por su parte la trucha arco iris y el bagre de canal, fueron las especies que preferentemente se cultivaron en canales de corriente rápida y jaulas flotantes.

La ostricultura nacional estuvo representada por dos especies con características diferentes. En el Golfo de México, la especie cultivada fue el ostión (*Crassostrea virginica*) mediante el sistema tradicional de acondicionamiento y repoblamiento de bancos, apoyado con la siembra de semillas u ostrillas captada naturalmente en colectores. En tanto que en el Pacífico, la especie que mejores resultados ha ofrecido es *C. gigas*, cuyo cultivo se realiza en sistemas suspendidos de alta densidad con ostrillas procedentes del laboratorio.

Por grupos taxonómicos, los peces fueron cultivados en 2,596 granjas (79%); los crustáceos en 232 (7%); los moluscos en 81 (2.5%); los reptiles en 1 (0.03%), y el resto (10.4%) correspondieron a las unidades que realizaron policultivos y cultivos mixtos, en 343 granjas. Las especies no determinadas participan con 1.39%, con 46 unidades.

Importante resultó la participación de las especies de ostión, tilapia y carpa en la economía del sector social, ya que en conjunto sumaron 187 unidades (73.3%), que agruparon a 8,967 socios equivalentes al 73% del total registrado.

En ese entonces, el sector privado manejó 26 unidades, manifestando el mayor interés en las especies de trucha arco iris y langostino.

No obstante esta panorámica habrá que destacar una mayor participación de la iniciativa privada sobre todo considerando los cambios realizados a la Ley Federal de Pesca que permite y brinda un mayor espacio para la inversión, sobre todo en aquellas especies que tienen un elevado valor económico como es el caso del camarón, peces de agua dulce y moluscos bivalvos. La información antes señalada es variable y los datos presentados pueden cambiar de un año a otro, ya que muchas veces se registran como unidades de producción pequeños cuerpos de agua que son conocidos como estanques habilitados, donde la actividad acuícola es mínima, de tal manera que operan un año y al otro no. Otras unidades se cierran por distintos problemas como la falta de financiamiento, problemas de organización, falta de insumos y otros, por lo que se hace necesario tener un seguimiento constante de estas unidades.

Haciendo un análisis de los años de 1995 y 1998 (Tabla 6), se puede apreciar que existen contrastes muy obvios, así por ejemplo mientras en 1990 se reportan cerca de 3,000 unidades, en 1995 esta cifra baja a 828 y en 1998 sube a 1,618. Esto resalta más cuando por ejemplo en el estado de Chihuahua en 1988 se reportaron 451 unidades, ocupando el primer

lugar a escala nacional y en 1998 se incluyen sólo 62. Esto mismo sucede con los estados de Durango, Oaxaca y Veracruz, donde se observa una disminución drástica en cuanto al número de unidades. Al parecer estas discrepancias obedecen a una falta de información real y de un censo preciso de estas unidades, además de que no se manejan criterios generales en las Delegaciones de la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, por lo que debería de hacerse un esfuerzo encaminado a precisar con la mayor exactitud posible el número de granjas que operan en la actualidad, para poder tener una dimensión aproximada y exacta del desarrollo de la acuicultura nacional.

De las aproximadamente 20,000 hectáreas en donde actualmente se llevan a cabo acciones de acuicultura, más del 80% corresponden a granjas camaroneras, ubicadas en los estados de Sinaloa, Sonora y Nayarit. En Tabasco, Veracruz y Chiapas se ubica otra superficie dedicada al cultivo de ostión y camarón principalmente. En cuanto a volumen de agua utilizado para cultivo, destacan los estados de México, Michoacán, Veracruz y Tamaulipas, donde se realiza el cultivo en canales de corriente rápida, jaulas y estanques, en donde los especies más destacadas son el bagre de canal, la trucha arco iris y la tilapia.

Es importante destacar que en 1998, el mayor número de unidades de producción se dedicó al cultivo de trucha arco iris (774 unidades), manejando esta especie en canales de corriente rápida, jaulas y estanques. El segundo lugar lo ocupó el cultivo de camarón con 247 unidades realizando el cultivo básicamente en estanques. El tercer lugar lo ocupó la carpa con 208 unidades en estanques, seguido por la tilapia y el ostión. En este último caso los sistemas de cultivo fueron a partir del acondicionamiento de bancos en el fondo de las lagunas costeras y en sistemas de suspensión.

A la luz de estos datos se puede concluir que prácticamente dos especies son las que han alcanzado una importancia relevante en cultivos industrializados, estas son: el camarón y la trucha arco iris y esta tendencia posiblemente continuará en los próximos años.

Centros de producción acuícola.

En el año de 1987, la Secretaría de Pesca contaba con 60 centros de producción acuícola para el fomento de la actividad, con una capacidad instalada de 305 millones de organismos y un nivel de aprovechamiento del 32.6%.

Después de una revisión exhaustiva del potencial que ofrecía esta infraestructura y de los recursos que habría que destinar para solucionar su problemática, se consideró necesario el cierre de 8 centros, la transferencia de 12 a Gobiernos Estatales y Sector Social y la designación de 2 como brigadas de extensionismo. Por lo anterior expuesto la entonces Secretaría de Pesca disponía de 40 centros acuícolas (20 en el litoral del Pacífico, 7 en el litoral del Golfo y 13 en estados sin litoral) destinados a la fase de producción de crías, postlarvas y semillas; así como para realizar labores de extensionismo a productores en su área de influencia, impartiendo cursos de capacitación y actualización, brindando asistencia técnica a los productores de la región, sembrando y repoblando los cuerpos de agua identificados como potencialmente útiles para la realización de acuicultivos (Tabla 7).

El área productiva de estas instalaciones en 1988 alcanzaba una superficie aproximada de 118 hectáreas de espejo de agua con una capacidad instalada de 211 millones de organismos, con una producción de 137.8 millones de crías, postlarvas y semillas, principalmente de tilapia y carpa que representaron un aprovechamiento del 65.3% del potencial productivo. En 1990, la capacidad instalada fue de 251 millones, alcanzando en ese año una producción de 142.7 millones de aionomorfos, que representaron el 67.62%, ascendiendo un 2% (Anónimo, 1991).

De acuerdo con información verbal la Dirección General de Acuicultura de la SEMARNAP, esta haciendo una revisión de los centros acuícolas para establecer criterios de manejo y su posible redistribución a otras instituciones. En la figura 10 se indica la distribución de estos centros en la República Mexicana.

La información destacada en el Anuario Estadístico de Pesca de 1998, considera un total de 43 centros acuícolas, 19 en el litoral del Pacífico; 9 en el litoral del Golfo y Caribe y 15 en las entidades sin litoral. Estos centros principalmente producen crías de tilapia, carpa, y trucha arco iris, siendo la producción más fuerte la de tilapia, ya que de los 160 millones de crías, 81 millones corresponden a este cíclido, es decir el 51% de la producción, lo cual se ve reflejado en las cifras de producción de las pesquerías derivadas de la acuicultura en los cuerpos de agua epicontinentales.

Los centros acuícolas que tienen una mayor producción son en primer lugar los de Sinaloa y los de Veracruz, ya que ambos estados producen 43 millones de crías de tilapia, es decir el 50% de la producción total de estos cíclidos.

Tabla 7. Centros Acuícolas pertenecientes a la Secretaría de Pesca en 1991.

No	Centro/Estado	Especie principal	Capacidad potencial (*)	Capacidad instalada (*)	Producción actual (*)
1	Pabellón de Hgo. Ags.	Tilapia	8,000	5,000	4,763
2	Erendira, B.C.	Abulón	300	264	0
3	Bahía Magdalena, BCS.	Ostión	24,000	24,000	6,600
4	Bahía Tortugas, BCS.	Abulón	100	100	50
5	La Rosa, Coah.	Carpa	30,000	9,000	6,528
6	Jala, Col.	Tilapia	1,350	1,350	850
7	Potrero Grande, Col.	Tilapia	3,500	2,300	2,300
8	Saucito, Col.	Tilapia	3,000	2,217	1,300
9	Benito Juárez, Chis.	Tilapia	6,000	3,500	3,468
10	San Cristobal de las Casas, Chis.	Carpa	1,000	1,000	700
11	La Boquilla, Chih.	Tilapia	28,000	10,000	6,138
12	Guachochi, Chih.	Trucha	2,000	2,000	1,500
13	Valle de Guadiana, Dgo.	Carpa	25,000	10,000	11,430
14	Jaral de Berrio, Gto.	Carpa	7,500	6,000	5,233
15	Aguas Blancas, Gro.	Tilapia	16,000	12,000	1,300
16	Carrizal-Lagartero, Gro.	Langostino	14,000	12,000	3,000
17	Tezontepec de Aldama, Hgo.	Carpa	23,000	22,779	8,868
18	Las Pintas, Jal.	Tilapia	3,000	3,000	1,700
19	Tenacatita, Jal.	Tilapia	3,000	3,000	2,600
20	Zalamea, Jal.	Carpa	3,000	3,000	2,000
21	El Zarco, D.F.	Trucha	8,600	8,600	6,265
22	Zacapu, Mich.	Carpa	5,500	4,500	4,475
23	El Rodeo, Mor.	Tilapia	5,000	5,000	2,272
24	Zacatepec, Mor.	Tilapia	2,000	2,000	1,104

25	San Cayetano, Nay.	Tilapia	10,000	6,000	5,542
26	San Blas, Nay.	Camarón	12,000	12,000	0
27	Temascal, Oax.	Tilapia	14,000	8,000	2,439
28	Apulco, Pue.	Trucha	2,000	1,500	1,985
29	El Peaje, S. L. P.	Carpa	4,500	4,100	2,142
30	Chametla, Sin.	Tilapia	12,000	8,000	10,000
31	Varejonal, Sin.	Tilapia	30,000	20,000	15,000
32	Cajeme, Son.	Tilapia	40,000	15,000	2,232
33	El Morillo, Tamps.	Tilapia	1,200	600	595
34	Tanco, Tamps.	Tilapia	1,500	1,500	1,123
35	Los Amates, Ver.	Tilapia	4,000	4,000	1,685
36	Matzinga, Ver.	Trucha	2,000	2,000	1,075
37	Sontecomapan, Ver.	Tilapia	25,000	12,000	10,100
38	Tebanca, Ver.	Tilapia	1,000	1,000	215
39	La Tortuga, Ver.	Tilapia	1,000	1,000	620
40	Julian Adame, Zac.	Tilapia	5,000	2,000	2,500

(*) Miles de organismos.

Fuente: Anónimo, (1991).

A pesar de estas cifras que se pueden considerar importantes para promover la actividad acuícola en el país, esta producción no se refleja en un aumento real en las estadísticas de acuicultura y la calidad de las crías no puede ser considerada como la mejor, ya que no existe un control de las líneas genéticas que ofrezcan al productor mejores rendimientos. Es común detectar en estos centros fallas graves en el manejo de las poblaciones, la selección inadecuada de las líneas genéticas, problemas de hibridación y de endogamia, pérdida de vigor genético, baja tasa de crecimiento y escasa resistencia a las enfermedades. La cantidad no significa calidad y es urgente reforzar las líneas genéticas, evitar problemas de consanguinidad, tener un registro de origen y de calidad sanitaria y hacer un manejo eficiente de los reproductores. De nada sirve ofertar a los productores crías, si estas no aseguran la rentabilidad económica de los proyectos.

Es necesario por lo tanto mejorar el servicio y eliminar los viejos vicios que se tiene en los centros acuícolas, marcando una alternativa real y ajustada a la realidad nacional y a nuestro entorno social y económico.

De acuerdo con la información expresada en el Anuario Estadístico de Pesca (1998), algunos centros han sido transferidos al sector social o a la iniciativa privada y la SEMARNAP no produce ostrillas de ostión, larvas de camarón y juveniles de abulón. El número de centros aumentó con respecto a las cifras manejadas en 1997 cuando se reportaron 39 (Anuario Estadístico de Pesca, 1997) y al parecer la producción de crías se acotó básicamente a tres grupos de especies de peces, ciclidos exóticos (del género *Oreochromis*), carpas asiáticas (principalmente *Cyprinus carpio carpio*) y trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). La figura 13 muestra la distribución de 40 centros acuícolas que eran operados en 1991 por la entonces Secretaria de Pesca.

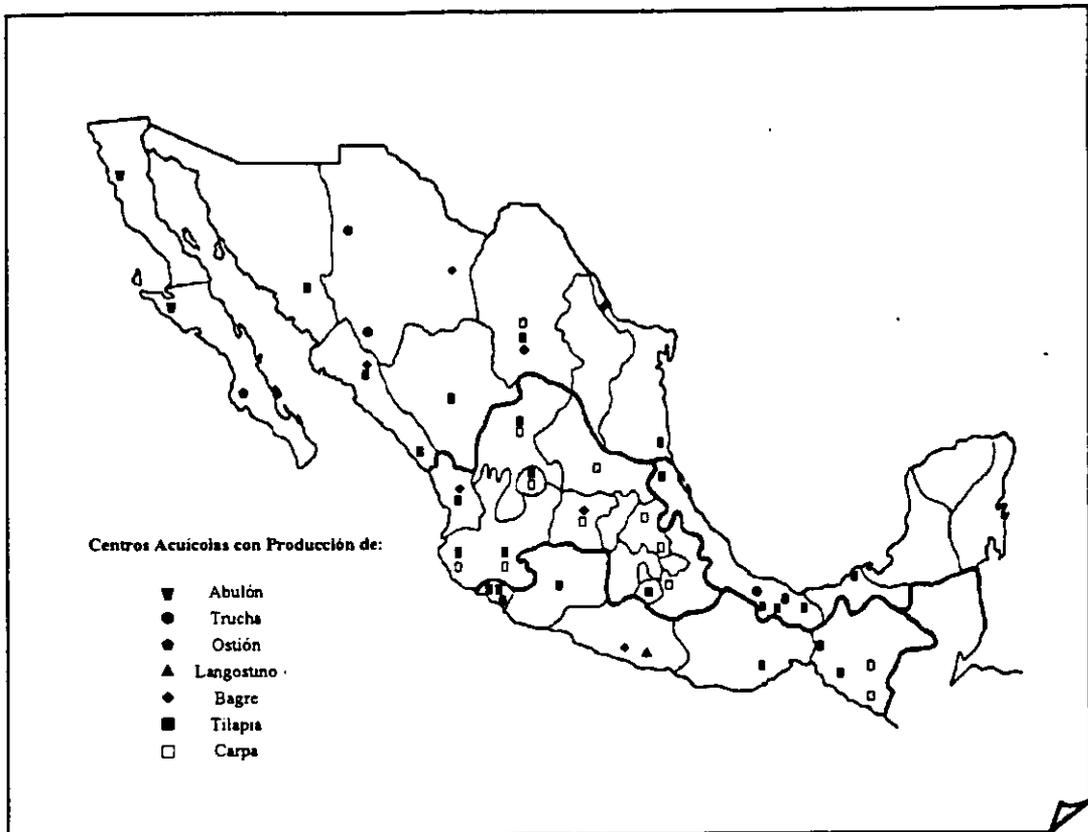


Figura 13. Distribución de los centros acuícolas en la República Mexicana pertenecientes a la entonces Secretaria de Pesca, de acuerdo con Anónimo, (1991).

VI. LAS ESPECIES

En el territorio nacional se han identificado en general un total de 134 especies con potencialidad de cultivo; de 28 de ellas se tiene un dominio tecnológico aceptable, entre las cuales destacan el bagre de canal, las carpas chinas, las distintas especies de tilapia, trucha arco iris, abulón, mejillón, ostión, almeja catarina, acocil del género *Procambarus*, Artemia, además de algunas especies de camarón de los géneros *Litopenaeus* y *Farfantepenaeus*, langostinos, langosta de quelas rojas, rana toro y dos especies de algas (*Spirulina* y *Gracilaria*) (Tabla 8).

Tabla 8. Especies susceptibles de cultivo.

Nombre común	Nombre científico	Origen	Hábitat	Nivel de dominio tecnológico		
				Bajo	Medio	Alto
PECES						
Acumara	<i>Algansea lacustris</i>	Nativa	agua dulce			
Bagre azul	<i>Ictalurus furcatus</i>	Nativa	agua dulce			
Bagre de canal	<i>Ictalurus punctatus</i>	Nativa	agua dulce			
Bagre de Chapala	<i>Ictalurus dugessi</i>	Nativa	agua dulce			
Bagre del Balsas	<i>Ictalurus (Istilaris) balsanus</i>	Nativa	agua dulce			
Bagre del Papaloapan	<i>Ictalurus meridionalis</i>	Nativa	agua dulce			
Brema wuchang	<i>Megalobrama amblycephala</i>	Introducida	agua dulce			
Cabrilla	<i>Paralabrax maculatofasciatus</i>	Nativa	marina			
Carpa cabezona	<i>Aristichthys nobilis</i>	Introducida	agua dulce			
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	Introducida	agua dulce			
Carpa herbívora	<i>Ctenopharyngodon idellus</i>	Introducida	agua dulce			
Carpa negra	<i>Mylopharyngodon piceus</i>	Introducida	agua dulce			
Carpa plateada	<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	Introducida	agua dulce			
Castañica	<i>Cichlasoma urophthalmus</i>	Nativa	salobre			
Catán o pejelagarto	<i>Atractosteus oseus</i>	Nativa	agua dulce			
	<i>Atractosteus tropicus</i>	Nativa	agua dulce			
Curvina blanca	<i>Atractoscion nobilis</i>	Nativa	marina			
Guapota	<i>Cichlasoma cyanoguttatum</i>	Nativa	agua dulce			
Huachinango	<i>Lutjanus campechanus</i>	Nativa	marina			
Lebrancha	<i>Mugil curema</i>	Nativa	salobre			
Lenguado	<i>Paralichthys woolmani</i>	Nativa	marina			
Lisa	<i>Mugil cephalus</i>	Nativa	salobre			
Lobina negra	<i>Micropterus salmoides</i>	Introducida	agua dulce			
Mojarra	<i>Cichlasoma fenestratum</i>	Nativa	agua dulce			
	<i>Cichlasoma perseai</i>	Nativa	agua dulce			
Mojarra de agallas azules	<i>Lepomis gibbosus</i>	Nativa	agua dulce			
	<i>Lepomis macrochirus</i>	Nativa	agua dulce			
Mojarra de agallas verdes	<i>Lepomis cyanellus</i>	Nativa	agua dulce			
Pámpano	<i>Trachinotus carolinus</i>	Nativa	marina			
Pargo raicero	<i>Lutjanus aratus</i>	Nativa	marina			
Pargo amarillo	<i>Lutjanus argentiventris</i>	Nativa	marina			
Pargo lunamejo	<i>Lutjanus gutatus</i>	Nativa	marina			
Robalito	<i>Centropomus robalito</i>	Nativa	marina			
Robalo	<i>Centropomus undecimalis</i>	Nativa	marina			
Roncacho, burro	<i>Haemulon plumieri</i>	Nativa	marina			
Sabalote	<i>Chanos chanos</i>	Nativa	marina			
Tenhuayaca	<i>Petenia splendida</i>	Nativa	salobre			

Nombre común	Nombre científico	Origen	Hábitat	Nivel de dominio tecnológico		
				Bajo	Medio	Alto
PECES						
Tilapia o mojarra	<i>Oreochromis aureus</i>	Introducida	agua dulce			
	<i>Oreochromis niloticus</i>	Introducida	agua dulce			
	<i>Oreochromis urolepis hornorum</i>	Introducida	agua dulce			
	<i>Oreochromis mossambicus</i>	Introducida	salobre			
Tilapia o mojarra	<i>Tilapia rendalli</i>	Introducida	agua dulce			
	<i>Tilapia zillii</i>	Introducida	agua dulce			
Totoaba	<i>Totoaba macdonaldi</i>	Nativa	marina			
Trucha arco iris	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Nativa	agua dulce			
MOLUSCOS						
Abulón amarillo	<i>Haliotis corrugata</i>	Nativa	marina			
Abulón azul	<i>Haliotis fulgens</i>	Nativa	marina			
Abulón blanco	<i>Haliotis sorenseni</i>	Nativa	marina			
Abulón negro	<i>Haliotis cracherodii</i>	Nativa	marina			
Abulón rojo	<i>Haliotis rufescens</i>	Nativa	marina			
Alacrán o espina	<i>Murex spp.</i>	Nativa	marina			
Almeja mano de león	<i>Lyropecten subnodosus</i>	Nativa	marina			
Almeja blanca	<i>Dosinia ponderosa</i>	Nativa	marina			
Almeja burra	<i>Hinnites multirugosus</i>	Nativa	marina			
Almeja burra china	<i>Spondylus princeps</i>	Nativa	marina			
Almeja catarina	<i>Argopecten circularis</i>	Nativa	marina			
Almeja china	<i>Trachycardium sp.</i>	Nativa	marina			
Almeja chocolata negra	<i>Megapitaria squalida</i>	Nativa	marina			
Almeja chocolata roja	<i>Megapitaria aurantiaca</i>	Nativa	marina			
Almeja pismo	<i>Tivela stultorum</i>	Nativa	marina			
Almeja roñosa	<i>Chione undatella</i>	nativa	marina			
Almeja voladora	<i>Pecten vogdesi</i>	Nativa	marina			
Arrocillo	<i>Eulina spp.</i>	Nativa	marina			
Barquito	<i>Oliva porphyria</i>	Nativa	marina			
Burro	<i>Melongenena patula</i>	Nativa	marina			
Callo de hacha	<i>Atrina maura</i>	Nativa	marina			
Callo de hacha	<i>Atrina tuberculosa</i>	Nativa	marina			
Callo de hacha	<i>Pinna rugosa</i>	Nativa	marina			
Caracol de uña	<i>Strombus gracilis</i>	Nativa	marina			
Caracol gigante	<i>Strombus gigas</i>	Nativa	marina			
Chile	<i>Farfalarion princeps</i>	Nativa	marina			
Chile blanco	<i>Fusinus dipetiti hovarsu</i>	Nativa	marina			
Chino negro	<i>Muricanthus nigrinus</i>	Nativa	marina			
Chino rosa	<i>Hexaplex erithrostomus</i>	Nativa	marina			
Concha nácar	<i>Pteria sterna</i>	Nativa	marina			
Lapa	<i>Ancistromesius mexicanus</i>	Nativa	marina			
Madre perla	<i>Pinctada mazatlanica</i>	Nativa	marina			
Mejillón	<i>Choromytilus palliopunctatus</i>	Nativa	marina			
Mejillón azul	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	Introducida	marina			
Mejillón o choro de banco	<i>Modiolus capax</i>	Nativa	marina			
Mejillón o choro de roca	<i>Mytilus californiensis</i>	Nativa	marina			
Olivo	<i>Oliva spicata</i>	Nativa	marina			
Ostión	<i>Ostrea edulis</i>	Introducida	marina			
Ostión americano	<i>Crassostrea virginica</i>	Nativa	salobre			
Ostión de roca	<i>Crassostrea iridescens</i>	Nativa	marina			
Ostión de mangle	<i>Crassostrea cortezensis</i>	Nativa	marina			
Ostión japonés	<i>Crassostrea gigas</i>	Introducida	marina			
Parrocho	<i>Astrea turbonica (megastrea)</i>	Nativa	marina			
Pata de mula	<i>Anadara grandis</i>	Nativa	marina			
Pata de mula	<i>Anadara tuberculosa</i>	Nativa	marina			

Nombre común	Nombre científico	Origen	Hábitat	Nivel de dominio tecnológico		
				Bajo	Medio	Alto
Peluda o india	<i>Glycymeris gigantea</i>	Nativa	marina			
CRUSTACEOS						
Acocil	<i>Cambarellus montezumae</i>	Nativa	agua dulce			
Acocil	<i>Procambarus aztecus</i>	Nativa	agua dulce			
Acocil	<i>Procambarus clarkii</i>	Introducida	agua dulce			
Artemia	<i>Artemia salina</i>	Introducida	marina			
Camarón blanco	<i>Litopenaeus vannamei</i>	Nativa	salobre y marina			
Camarón blanco	<i>Farfantepenaeus occidentalis</i>	Nativa	salobre y marina			
Camarón café	<i>Farfantepenaeus californiensis</i>	Nativa	marina			
Camarón azul	<i>Litopenaeus stylirostris</i>	Nativa	salobre y marina			
Camarón blanco	<i>Litopenaeus setiferus</i>	Nativa	salobre y marina			
Camarón cristalino	<i>Farfantepenaeus brasiliensis</i>	Nativa	marina			
Camarón de río	<i>Macrobrachium carcinus</i>	Nativa	salobre y agua dulce			
Camarón rosado	<i>Farfantepenaeus duorarum</i>	Nativa	marina			
Chacal	<i>Macrobrachium tenellum</i>	Nativa	salobre y agua dulce			
Jaiba	<i>Callinectes bellicosus</i>	Nativa	marina y salobre			
Jaiba o cangrejo	<i>Callinectes sapidus</i>	Nativa	marina salobre			
Jaiba prieta	<i>Callinectes rathbuni</i>	Nativa	marina salobre			
Langosta azul	<i>Pamulirus inflatus</i>	Nativa	marina			
Langosta de quejas rojas	<i>Cherax quadricarinatus</i>	Introducida	agua dulce			
Langosta de Isla Socorro	<i>Pamulirus penicillatus</i>	Nativa	marina			
Langosta del Caribe	<i>Pamulirus argus</i>	Nativa	marina			
Langosta verde	<i>Pamulirus gracilis</i>	Nativa	marina			
Langostino	<i>Macrobrachium americanum</i>	Nativa	agua dulce salobre			
Langostino gigante	<i>Macrobrachium rosenbergii</i>	Introducida	agua dulce salobre			
Langostino prieto	<i>Macrobrachium acanthurus</i>	Nativa	agua dulce salobre			
Pulga de agua	<i>Daphnia pulex</i>	Nativa	agua dulce			
ANFIBIOS						
Rana toro	<i>Rana catesbeiana</i>	Introducida	agua dulce			
Rana	<i>Rana megapoda</i>	Nativa	agua dulce			
Rana	<i>Rana montezumae</i>	Nativa	agua dulce			
Rana leopardo	<i>Rana pipiens</i>	Nativa	agua dulce			
REPTILES						
Caguama	<i>Caretta caretta</i>	Nativa	marina			
Caimán o lagarto	<i>Caiman crocodylus</i>	Nativa	agua dulce			
Cocodrilo de pantano	<i>Crocodylus moreletii</i>	Nativa	agua dulce			
Cocodrilo de río	<i>Crocodylus acutus</i>	Nativa	agua dulce			
Tortuga blanca	<i>Chelonia mydas</i>	Nativa	marina			
Tortuga de carey	<i>Eretmochelys imbricata</i>	Nativa	marina			
Tortuga	<i>Dermatemis mawii</i>	Nativa	agua dulce			
Tortuga	<i>Chrysemis scripta grani</i>	Nativa	agua dulce			
Tortuga golfina	<i>Lepidochelys olivacea</i>	Nativa	marina			
Tortuga laud	<i>Dermochelys coriacea</i>	Nativa	marina			
Tortuga lora	<i>Lepidochelys kempi</i>	Nativa	marina			
ALGAS						
Alga Spirulina	<i>Spirulina sp.</i>	Nativa	agua dulce			
Alga Gracilaria	<i>Gracilaria sp.</i>	Nativa	marina			

Del total de estas especies, el grupo más numeroso está representado por los moluscos generalmente marinos y salobres, con el 35%, seguido de los peces básicamente de agua dulce con el 33%, los crustáceos marinos, salobres y de agua dulce con el 19% y finalmente los reptiles, anfibios y las algas con 8, 3 y 2% respectivamente.

Habría que destacar que también se tiene el dominio en el cultivo de algunas especies que son consideradas como apoyo a las actividades acuícolas, como es el caso de las microalgas, que sirven como alimento para algunas etapas del ciclo de vida de moluscos, peces y crustáceos y de algunas macrofitas acuáticas cuya importancia no ha sido plenamente reconocida.

No obstante la importante participación relativa del componente de especies con un hábitat salobre y marino, existen varias de ellas que no han sido utilizadas con fines acuícolas y tampoco se han realizado investigaciones básicas para conocer su potencial, lo cual representa el desaprovechamiento de importantes recursos, algunos inclusive con un mercado bien identificado. Entre ellas se encuentran algunos peces marinos, langostinos, moluscos diversos, algas marinas y macrofitas acuáticas.

Merece especial atención la procedencia de las especies que conforman nuestra acuicultura, ya que de las especies identificadas más del 90% son nativas, mientras que el resto son no nativas. De las primeras se han hecho intentos aislados y poco organizados para desarrollar su tecnología de cultivo y de las otras se cuenta con un mayor conocimiento de sus tecnologías, aunque estas han sido desarrolladas en otros países y continentes y solamente se han adaptado a las condiciones de nuestro país. La ventaja de estas últimas es que disponen de una gran cantidad de estudios básicos y aplicados que soportan su desarrollo tecnológico. Vale la pena destacar que precisamente todas las especies introducidas se cultivan con diferentes niveles de intensidad tecnológica y particularmente la tilapia, carpa y lobina negra constituyen los elementos sobre los cuales se han desarrollado importantes pesquerías en las aguas epicontinentales del país.

Por otra parte la investigación y desarrollo tecnológico de especies propias o nativas, no han tenido el impulso que se merece, salvo algunos intentos destacados que se han incrementado en los últimos años y donde de manera prioritaria han participado las universidades e institutos de investigación del país, entre ellos cabe resaltar los estudios realizados por el Instituto Nacional de la Pesca (INP) para el cultivo del pescado blanco y de la acúmara en el Centro Regional de Investigaciones Pesqueras (CRIP) de Pátzcuaro Michoacán; los efectuados por el Instituto de Investigaciones Oceanográficas (IIO) de la Universidad Autónoma de Baja California Norte, con el mejillón, abulón y otros moluscos; los trabajos sobre almeja catarina, camarón y peces marinos que ha realizado el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR); las investigaciones sobre el cultivo de la cabrilla y pargo que llevan a cabo el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) y la Universidad Autónoma de Baja California, en su Centro de Bahía Pichilinge, en la ciudad de la Paz, básicamente con moluscos y actualmente con peces.

La Unidad Guaymas del Instituto Tecnológico de Monterrey, fue pionera en el cultivo del camarón café y de algunos moluscos y el Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora (CICTUS), en sus dos campus Puerto Peñasco y Bahía Kino, con el cultivo del camarón azul, ostión, callo de hacha y otras especies. El Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados (CINVESTAV), en su unidad Mérida desarrolló estudios en torno al cultivo de la mojarra castarrica *Cichlasoma urophthalmus* y la Universidad Autónoma de Morelos quien ha estado desarrollando el cultivo del bagre del Balsas (*Ictalurus balsanus*) y de ciclidos nativos del género *Cichlasoma spp.*

Otras instituciones también se han abocado al estudio de especies nativas de peneidos como la Universidad Autónoma de Tamaulipas; la Universidad Autónoma de Nuevo León y la Facultad de Ciencias de la UNAM, esta última en instalaciones ubicadas en Ciudad del Carmen, Campeche donde se realizan investigaciones en torno al cultivo del camarón blanco *Litopenaeus setiferus*. Otra institución que está preocupada por las especies nativas es la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco quien ha realizado estudios en torno al pejelagarto o catán (*A. tropicus*).

Sin embargo, a pesar de estos intentos, todavía no se cuenta con tecnologías propias y adecuadas para llevar a cabo cultivos comerciales rentables y exitosos que impacten en la producción acuícola nacional.

Todas las especies indicadas en la tabla 8, se explotan en mayor o menor grado, tanto para fines de consumo humano directo, así como para la obtención de productos suntuarios, industriales y de pesca deportiva.

Sin embargo, en la práctica esta gama de especies se reduce considerablemente si se toman en cuenta los criterios de tipo biológico, tecnológico, económico y de mercado que determinan la viabilidad comercial de un cultivo. Son relativamente pocas las especies cuyo cultivo se ha propagado hasta la fecha (Rosas, 1976).

La demanda en el mercado es una de las limitantes que más restringe la selección de especies, misma que está condicionada por su sabor, apariencia, textura y facilidad de procesamiento o preparación.

Los patrones de demanda local, el potencial económico de exportación, las características ecológicas y geográficas, el régimen de tenencia de la tierra, etcétera, son algunos de los más importantes factores que han determinado la selección de las especies actualmente cultivadas en México.

Así por ejemplo, en los estados costeros como Sinaloa, Nayarit, Colima, Veracruz y Tabasco, han enfocado su producción de diferente manera. En Sinaloa y Nayarit, se ha dado prioridad al cultivo del camarón, mientras que en Colima, Tamaulipas y Veracruz, se ha enfatizado la producción de tilapia y langostino para consumo suntuario a la vez que en Veracruz y Tabasco, domina el cultivo de la tilapia para consumo exclusivamente local.

En Sinaloa, en cambio el agua dulce se destina prioritariamente para fines de irrigación en los distritos de riego con un uso casi exclusivo para los productores de granos forrajeros, arroz, hortalizas y verduras para exportación, pero se ha introducido la tilapia propiciando una pequeña industria pesquera que algunas autoridades la han identificado como una actividad acuícola. La disponibilidad de agua dulce en Colima y Veracruz, combinada con la demanda local principalmente de la industria turística regional, favorecen el cultivo de langostino como una especie de alto valor comercial.

La gran abundancia de presas, embalses y zonas de humedales en varios estados del Sur del país, como en Tabasco, han permitido el desarrollo del cultivo de tilapia y otras especies

nativas cuyo mercado es para satisfacer el consumo local, independientemente de que en las zonas costeras se practique también la acuicultura de moluscos bivalvos.

Aún el cultivo de una misma especie adopta en México distintos carices, tal es el caso del ostión, por ejemplo, ya que las condiciones ecológicas y las prácticas de cultivo en suspensión permiten que en los estados de Sonora y Baja California se obtenga un producto apto para exportación, debido a sus cualidades sanitarias, de tamaño, sabor, presentación y otras. En cambio, en los estados del Golfo de México (Tamaulipas, Veracruz y Tabasco), el ostión que se produce no alcanza los niveles de calidad requeridos para la exportación, lo que aunado a las condiciones de un mercado específico provocan que el producto sea destinado más hacia el mercado local.

La piscicultura ha avanzado gradualmente, pasando de la explotación de poblaciones silvestres de nuestros lagos, ríos, esteros y aguas protegidas al policultivo intensivo donde el piscicultor que la realiza necesita un adiestramiento especializado.

Hacia 1976 la explotación pesquera de las aguas interiores mexicanas, se realizaba con 35 especies pertenecientes a 21 géneros correspondientes a 10 familias diferentes. Aproximadamente, la mitad de estas especies son nativas, mientras que las restantes fueron introducidas a nuestro país en su mayor parte a lo largo de este siglo. Inicialmente se pensó que tal diversidad daba la oportunidad de repoblar todos los cuerpos y embalses con las especies más apropiadas a las condiciones físicas, geográficas y climáticas de tales cuerpos de agua (Noriega y Noriega, 1988).

Impacto de la introducción de especies nativas y exóticas.

La acentuada introducción de organismos acuáticos procedentes de otros países y el trasplante de especies nativas en nuestro país, ha sido realizada durante décadas, siendo ejecutada por parte de diferentes autoridades del Gobierno, así como de la iniciativa privada, con el fin de generar fuentes de proteínas de origen animal para el consumo humano, incrementar las fuentes de trabajo derivadas del establecimiento de pesquerías, en menor grado también, para controlar la invasión de malezas acuáticas, sobre todo en las presas productoras de energía hidroeléctrica y para el fomento de la pesca deportiva (Arredondo, 1983).

No obstante, los objetivos anteriores sólo en ciertos casos las especies introducidas se han adaptado a los nuevos hábitats obteniéndose los resultados esperados traducidos en beneficio de tipo social y económico en función del éxito del establecimiento de las pesquerías, así como de la capacidad técnica para el desarrollo de su cultivo.

La rápida adaptación de algunas especies no nativas como la carpa común (*Cyprinus carpio carpio*) y la tilapia (*Oreochromis spp.*), así como de especies autóctonas trasplantadas como la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), la lobina negra (*Micropterus salmoides*) y algunas especies del género *Chirostoma spp.*, en grandes presas y embalses, obedece fundamentalmente a la intención de ampliar la estructura de diversas comunidades de organismos con diferentes niveles y nichos tróficos (lo que permite incrementar la eficiencia

de adaptación en un plazo más corto), con el fin de establecer pesquerías comerciales que brinden trabajo y sustento a las poblaciones aledañas; particularmente cuando éstas hubieran sido afectadas por la construcción misma de los embalses.

A pesar de los beneficios que ha demostrado la introducción de estas especies en los cuerpos de agua epicontinentales, también se tienen ejemplos del impacto ecológico provocado por esta acción. Así por ejemplo en el Lago de Pátzcuaro a raíz de la introducción de la lobina negra y unido al efecto de sobrepesca, y a la modificación del hábitat, las poblaciones de atherinidos como *Chirostoma estor*, *Chirostoma grandocule* y *Chirostoma patzcuaro* han disminuido considerablemente, afectando los ingresos de la población dedicada a la pesca de dichas especies. Ello tiene importancia no sólo porque en este lago existen especies endémicas en peligro de extinción, sino también porque una parte de la población ribereña compuesta por indígenas tarascos subsisten de las pesquerías que tradicionalmente se realizaban en dicho lago. El problema se ha agudizado aún más con la introducción de otras especies exóticas tales como la carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idellus*), la carpa de Israel (*Cyprinus carpio carpio*) y la tilapia (*Oreochromis aureus*), mismas que a su vez han modificado la estructura poblacional y por ende la organización, volumen y valor de las pesquerías.

Otro ejemplo lo constituye el río Tunal en Durango, donde a raíz de la introducción de especies no nativas como *Cyprinus carpio carpio*, *Carassius auratus*, *Lepomis macrochirus* y *Micropterus salmoides*, la pérdida de las siete especies nativas fue total en tan sólo 15 años.

Otro aspecto a considerar con la introducción de especies exóticas, es la transmisión de parásitos importados representando riesgos sanitarios de las especies endémicas, como es el caso de *Bothriocephalus acheilognathi* (céstodo) parásito introducido junto con la carpa herbívora, procedente de la República Popular China y que ha sido reportada en algunas especies nativas.

Una de las especies que en pocos años después de su introducción se aclimató y fue aceptada rápidamente como alimento por la población rural es la carpa *Cyprinus carpio carpio*, especie que tiene casi un siglo de haber arribado a nuestro país y que hasta el momento reporta grandes beneficios no obstante que su introducción en ecosistemas considerados ecológicamente frágiles haya propiciado el desplazamiento y la pérdida de especies nativas de la ictiofauna mexicana.

La presencia de la tilapia en México ha sido entendida como un gran éxito debido a que la producción anual estimada supera las 100,000 toneladas, ocupando el primer lugar en la producción en aguas epicontinentales y relegando a segundo término aquellas que tradicionalmente ocupaban este lugar. El impacto de la tilapia en los ecosistemas acuáticos aún no está bien entendido, pero se sabe que a altas densidades inhiben el establecimiento de otros centrárquidos que son importantes en la pesca deportiva, por lo que se estima prudente controlar su distribución de tal manera que no se siga comprometiendo la biota acuática autóctona (Arredondo, 1983). Para ello sería recomendable el manejo de poblaciones monosexuales o de híbridos estériles, no solamente en condiciones de cultivo sino principalmente al ser introducidas a embalses y otros cuerpos de agua abiertos.

Dentro de las especies autóctonas trasplantadas, la trucha arco-iris *Oncorhynchus mykiss* se ha establecido con éxito en diversos embalses del país donde se captura para el consumo y venta local, a pesar de que es una especie carnívora que pudiera llegar a alterar el equilibrio de los ecosistemas acuáticos en donde se introduzca.

Considerando las ventajas y desventajas que presentan las especies no nativas, se desprende la necesidad de establecer una política que regule y controle la introducción y trasplante de las mismas, tomando como base los elementos biológicos y socioeconómicos adecuados, dado que a la fecha no existe un control apropiado en materia de importación y de dispersión de especies acuáticas.

Por ello resulta indicado formar áreas de reserva, sobre todo en aquellas zonas donde el endemismo sea muy marcado, impidiendo la alteración de los hábitats y la introducción de especies no nativas. Asimismo se debería intensificar la vigilancia y los estudios conducentes a precisar el efecto de las especies no nativas sobre la estructura de las comunidades existentes, en aquellos cuerpos de agua en donde ya se han introducido. Igualmente importante resulta realizar investigaciones orientadas a determinar la conveniencia del empleo de especies autóctonas para fines de cultivo o para el fomento de la pesca deportiva.

VII. DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES MODELOS DE PRODUCCIÓN

A continuación y de manera independiente se presenta una panorámica actual del desarrollo tecnológico que han alcanzado las principales especies cultivadas en nuestro país. Sólo han sido consideradas aquellas que tienen mayor importancia económica y social y que generan alimentos, empleos y captan recursos económicos importantes. Estas especies se presentan ordenadas en grandes grupos taxonómicos; crustáceos, moluscos y peces. Entre los primeros se destaca el camarón y el langostino; en los segundos el ostión y entre los terceros, la trucha arco iris, tilapia y carpa.

La presente descripción no pretende agotar el tema en cada una de las especies, ya que es muy amplio, sólo trata de expresar un panorama general de su estado actual, así como resaltar algunas de las tecnologías más utilizadas en nuestro país.

CRUSTACEOS

Camarones marinos (géneros *Litopenaeus* y *Farfantepenaeus*.)

A escala mundial los géneros de camarones marinos (*Litopenaeus* y *Farfantepenaeus*) están constituidos por 60 especies, de ellas más de 50 han sido utilizadas para propósitos de cultivo en diferentes países. En México se cuenta con ocho especies que tiene potencial de cultivo; cuatro de ellas pertenecientes al género *Farfantepenaeus* (que se caracteriza por presentar un telicum cerrado) y cuatro del género *Litopenaeus* (con telicum abierto) (Figura 14, Tabla 9). En la figura 15 se presentan los genitales externos característicos de los camarones peneidos.

Tabla 9. Especies de camarones peneidos con potencial para el cultivo en México.

Litoral	Nombre Científico	Nombre común
Pacífico	<i>Litopenaeus stylirostris</i> (Stimpson, 1874)	Camarón azul
	<i>Litopenaeus vannamei</i> (Boone, 1931)	Camarón blanco
	<i>Litopenaeus occidentalis</i> (Streets, 1871)	Camarón blanco del Sur
	<i>Farfantepenaeus californiensis</i> (Holmes, 1900)	Camarón café
Golfo de México y Caribe	<i>Litopenaeus setiferus</i> (Linnaeus, 1767)	Camarón blanco
	<i>Farfantepenaeus aztecus</i> (Ives, 1891)	Camarón café
	<i>Farfantepenaeus duorarum</i> (Burkenroad, 1939)	Camarón rosado
	<i>Farfantepenaeus brasiliensis</i> (LeTraille, 1817)	Camarón blanco manchado

Fuente: Pérez-Farfante and Kensley (1997).

Entre las especies que tienen las mejores posibilidades de manejo en sistemas de cultivo destacan *Litopenaeus vannamei* (camarón blanco), *Litopenaeus stylirostris* (camarón azul) y *Farfantepenaeus californiensis* (camarón café) en el Pacífico y *Farfantepenaeus duorarum* (camarón rosado), *Litopenaeus setiferus* (camarón blanco) y *Farfantepenaeus aztecus* (camarón café) en el Golfo de México (Arredondo, 1990 a).



Figura 14. Camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*) cultivado en estanques en Sinaloa.

Rodríguez de la Cruz (1988), menciona que *L. vannamei* (camarón blanco) y *L. stylirostris* (camarón azul) son las especies que mayores ventajas presentan para el cultivo, puesto que ya se cuenta con una tecnología efectiva y probada; la primera de ellas se adapta bien al cultivo, tolera altas densidades, intervalos razonables de variaciones ambientales, presenta alta supervivencia en cultivo y tiene un buen mercado internacional. Por otra parte la segunda especie tolera temperaturas bajas y alta salinidad, se adapta bien al cultivo, madura y desova fácilmente en cautiverio y también tiene buen mercado internacional. De hecho estas especies han sido exportadas al mercado de los EUA durante más de 30 años a través de la Empresa Ocean Garden, por lo que ya cuentan con un mercado bien establecido, que asegura buenos precios.

De las especies de camarones peneidos que habitan las aguas del Golfo de México, una en particular el camarón blanco *Litopenaeus setiferus* tiene buena posibilidad de ser utilizada en cultivos comerciales. Los estados adultos son típicamente marinos, mientras que las postlarvas y juveniles predominan en los ambientes estuarinos. Fue una de las primeras especies que se estudiaron en el Laboratorio de Galveston, EUA con intenciones de cultivo. Trabajos recientes sobre su reproducción en condiciones de laboratorio y el engorde en estanques, han reforzado la potencialidad que exhibe esta especie en la acuicultura, aunque todavía no se ha logrado el cultivo a escala comercial (Lumare, 1988; Lawrence *et al.*,

1985). La Facultad de Ciencias de la UNAM y el Instituto Nacional de la Pesca, a través del Centro Regional de Investigaciones Pesqueras de Ciudad del Carmen en Campeche, están realizando un esfuerzo conjunto para lograr el dominio tecnológico de esta especie y poder disponer de una alternativa para el cultivo en la zona costera del Golfo de México.

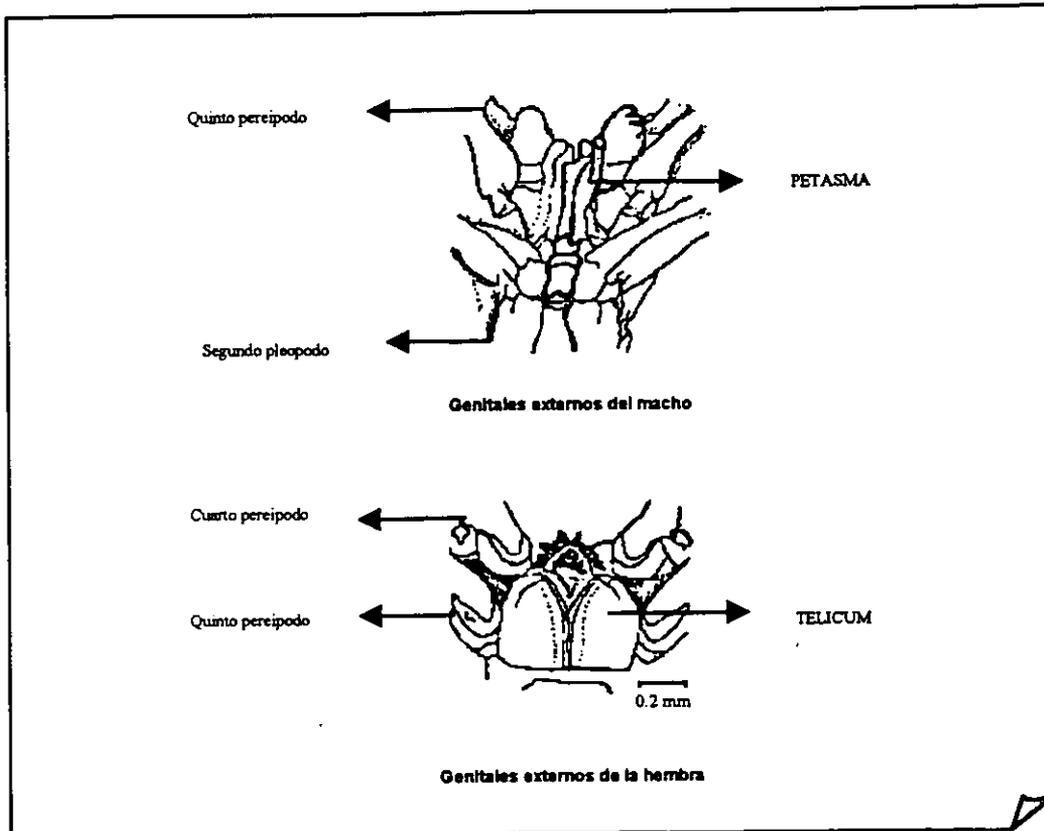


Figura 15. Genitales externos (petasma y telicum) de los camarones peneidos.

Otra especie con potencial es el camarón rosado *Farfantepenaeus duorarum*, que habita en aguas profundas desde los 2 a los 70 metros. Los adultos son típicamente costeros, mientras que las postlarvas y juveniles prefieren las aguas estuarinas. A pesar de que los estudios realizados con esta especie a nivel de reproducción y engorde en estanques (Lindner y Cook, 1970; Costello y Allen, 1970), no han demostrado su factibilidad de cultivo; sin embargo, en México los estudios prospectivos han señalado un buen crecimiento en estanques.

En la última década la camaronicultura mexicana ha tenido un rápido y explosivo crecimiento, de tal manera que actualmente nuestro país ocupa el noveno lugar a nivel mundial y el segundo en América después de Ecuador que es el segundo productor mundial de este crustáceo. La especie principal que se cultiva en las granjas es el camarón blanco *L. vannamei* y debido a problemas de enfermedades como el síndrome de Taura entre otras el camarón azul *L. stylirostris* está ocupando cada día un lugar más preponderante en los sistemas de cultivo.

En la figura 16 se puede apreciar que en la última década el cultivo de camarón ha tenido un rápido y explosivo crecimiento, el cual da inicio en el año de 1985, acercándose la producción a cerca de las 18,000 toneladas en el año de 1997, como resultado de un mayor dominio de la tecnología.

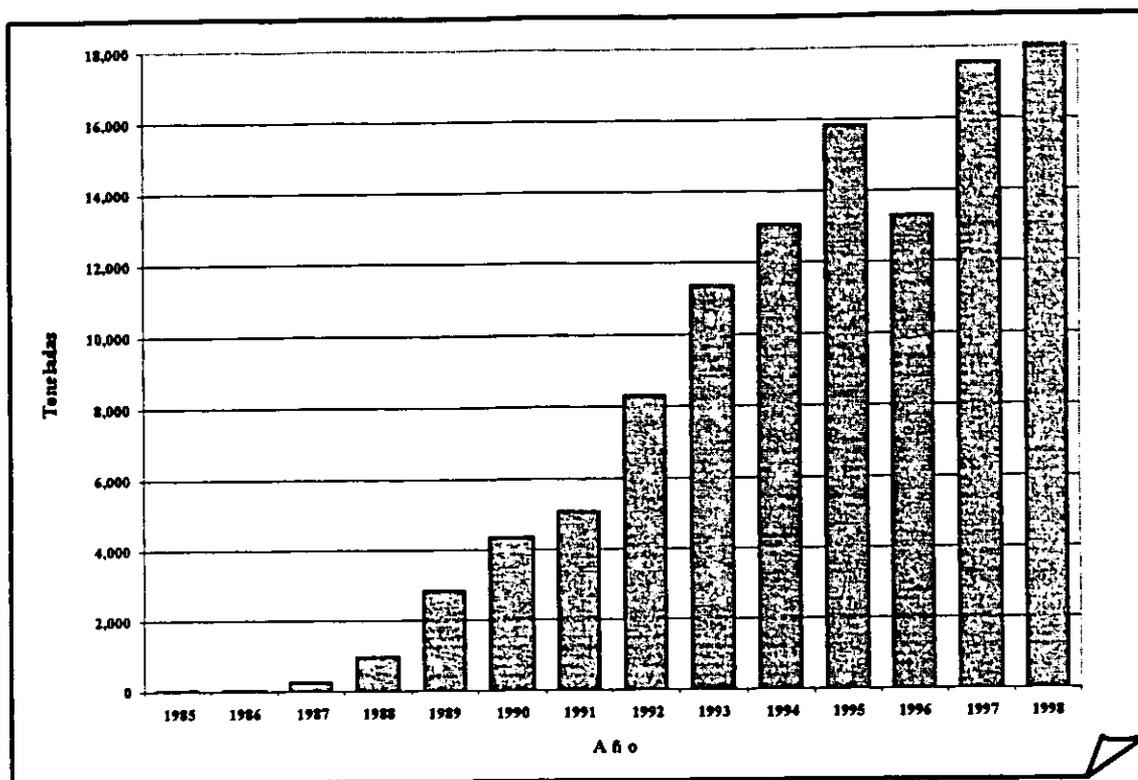


Figura 16. Producción de camarón por acuicultura en el periodo 1985 a 1998 (SEMARNAP, 1998).

Antecedentes.

El cultivo de camarón en México, se inició en 1969, realizándose las primeras experiencias con el camarón café (*F. californiensis*) en las instalaciones del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Unidad Guaymas, en el estado de Sonora; continuándose con el camarón azul (*L. stylirostris*) en el Centro de Investigación Científica y Tecnológica de la Universidad de Sonora (ahora DICTUS), donde para 1975 se lograron resultados alentadores y se habían resuelto los primeros problemas más significativos del cultivo de la especie (Rodríguez de la Cruz, 1988). Por lo que estas dos instituciones pueden ser consideradas como las pioneras en México del cultivo controlado en laboratorio de las especies de camarones del Pacífico norte.

En la década de los setenta, en Nayarit se realizan las primeras experiencias de cultivo semi intensivo, utilizando estanques de 100 a 200 hectáreas con control hidráulico. Asimismo, se realizan trabajos de laboratorio para la producción de postlarvas y su engorde hasta talla

comercial. No obstante estos avances, no es sino hasta el final de esta década, cuando en el Sur del estado de Sinaloa, se construyen las primeras granjas utilizando el modelo de producción semi intensivo, que empiezan a operar y obtener las primeras cosechas. En los ochenta, la tecnología se mejora con la construcción de la Granja "Las Grullas", en el margen derecho del Río Fuerte, Sinaloa y a partir de este modelo importado de Panamá, se inicia un despeje fuerte de la actividad.

En 1991, existían en nuestro país 15 laboratorios de producción de postlarvas de camarones peneidos y 201 granjas camaroneras que cubrían más de 8,000 hectáreas, de las cuales 142 de ellas se encontraban operando, (Gámez y De la Lanza, 1992). Sin embargo, de acuerdo a los datos de la Dirección General de Acuicultura, de la Secretaría de Pesca (ahora SEMARNAP), a finales de 1991, se tenían registradas 136 granjas camaroneras en operación y tan sólo en el estado de Sinaloa, para esa fecha 83 de ellas se encontraban trabajando.

Para 1993, se contaba con cerca de 10,000 hectáreas de estanquería, incluyendo las obras de los parques acuícolas, con una producción que alcanzó las 11,846 toneladas. Para 1995, ya se cuenta con 14,302 hectáreas y una producción de 15,807 toneladas, lo cual confirma el incremento de la producción y el desarrollo significativo de esta actividad.

En 1998, operaron un total de 239 granjas en un poco más de 17,000 hectáreas, que produjeron más de 22,000 toneladas. De acuerdo con la información anterior, el crecimiento de esta actividad ha sido impactante en los últimos años, siendo los estados de Sinaloa, Sonora y Nayarit los que disponen de la mayor infraestructura de cultivo. En el estado de Sinaloa, es donde se concentra el mayor número de granjas y de la producción (50%), ubicadas básicamente en tres polos de desarrollo; en el Norte del estado en los municipios de Angostura, Guasave y Ahóme; en el Centro en Culiacán y Navolato, y en el Sur en Escuinapa, Rosario, Mazatlán, San Ignacio y Elota (Tabla 10).

Ciclo biológico.

Los camarones peneidos son organismos de vida corta (uno o dos años), su ciclo vital comprende distintas fases: huevo, larvas (nauplio, protozoa y mysis), postlarvas, juveniles y adultos. Los camarones penetran al sistema estuarino en estado de postlarvas donde permanecen hasta la fase de juveniles para después emigrar hacia el mar abierto donde logran la maduración y se reproducen. La cópula y el desove ocurren en aguas oceánicas profundas. Los huevos miden entre 0.22 y 0.32 mm y eclosionan entre las 11 y 18 horas después del desove a una temperatura entre 27 y 29 °C. Cuando eclosionan, el organismo resultante pasa por tres estadios larvales básicos: nauplio, protozoa y mysis en sucesivas mudas, a la vez que se desplaza hacia la zona costera. La talla de los camarones peneidos va aumentando durante los diferentes estadios larvales, así el nauplio llega a medir hasta 0.58 mm; la protozoa 2.59 mm y la mysis alcanza una talla promedio de 4.3 mm de longitud (Juárez y Palomo, 1985).

Tabla 10. Número de granjas, superficie abierta al cultivo y producción en 1998.

Estado	Número	Superficie (Ha)	Producción
Litoral del Pacífico	239	17,334	22,827
Baja California	1	25	30
Baja California Sur	1	9	57
Sonora	33	4,411	6,934
Sinaloa	119	10,887	13,484
Nayarit	75	1,753	2,140
Colima	5	33	45
Guerrero	1	2	-
Chiapas	4	214	138
Litoral Golfo de México	14	411	922
Tamaulipas	10	354	224
Veracruz	1	2	-
Tabasco	1	6	-
Campeche	1	3	8
Yucatán	1	46	689
Total	253	17,746	23,749

Fuente: Anuario Estadístico de Pesca, 1998 (SEMARNAP).

La etapa larvaria tiene una duración total de 2 ó 3 semanas según la especie y las condiciones ecológicas en donde se desarrollan; las larvas van cambiando sus hábitos alimenticios, así los nauplios se alimentan del vitelo proveniente del huevo, las protozoas se alimentan con fitoplancton y las larvas mysis con zooplancton al igual que las postlarvas.

Al llegar al estado de postlarva, presentan las características morfológicas típicas de un camarón adulto, a excepción de los caracteres sexuales secundarios y un menor número y tamaño de branquias. Las corrientes marinas las van aproximando a la costa, encontrándose listas para penetrar a las lagunas costeras o esteros, donde se desarrollan rápidamente, ya que encuentran una mayor disponibilidad de alimento, salinidad adecuada, temperaturas más elevadas y protección contra los depredadores. Existe una gran mortalidad natural en este lapso, sin embargo, estos organismos están dotados de un gran potencial reproductivo, el cual asegura la supervivencia de la especie (Anónimo, 1988 a; Torres, 1991).

Las postlarvas ingresan a los esteros con una talla aproximada de 7 mm, concentrándose en áreas marginales y someras, donde hay vegetación y detritos abundantes. El tamaño en el cual el camarón juvenil deja el estuario es variable, reportándose para *F. aztecus* una talla entre 100 y 105 mm (Joyce, 1965).

La distribución de las especies en las zonas estuarinas depende de varios factores, entre ellos se puede mencionar: la naturaleza del fondo, la turbiedad, la salinidad, la temperatura y el alimento. La disponibilidad de alimento es de primordial importancia y por lo general éstas áreas son muy productivas. El camarón en su estado natural aprovecha todo tipo de alimento disponible en el fondo, incluyendo detritos, algas y microorganismos.

Por lo general se distribuyen en suelos blandos, fangosos, los cuales en ocasiones le sirve de

DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES MODELOS DE PRODUCCIÓN

protección contra los depredadores.

Los camarones en los estuarios tienen un rápido crecimiento sobre todo en las primeras etapas de su desarrollo. Un aspecto importante que es característico, es que para crecer requieren mudar de caparazón, a este proceso se le llama ecdisis y está controlado por procesos hormonales. A medida que se desarrolla el camarón, la periodicidad de las mudas es menor y la misma está también influenciada por factores ambientales. Durante el periodo de muda el camarón se hace vulnerable.

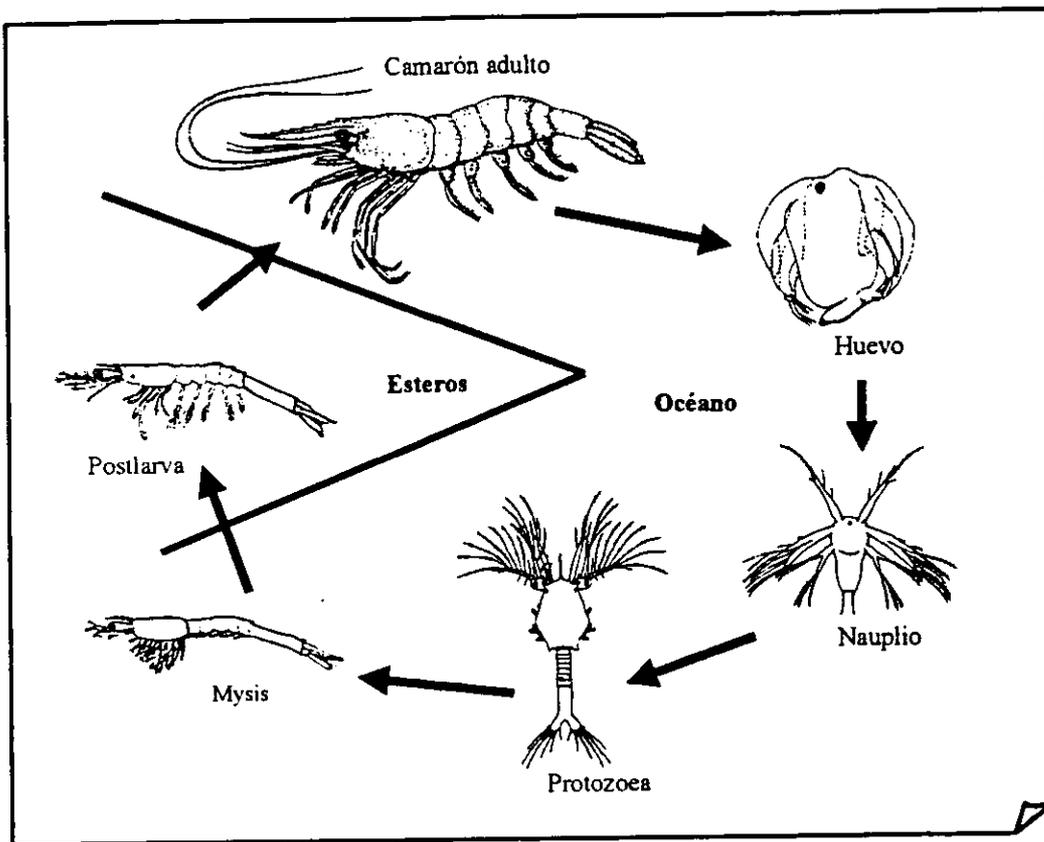


Figura 17. Ciclo biológico del camarón.

Existen evidencias de que la salinidad juega un papel determinante en la distribución de las especies. Así *Farfantepenaeus occidentalis* se encuentra generalmente en áreas de mayor salinidad cercanas a donde se conecta el estero con el mar. *Litopenaeus stylirostris* se considera intermedio y *L. vannamei* es la especie que incluso se encuentra en pequeños esteros, constituyendo la especie de mayor capacidad de migración ya que tolera aguas dulces.

La permanencia de los camarones en las áreas estuarinas es de 3 a 4 meses según las especies y las condiciones ecológicas. Después de este periodo y al alcanzar una talla entre 10 a 13 cm inician una migración contraria, es decir, hacia aguas marinas donde alcanzan la madurez sexual, cerrando así el ciclo (Anónimo, 1988 a) (Figura 17).

Factores ambientales.

Los factores fisicoquímicos que determinan la calidad de agua apropiada para el cultivo de camarones peneidos básicamente son: la temperatura del agua, la salinidad, la concentración de oxígeno disuelto, la transparencia del agua, el pH y el amonio no-ionizado (NH_3).

La calidad del agua es un elemento importante en el cultivo de la mayoría de las especies acuáticas, ya que el estanque es considerado como un cuerpo de agua artificial en donde se introducen las postlarvas para disminuir su mortalidad e incrementar el crecimiento; pero en realidad cada estanque es un ecosistema totalmente diferente en cuanto a sus parámetros abióticos y bióticos. Dos estanques pueden presentar las mismas características pero nunca serán iguales ya que cada uno responde de distinta forma a los factores fisicoquímicos, biológicos y meteorológicos que influyen en la buena o mala producción del camarón.

Cualquier característica del agua que afecte la supervivencia, el crecimiento y la producción en cualquier forma, es una variable de la calidad de agua. Algunas de estas variables juegan un papel importante y pueden ser controladas en algún grado por técnicas apropiadas de manejo (Anónimo, 1988 a). En la tabla 11 se resumen las condiciones óptimas y críticas de los parámetros fisicoquímicos del agua para el cultivo del camarón, con especial énfasis en el camarón blanco (*L. vannamei*).

El agua dulce y marina que se emplea en esta actividad debe estar libre de contaminantes agrícolas, industriales o urbanos, ya que éstos pueden causar problemas serios de mortalidad y afectar los cultivos (Rodríguez de la Cruz, 1988).

De los datos recabados en 1990, en más de 70 granjas camaroneras en el estado de Sinaloa, se encontró que los promedios de temperatura en los tres modelos de producción (extensivo, semi intensivo e intensivo) fluctuaron de 24 a 25 °C; la salinidad de 25 a 31 ‰, el oxígeno disuelto de 4 a 5.8 mg/l; pH de 7.6 a 8.8 y la transparencia por disco de Secchi de 34 a 48 cm (FAO, 1991).

A continuación se mencionan por separado cada uno de los parámetros fisicoquímicos.

Tabla 11. Condiciones óptimas y críticas para el cultivo del camarón.

Parámetros fisicoquímicos	Intervalo óptimo	Intervalo crítico
Temperatura °C	25 a 30	<10 y >34
Salinidad (‰)	15 a 25	<5 y >40
pH	7.2 a 8.2	<5 y >10
Oxígeno disuelto (mg/l)	3 a 5	<2
Amonio no-ionizado NH_3 (mg/l)	0 a 0.20	>0.25

1. Temperatura.

El camarón es un animal poiquiloterma, y por lo tanto, la temperatura del agua influye de modo directo sobre su metabolismo. A elevadas temperaturas se incrementa la tasa de alimentación y el crecimiento; aunque pueden tolerar temperaturas entre 10 y 34 °C, su

intervalo óptimo oscila entre 25 y 30 °C. Por arriba de 30 y por debajo de 5 °C durante periodos prolongados, estas temperaturas son letales y periodos largos por debajo de los 18 °C y mayores de 32 °C, disminuyen considerablemente el crecimiento.

En la Unidad Experimental de Puerto Peñasco en Sonora, en los tanques de maternidad se mantiene la temperatura a 28 °C, y debido a que el volumen de agua empleado en esta etapa es bajo, pueden utilizarse intercambiadores de calor para mantener la temperatura a estos niveles aún en los meses más fríos del año (Rodríguez y Reprieto, 1984).

2. Oxígeno disuelto (O.D.).

Es uno de los parámetros más importantes en la cría de camarones; el grado de solubilidad de este elemento es una variable que depende de la temperatura del agua, la salinidad y la materia orgánica e inorgánica (contenida en la columna de agua del estanque), así como del ritmo de producción y del consumo característico de cada ecosistema. En un sistema de cultivo balanceado se tiene una mayor producción de oxígeno disuelto generado por los organismos fotosintéticos (fitoplancton), que el utilizado por los organismos en confinamiento, o de lo contrario, el agotamiento de oxígeno disuelto tendrá lugar. En presencia de macronutrientes en las estanques de cultivo, la luz se constituye en el factor primario que regula la actividad fotosintética.

Las concentraciones bajas en el contenido de O.D. ocurren particularmente durante la madrugada, aumentando la disponibilidad de este gas durante las horas del día, llegando al máximo en horas de la tarde, para decrecer durante la noche. Los camarones, necesitan concentraciones adecuadas para sobrevivir y crecer. La concentración mínima de O.D. tolerada por un camarón varía con la talla y tiempo de exposición (Anónimo, 1988 a).

Las concentraciones de 5 a 6 mg/l se consideran como el nivel aceptable para el cultivo; se debe evitar que descendan de ese nivel ya que a bajas concentraciones, como 3 mg/l, se llega a un punto crítico en el que empiezan a producirse mortalidades por falta de oxígeno disuelto en el agua. La sensibilidad a las concentraciones bajas de oxígeno difieren entre las diferentes especies y las etapas de su ciclo de vida (huevos, larvas, postlarvas y adultos) y entre los procesos metabólicos tales como la alimentación, el crecimiento y la reproducción.

En la Unidad Experimental de Puerto Peñasco, Sonora, la concentración de oxígeno disuelto se mantiene entre 5 y 6 mg/l mediante aireación e inyección del agua en los estanques de maternidad. En las acuaceldas de pre-engorde y engorde este nivel se mantiene con el uso del sistema de recirculación y distribución del agua. Para incrementar el contenido de este gas en los estanques generalmente se usan aireadores de paleta de diferente capacidad (Rodríguez y Reprieto, 1984).

3. Salinidad.

La salinidad es la cantidad de sales disueltas en el agua de mar. Se expresa en gramos de sales en un kilogramo de agua en partes por mil. La salinidad del agua de mar se debe a un numeroso conjunto de sales inorgánicas muy variadas, que se encuentran disociadas en sus

respectivos iones. El camarón es un organismo eurihalino, soporta amplios cambios de salinidad, su crecimiento continúa aún en intervalos de 10 a 40 ‰. No obstante, se reporta que con salinidades entre 15 a 25 ‰ se alcanzan mejores resultados en cuanto a las tasas de supervivencia y crecimiento.

Los camarones blancos soportan mejor las variaciones de salinidad, sin embargo, es necesario aclarar que el camarón azul (*L. stylirostris*), tolera salinidades hasta de 40 ‰, aunque su intervalo óptimo se establece entre 20 y 32 ‰. Mientras que el camarón blanco (*L. vannamei*) tolera salinidades por debajo de 15 ‰ y se ha reportado que aún pueden permanecer durante largos periodos de tiempo en agua dulce. Por otro lado los camarones cafés son menos tolerantes a la variación de este factor.

4. pH.

Es una medida de la concentración de iones de hidrógeno e indica si el agua es ácida o básica. El intervalo óptimo para el camarón fluctúa de 7.2 a 8.2 unidades, esto no significa que valores menores o mayores pueden llegar a ser letales en un estanque, sin embargo, un aumento considerable en el pH puede provocar un desequilibrio en los niveles de amonio no ionizado lo cual es perjudicial para los organismos bajo cultivo ya que afecta las branquias de los camarones y provoca la muerte.

5. Amonio no ionizado.

Es uno de los principales productos de excreción del camarón y el amonio no ionizado (NH_3) es tóxico para los crustáceos, así como para la mayoría de los organismos acuáticos, aún en pequeñas concentraciones (Alcaráz, 1993). Algunos camarones sometidos a concentraciones de 0.22 mg/l por periodos largos (tres semanas) fueron afectados hasta un 50% en su tasa de crecimiento (Wickins, 1985), razón por la cual es importante vigilar que los niveles en la concentración de amonio no ionizado no excedan este límite.

Tecnologías de cultivo.

Los sistemas de cultivo que se practican en México corresponden a diferentes niveles de intensidad y se agrupan en cuatro tipos: extensivo, semi intensivo, intensivo e hiperintensivo (Tabla 12), cuya diferencia estriba principalmente en el tamaño del área empleada, la densidad de siembra, el costo de operación, la calidad y cantidad de alimento y los rendimientos acuícolas obtenidos (Arredondo, 1990 a).

A continuación se hace una descripción de estos modelos tomando como base el estudio realizado por FAO (1991).

El estudio de más de 70 granjas en el estado de Sinaloa, realizado por la FAO (Food and Agriculture Organization), PNUD (Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo) y la entonces Secretaría de Pesca (ahora SEMARNAP) en 1990, mostró que por lo general se manejan tres niveles de intensidad en ese estado, que son representativos a escala nacional y que son: a) extensivo, b) semi intensivo y c) intensivo. No obstante, el DICTUS

(Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora), desde 1973 ha desarrollado un modelo conocido como "hiperintensivo" y que Lumare (1988), lo destaca como un modelo en donde la densidad por hectárea fluctúa entre 2 y 6 millones de organismos, con un 300% de recambio de agua diario, un uso intensivo de alimento balanceado, el uso de estanques pequeños y con producciones que alcanzan entre las 10 y 112 toneladas por hectárea, y que es actualmente practicado en países tales como Japón y los EUA (Hawaii).

Tabla 12. Indicadores de los diferentes niveles tecnológicos utilizados en México para el cultivo de camarón.

Indicador	Extensivo	Semi intensivo	Intensivo	Hiperintensivo*
Densidad (org./ha)	1,000-2,000	20,000-50,000	50,000-250,000	2,000,000-6,000,000
Modalidad de recambio de agua	Marea + bombeo	Marea + bombeo	Marea + bombeo + aireación	Bombeo + aireación
% de recambio al día	0.1-5	5-10	50	300
Estrategias de alimentación	de Productividad natural y ocasionalmente alimento balanceado	Fertilización (integrando alimento fresco o artificial)	Balanceado	Balanceado con altos niveles de proteína
Area productiva (ha)	1.5 a 300	5 a 100	0.3 a 5	0.1 a 0.3
Producción kg/ha/año	80-400	400-5,000	5,000-10,000	10,000-30,000 56,000-112,000*

(*) DICTUS (Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora).
Fuente: Adaptado de Lumare (1988).

1. Extensivo.

Entre los modelos de cultivo este es el más sencillo, la mayoría de las granjas que lo practican adquieren las postlarvas del medio natural, ya sea por captura o compra en las épocas de reclutamiento masivo. Generalmente, prefieren las postlarvas de camarón blanco (*L. vannamei*), las cuales son capturadas entre los meses de Julio y Agosto (bajo circunstancias normales)*, cuando esta especie es predominante y transportadas a las granjas, en donde sólo en casos esporádicos son aclimatadas en promedio por 15 minutos antes de ser introducidas a los estanques, a una densidad que fluctúa entre 1.7 a 16.4 organismos/m², con un promedio general de 4, una supervivencia del 57% y un incremento en peso g/semana de 0.55. Las 24 granjas evaluadas que practican este modelo abarcaban una superficie de 2,055 hectáreas, por lo que sus requerimientos anuales de postlarvas son del orden de 82 millones para obtener una cosecha anual. El peso promedio de la postlarva es de 0.37 g, con una duración del ciclo de cultivo de 155 días, tiempo que permite obtener camarones con un peso promedio final de 13.5 g, el cual es vendido entero en el mercado nacional. Los rendimientos promedio fluctuaron entre 13 y 500 kg/ha, con una media de 157.

En este modelo no se aplican tecnologías sofisticadas durante el proceso productivo, no se requiere adicionar alimento ya que se aprovecha la productividad natural de las aguas. Se realiza en estanques o encierros con grandes extensiones de agua, oscilando entre 1.5 hasta

* Se refiere a los cambios que se presentan bajo condiciones del fenómeno conocido como "El niño".

284 hectáreas en zonas costeras, de manera que el agua pueda penetrar durante las mareas altas. Cuando esto no es posible, se emplean bombas, para asegurar el recambio de agua (Juárez y Palomo, 1985 y Rodríguez de la Cruz, 1988).

Por lo general, la infraestructura es simple y consiste en la construcción de un bordo perimetral y una estructura para colocar de una a dos bombas de 24 a 30" de diámetro cada una. Los costos de construcción en estos estanques se reducen al aprovechar la topografía del terreno. En algunos casos, como en la Cooperativa "Laguna del Chonte", se construyen canales interiores para favorecer el drenaje y desalojo del agua durante la cosecha. No se utilizan equipos para el registro de los parámetros fisicoquímicos u otro equipo de laboratorio (Arredondo, 1990 a).

Un estanque bien preparado en principio debe estar completamente seco antes de llenarse para asegurar la ausencia de organismos depredadores y vegetación excesiva que pueda ocasionar problemas con el manejo del estanque durante la cosecha final.

Es importante considerar un programa de fertilización para este sistema de cultivo, utilizando fertilizantes orgánicos e inorgánicos, siendo los primeros los más recomendables por ser de bajo costo y buena calidad (estiércol de gallina, cerdo y ganado vacuno). Se aconseja utilizar entre 200 y 450 kg/ha, dependiendo de la densidad de la siembra y de la productividad natural del estanque (Rodríguez de la Cruz, 1988).

En ocasiones se aplican pequeñas cantidades de alimentos balanceados pocos días antes de la cosecha (Arredondo, 1990 a).

El número de organismos a sembrar varía dependiendo de la especie y del dominio tecnológico del acuicultor. Los acuicultores mexicanos recomiendan manejar una densidad de 1 a 2 juveniles por metro cuadrado. Los juveniles se introducen con un peso mayor de 1 gramo y se requiere que estos hallan sido mantenidos con anterioridad en viveros o estanques de pre-engorde durante un periodo de aproximadamente 30 días para alcanzar este peso.

La cosecha se realiza una vez que los camarones han alcanzado la talla deseada, y se ha constatado la dureza de su caparazón, ya que no es recomendable cosechar durante la muda e inmediatamente después de esta, porque el caparazón está blando y esto reduce la calidad del producto (Rodríguez de la Cruz, 1988).

Ejemplos de estos modelos de producción se practican en la granja "El Patague", con una estanquería de 184 ha y la granja "Laguna del Chonte", con un estanque de 70 ha, un vivero de 1.2 ha y otro adicional de 6.5 ha en el estado de Sinaloa.

2. Semi intensivo.

Se desarrolló en México por primera vez en 1972 en Ensenada de los Carros, Municipio de Villa Unión, Sinaloa siendo la primera construcción diseñada para el cultivo semi intensivo en el país, desgraciadamente el programa fue interrumpido y la obra quedó inconclusa,

terminándose y operando hasta 8 años después.

Posteriormente, se construyó el primer estanque experimental en San Blas, Nayarit, sirviendo esto como base para la construcción de las primeras granjas comerciales, obteniéndose así las primeras cosechas de este crustáceo.

Es, sin embargo, en el Estado de Sinaloa donde verdaderamente se dio auge a esta actividad, la que se consolidó técnicamente con la construcción y operación de la granja "Las Grullas" en 1985, bajo la dirección de un técnico Panameño, quien a su vez preparó a un grupo de profesionales mexicanos, y con esto se inició la construcción de nuevas granjas, teniendo como base los conceptos originales desarrollados en esta granja.

En este sistema se reconocen dos fases; la de pre-engorde y la de engorde. En la primera, la aclimatación de las postlarvas es importante y se lleva a cabo dependiendo de su origen (si son silvestres o de laboratorio), los tiempos de aclimatación fluctúan desde 3 minutos hasta más de dos horas, con el objeto de evitar el estrés provocado por el cambio brusco de salinidad y temperatura, lo que puede ocasionar una elevada mortalidad antes de ser introducidas al estanque. Generalmente en los viveros se maneja una densidad que varía entre 30 a 400 organismos/m², con un promedio de 145. El peso promedio de la postlarva es de 0.085 g, con una duración promedio del ciclo de pre-engorde de 45 días, lo que permite obtener camarones con un peso promedio final de 1.7 g, los cuales están listos para ser introducidos en los estanques de engorde.

La alimentación balanceada se suministra en forma diaria variando del 3 al 29% de la biomasa total y se aplica al inicio del cultivo fertilización química y después una vez cada semana, se agrega urea y superfosfato triple, en una relación 6:1.

La segunda fase se inicia con la transferencia de los juveniles de los estanques de pre-engorde a los de engorde, los cuales se aclimatan durante un tiempo que varía desde los 50 minutos hasta las seis horas dependiendo de las condiciones de calidad de agua de los estanques. La densidad del estanque de engorde varía desde 0.4 hasta 40 organismos/m², con un promedio de 4, una supervivencia del 58% y un incremento en peso semanal de 0.78 g. Las 44 granjas evaluadas abarcan una superficie de 2,410 hectáreas y requerían en ese entonces de 96 millones de postlarvas para obtener una cosecha. Cuando se realiza la siembra directa en el estanque de engorde, el peso promedio de las postlarvas introducidas es de 0.42 g y de 1.7 g cuando provienen de viveros. La duración del ciclo de cultivo es de 147 días, lo que permite obtener camarones con un peso promedio final de 16.2 g. El rendimiento promedio en ese año fue de 318 kg/ha, aunque actualmente se han incrementado notablemente los rendimientos (hasta más de una tonelada por hectárea).

Esta tecnología se caracteriza por el empleo de estanques de diferentes dimensiones, generalmente entre 5 y 15 ha, considerando la utilización de fertilizantes (orgánicos e inorgánicos), alimentación suplementaria y recambio de agua. Arredondo (1990 a) reporta un incremento del rendimiento de un promedio de 341 kg/ha/año registrado en 1987 a 500 kg/ha/año en 1988, alcanzando en 1990 un intervalo de 363 a 850 kg/ha por ciclo de cultivo obteniéndose dos cosechas por año.

En la Unidad Experimental del DICTUS en Puerto Peñasco, Sonora el modelo semi intensivo ha sido utilizado y opera fusionando la maternidad con técnicas de producción de postlarvas en el laboratorio, y el pre-engorde en viveros, que son características del sistema intensivo, con el engorde en estanquería utilizada en el sistema extensivo del cultivo de camarón. Esta variante de los dos cultivos ha dado buenos resultados, obteniéndose hasta un kg/m^2 de camarón en un periodo de 23 semanas de engorde (Rodríguez y Reprieto, 1984).

3. Intensivo.

Este cultivo es muy reciente, aunque ha sido utilizado en México desde Junio de 1978 en la Unidad Experimental de Puerto Peñasco, Sonora con el camarón azul *Litopenaeus stylirostris*.

En el caso de Sinaloa, en 1990 operaban tan sólo dos granjas con esta tecnología, que adquirían sus postlarvas del medio natural, ya sea por captura o compra. Las postlarvas se aclimatan en términos promedios de una hasta diez horas, dependiendo de las condiciones de la calidad del agua de los estanques (básicamente de la salinidad). Se introducen a una densidad que fluctúa entre 21 y 58 organismos/ m^2 , con un promedio de 39, con una supervivencia del 34%, alcanzando un crecimiento en peso de 0.7 g a la semana. El tamaño de los estanques es variable y generalmente se utilizan estanques pequeños de 1 a 2 hectáreas.

Rodríguez de la Cruz (1988), reporta dos variantes para este sistema de cultivo, la primera consiste en la obtención de hembras grávidas en alta mar, desovándolas en el barco o en el laboratorio, y la segunda contempla la maduración, reproducción y desove de camarones que han estado en cautiverio, lo que brinda además la posibilidad de selección genética y mejoramiento de especies.

La infraestructura en general se construye en espacios reducidos, con un flujo elevado de agua y altas tasas de siembra. Este tipo de cultivo esta basado principalmente en la alimentación artificial aplicada en forma frecuente. Las inversiones y los costos de operación son elevados, sin embargo se compensan con los altos ingresos que se obtienen de la producción (Arredondo, 1990 a).

En los países asiáticos y en algunos europeos, se utilizan estanques pequeños desde 0.3 a 5 hectáreas y se aprovecha el flujo de mareas para el recambio de agua, el alimento utilizado es un balanceado industrializado con altos contenidos proteicos, suministrados en 6 u 8 raciones al día, las densidades de siembra varían entre 50,000 y 250,000 organismos por hectárea, de la que puede obtenerse un rendimiento entre 5 y 10 toneladas al año (Lumare, 1988).

4. Hiperintensivo

Este sistema fue desarrollado en 1973 en el Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora (DICTUS). Se caracteriza porque se ejerce un control total en cada una de las fases de producción, ya que se procura mantener los niveles óptimos de calidad del agua, alimentación, densidades y prevención de enfermedades contagiosas. Requiere de una fuerte inversión, los riesgos son elevados, pero su productividad es alta, lo que permite recuperar la inversión en un corto plazo, siempre y cuando no se presenten problemas de índole técnico y de enfermedades.

Se utilizan pequeñas superficies de terreno (0.03 y 1 hectárea) y un laboratorio, que asegure la producción constante de postlarvas.

El manejo de postlarvas está considerado en dos fases: la primera contempla la reproducción y producción de las mismas y la segunda el pre-engorde y engorde de las mismas.

La primera etapa comprende la captura de reproductores provenientes de altamar o bien el acondicionamiento de los primeros en estanques de concreto de 66 m³, que tienen una altura de 30 cm y un flujo continuo de recambio del 300 al 700% diario. En estas instalaciones los reproductores se almacenan a una densidad de 6 organismos por metro cuadrado y a una proporción de sexos 1 a 1. Constantemente se lleva a cabo una revisión para seleccionar las hembras fecundadas (o parchadas), las que son trasladadas a los estanques de desove o a la sección encargada de obtener las postlarvas.

La fase de maternidad dura de 21 a 22 días y se lleva a cabo en un sistema abierto de estanques, con capacidad de 3,000 litros, temperatura de 28 °C y una alimentación a base de microalgas y posteriormente nauplios de *Artemia*. Al final de esta etapa las postlarvas alcanzan un peso de 0.1 a 0.2 gramos.

La fase de pre-engorde dura 7 semanas aproximadamente realizándose en estanques de corriente rápida que tienen una superficie de 75 metros cuadrados, con 60 cm de profundidad. La alimentación consiste en un balanceado suministrado cada 24 horas. Los organismos al terminar esta etapa logran un peso de 1.4 gramos (Arredondo, 1990 a).

Por último, la fase de engorde dura 126 días. Se realiza en estanques de corriente rápida de 204 metros cuadrados de superficie. Colocándose de 450 a 500 organismos por metro cuadrado, logrando un peso al final de ésta de 17 a 18 gramos. Con esta técnica se pueden obtener de 5 a 6 kg/m² de camarón con cabeza de diferentes tallas y se pueden realizar de 3 a 4 cosechas parciales y una final en el lapso de 19 semanas (Rodríguez y Reprieto, 1981).

Esta biotecnología, tiene más de 20 años de experiencia en nuestro país con el cultivo del camarón azul *Litopenaeus stylirostris* y en 1990 operaba solamente una granja comercial, BIOTECMAR "El Cochorit", en el municipio de Empalme, Sonora.

Las alternativas de este sistema son buenas, sobre todo en aquellas regiones en donde no se pueden utilizar otras tecnologías debido a sus limitaciones fisicogeográficas.

Laboratorios productores de postlarvas.

Los laboratorios operan con distintas tecnologías, que generalmente han sido importadas de otros países y adaptadas a las condiciones locales de nuestro país.

Los primeros intentos para desovar hembras de camarones peneidos en cautiverio fueron realizados por Fujinaga en 1934, utilizando como especie experimental a *Penaeus japonicus* (Hudinaga, 1942) y no fue sino hasta 1970, cuando se obtuvo la maduración en laboratorio de hembras ablacionadas de *F. duorarum* y no-ablacionadas de *P. latisulcatus* (Shokita, 1970; Primavera, 1984).

Desde 1970 hasta la fecha cerca de 23 especies de peneidos han sido madurados y 14 desovados con éxito; 17 de ellos pertenecen al grupo de especies de telicum cerrado, destacando las especies del género *Farfantepenaeus* (Primavera, 1984).

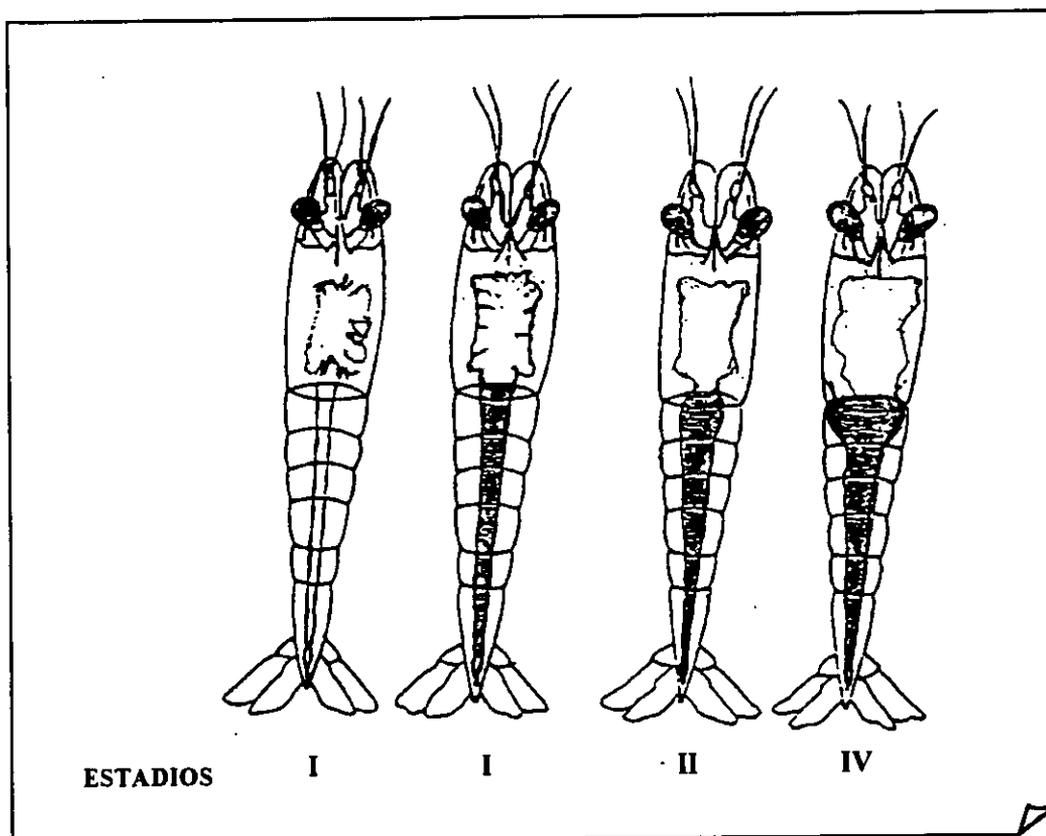


Figura 18. Diferentes estadios de desarrollo de los ovarios de los camarones peneidos.

Los estudios sobre reproducción se han enfocado principalmente a la maduración de las

hembras, tratando de clasificar los ovarios *in vivo* y describiendo el desarrollo de los ovocitos y las células foliculares. Los trabajos se han centrado en brindar a las hembras tres requerimientos básicos: a) el sistema endocrino, b) el nutricional y c) el medio ambiente. En el primero las investigaciones se han enfocado al estudio de las hormonas responsables de la reproducción, cortando los ojos pedunculados donde se localiza el órgano x que regula este proceso (a esta técnica se le conoce como ablación). En el segundo se procura brindar todos los requerimientos nutricionales de las especies, especialmente los ácidos grasos de la serie W3 y W6 y en el tercero se trata de incidir sobre algunos factores fisicoquímicos como el fotoperiodo, temperatura del agua, salinidad y pH (Adiyodi y Adiyodi, 1970).

Existen diferentes técnicas para el cultivo de postlarvas en el laboratorio, que se han practicado en los últimos años y que cubren diferentes etapas del proceso tales como: a) la maduración gonádica y cópula, b) el desove, c) la eclosión y d) la cría larvaria. Básicamente existen tres modelos para obtener la reproducción en condiciones controladas. El primero es el tradicional y consiste en la captura de reproductores en alta mar, seleccionándolos basándose en el estado de desarrollo de los ovarios (estadio IV, Figura 18) y a la presencia del espermatóforo pegado al telicum (lo que se le conoce como hembras parchadas), la ventaja que tiene este sistema es que durante ciertas temporadas es posible capturar un gran número de reproductores. El segundo consiste en la captura de hembras adultas en diferentes estados de desarrollo ovogénico, que requieren de un periodo previo de acondicionamiento antes de la maduración sexual y el tercero es la posibilidad de utilizar reproductores en el cuarto estadio de desarrollo gonádico y fecundados, provenientes de los estanques de engorde de las granjas (Figura 19).

En el sistema tradicional desarrollado en Japón, las hembras maduras son capturadas de Abril a Julio, y son transferidas a grandes estanques de concreto de 50 a 200 m² donde la temperatura alcanza valores entre 26 y 28 °C con respecto a la del medio ambiente que es de 18 a 22 °C. Este estímulo térmico es suficiente para lograr la emisión de los huevos durante la primera y segunda noche después de la captura. En términos generales un estanque de 300 m³ puede contener hasta 300 reproductores de los cuales entre el 30 al 50% se reproducen. Cada hembra produce en promedio 400,000 huevos de los que cerca del 50% eclosionan.

En el Sudeste Asiático la reproducción de hembras *Penaeus monodon*, es estimulada con cambios térmicos y en otros casos se recurre a la ablación unilateral del pedúnculo ocular. Existen problemas con ejemplares crecidos en cautividad en cuanto a la calidad de los huevos, el número y el porcentaje de eclosión. Sin embargo, en la naturaleza las hembras maduran perfectamente y llegan a alcanzar un precio elevado en el mercado. Cuando las hembras están a punto de desovar, son transferidas individualmente a un estanque redondo de fibra de vidrio de 200 litros, donde se mantienen hasta la emisión de los huevos, con un porcentaje de eclosión del 30% de larvas nauplios.

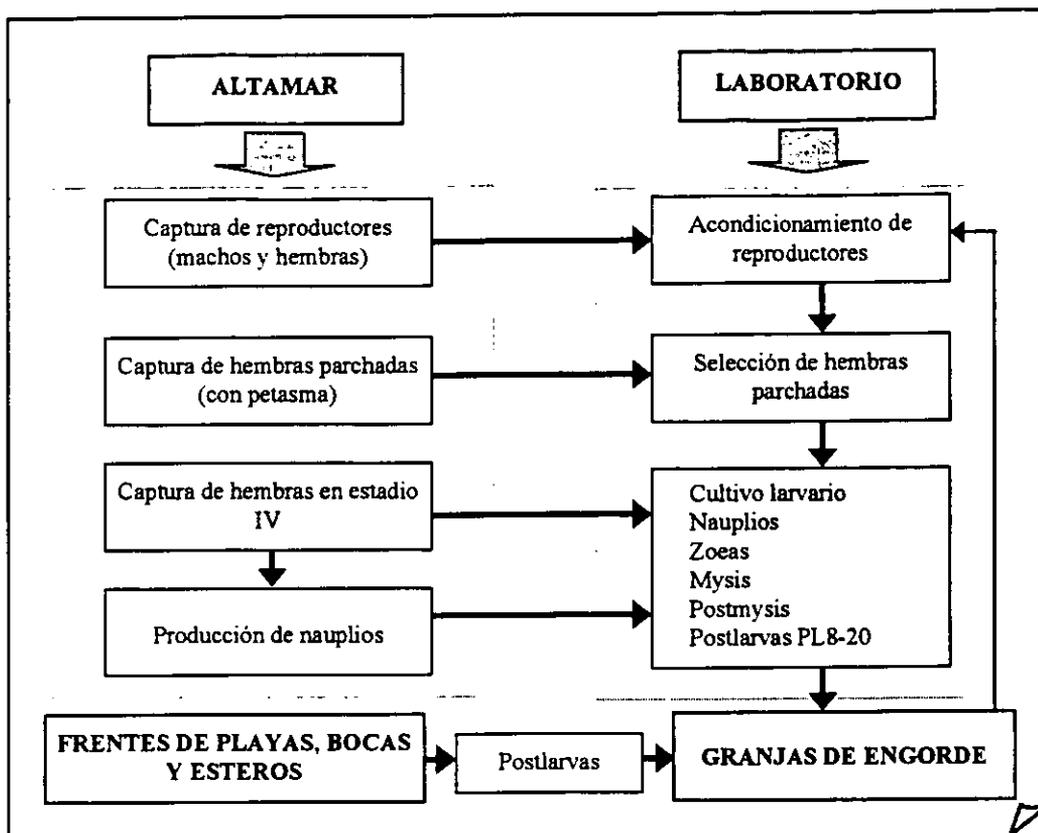


Figura 19. Origen de las hembras de camarones peneidos en los diferentes sistemas de cultivo.

Litopenaeus vannamei y *L. stylirostris*, especies que se cultivan en Centro y Sudamérica son reproducidas en cautividad, la segunda especie, prácticamente no requiere ninguna manipulación mientras que la primera requiere de la ablación del pedúnculo ocular (Figura 20) sobre todo en cierta época. Estas dos especies producen de 50,000 a 250,000 huevos por emisión de los cuales del 21 al 80% eclosionan (Chamberlain y Gervais, 1984 y Arellano, 1985).

En la tabla 13 se presenta un resumen de las técnicas de reproducción que se utilizan a escala mundial.

El proceso de producción de postlarvas representa una de las fases más delicadas del ciclo biológico del camarón, ya que requiere de conocimientos técnicos y biológicos y un perfecto sincronismo entre las líneas de producción de los cultivos de apoyo como son las microalgas, rotíferos y *Artemia*; una planificación de las acciones de prevención de enfermedades, el pretratamiento del agua y la preparación de alimentos frescos y artificiales. El éxito final depende en última instancia de una correcta coordinación de los diferentes elementos técnicos.

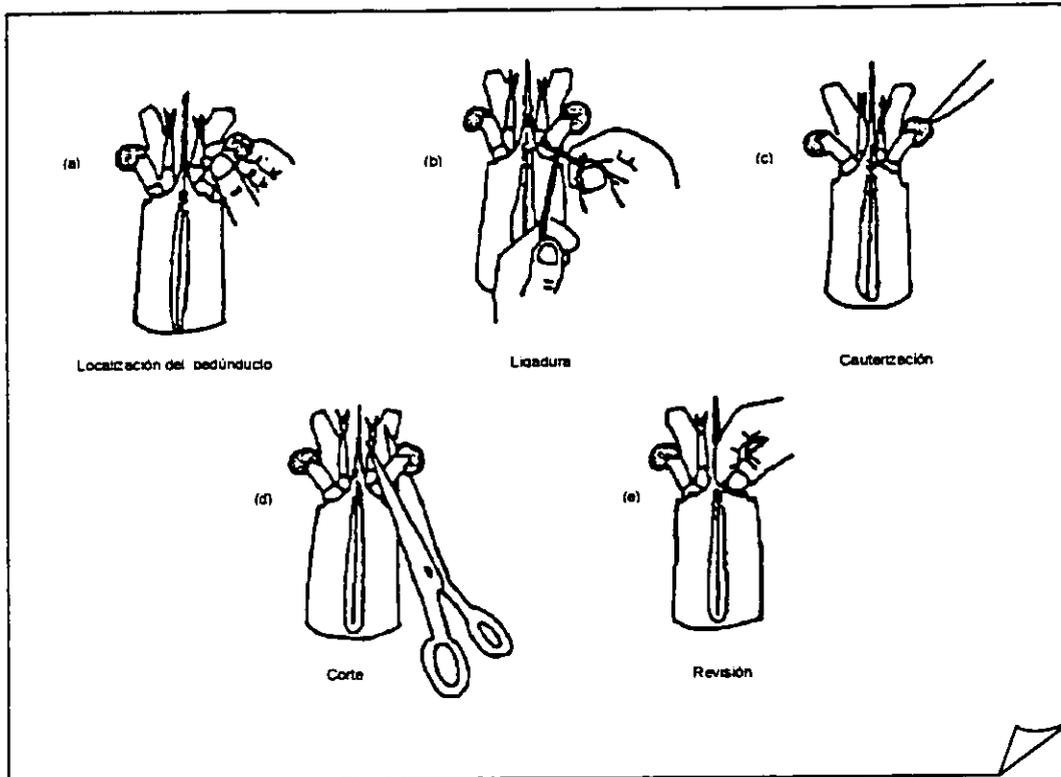


Figura 20. Procedimiento de la técnica de ablación (Lumare, 1988).

Existen diferentes sistemas para la producción de postlarvas, así por ejemplo en el sistema japonés se cuida con especial atención la densidad de las nauplios de *Artemia* (20 a 25 nauplios/litro), se utilizan grandes volúmenes de agua (estanques de concreto de 50 a 300 m³) y su ciclo de cosecha larvaria es hasta la postlarva PL18-30 con un tiempo de duración de 30 a 40 días. Anteriormente se agregaban fertilizantes directamente en los estanques tales como el nitrato de potasio (2 mg/l) y el fosfato de potasio (0.2 mg/l), con el objeto de favorecer el crecimiento del fitoplancton y zooplancton. Actualmente se prefiere realizar los cultivos en forma independiente y suministrar los fertilizantes en función de las necesidades, con el objeto de ejercer un control más efectivo de la calidad del agua.

Tabla 13. Técnicas de reproducción que se utilizan en el ámbito mundial.

Especte	Sitio	Tipo de tratamiento	Material de los estanques	Forma/ dimensiones de los estanques (m)	Volumen (m ³)	Hembras por ciclo (%)	Número de huevos	Super-vivencia (%)
<i>P. japonicus</i>	Japón	Estimulación térmica	Concreto	Cuadrado-rectangular (10x10x2) (10x5x2))	50-200	30-50	400,000	50
<i>P. monodon</i>	Sudeste Asia	Estimulación térmica	Fibra de vidrio	Circular (0.7)	0.2-0.4	100	1,000,000	30-60
<i>P. orientalis</i>	Asia							
<i>P. semisulcatus</i>	Kuwait	Estimulación térmica	Concreto	Cuadrado-rectangular (20x8.9x1.6) (30x10x1.8)	15-530	43-90	186,486 (a)	S.I.*
<i>F. astecus</i>	América	Estimulación térmica	Concreto	Circular (1.8-2)	2-15	50	71,000	72.8
<i>F. duorarum</i>	América	Ablación y no-ablación	Fibra de vidrio	Ovaldas o redondas	20		231,000	
<i>L. setiferus</i>	América			Cuadrangular (5x2x2)			309,000	
<i>L. stylirostris</i>	América							
<i>L. vannamei</i>	América	Ablación y no-ablación	Metal	Circular (0.6-3.7)	0.5-3.7	100	100,000	45-80
<i>L. stylirostris</i>	América		Plástico				200,000	
<i>P. japonicus</i>	Brasil	Acondicionamiento, alimentación y baja densidad	Concreto	Circular (5) Cuadrangular (4x4x1)	16-20	50-70	100,00	50
<i>P. japonicus</i>	Francia	Acondicionamiento, fotoperiodo y control ambiental	Plástico	Cónico (0.7-1.82)	0.5-2	S.I.*	15,000	98
<i>P. japonicus</i>	Italia	Acondicionamiento y control ambiental	Concreto	Cuadrangular (2x2x1)	4.7-5	99	21,500	15-20

Fuente: Lumare, (1988).

* S.I.= Sin información

El otro modelo es conocido como Galveston, se basa en la utilización de pequeños volúmenes de agua (1 a 10 m³), en estanques cónicos de fibra de vidrio, con una alta densidad de nauplios de 100 a 200 por litro y con un breve ciclo de cultivo de 10 a 15 días hasta PL1-5, en este caso el fitoplancton y el zooplancton son cultivados en forma independiente y agregados de acuerdo a las necesidades.

En América central la mayoría de las postlarvas utilizadas en los estanques de engorde son capturadas en el medio natural, por ejemplo en Ecuador en 1983, se capturaron de 2 a 3 mil millones de postlarvas que sostuvieron una producción de 31,000 toneladas de producto comercial y actualmente los requerimientos son de aproximadamente de 6,000 millones. En Panamá en 1981 se inició la reproducción de *L. vannamei* y *L. stylirostris*, y un laboratorio comercial logró la producción de 8 millones de postlarvas al mes y a partir de esa fecha se construyeron otros laboratorios. En Brasil la fase larvaria hasta PL8-10 se realiza en estanques de concreto.

En México se utilizan básicamente tres tecnologías, el sistema japonés, el sistema tipo Galveston y una adaptación de técnicas francesas e innovaciones realizadas en Panamá y Ecuador. La principal especie que se cultiva es el camarón blanco del Pacífico (*L. vannamei*) y los laboratorios incluyen en sus instalaciones estanques de maduración, estanques para desarrollo larvario y cría, con algunas adaptaciones realizadas por

técnicos mexicanos y extranjeros.

Alimentación.

De las 70 granjas camaroneras que operaron en Sinaloa en el ciclo de Julio de 1989 a Septiembre de 1990, 44 de ellas utilizaron alimentos balanceados. El tipo más común es el llamado "pelet" corto para engorde, aunque algunas utilizaron la migaja para la fase de pre-engorde.

El mayor proveedor de alimento balanceado para las granjas en ese periodo fue Purina del Pacifico, S.A. de C.V., quién abasteció el 70% de las granjas con camaronina. El segundo más utilizado fue NUTRIPAC, fabricada por Nutrimentos Pecuarios del Pacifico, S.A. de C.V., seguido por la marca de camarón plus de Industrias Uriarte S.A. de C.V. (hoy Aquanova), y de otras compañías como Aqua-Rey de Forrajes El Barrio, S.A. de C.V., Coralesa de Corporación de Alimentos Extraídos, S.A. de C.V., Nutrion de Alimentos Balanceados para Camarón, S.A. de C.V. y Prosel de Alimentos Tecnopecuarios Aba. For, S.A. de C.V. entre los más importantes.

El 60% de las granjas utilizaron alimentos con un nivel de proteína del 35% y otras con diferentes porcentajes de 25, 26, 30, 40 y 45%. El 20% de las granjas aplicaron alimento con más de un nivel de proteína durante la fase de engorde.

Las tasas de alimentación variaron desde el 2 hasta el 50% de la biomasa al día. La mayoría de las granjas utilizaron tasas iniciales bajas (2 al 8% de la biomasa) y no siguieron las recomendaciones para el uso y manejo del alimento especificado por las compañías que lo producen.

27 granjas dieron información sobre el Factor de Conversión Alimenticio (FCA), el cual fluctuó desde 1:1 hasta 4.9:1, siendo la media de 2:1.

En las figuras 21 y 22 se presentan algunos aspectos generales sobre el cultivo de camarón.

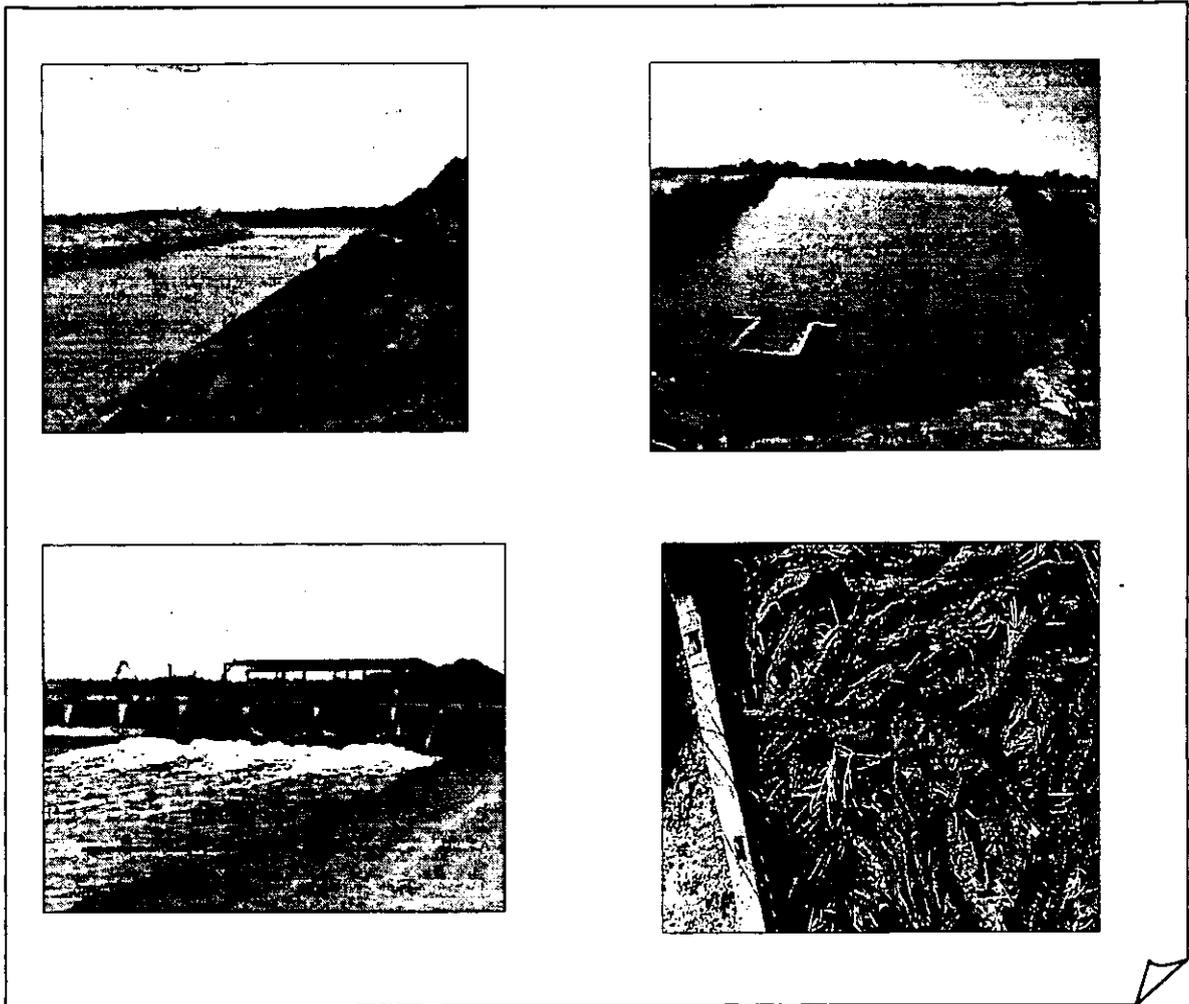


Figura 21. Algunos aspectos de la infraestructura de las granjas del Norte del estado de Sinaloa. En el recuadro superior izquierdo una vista del canal de llamada; en el siguiente a la derecha un estanque donde se observa el monje. En la parte inferior la vista del canal de alimentación de la granja y de la estación de bombeo y finalmente una cosecha de camarón, destaca en la parte central un camarón zul y en el fondo camarón blanco, las especies que generalmente se producen en estas granjas.

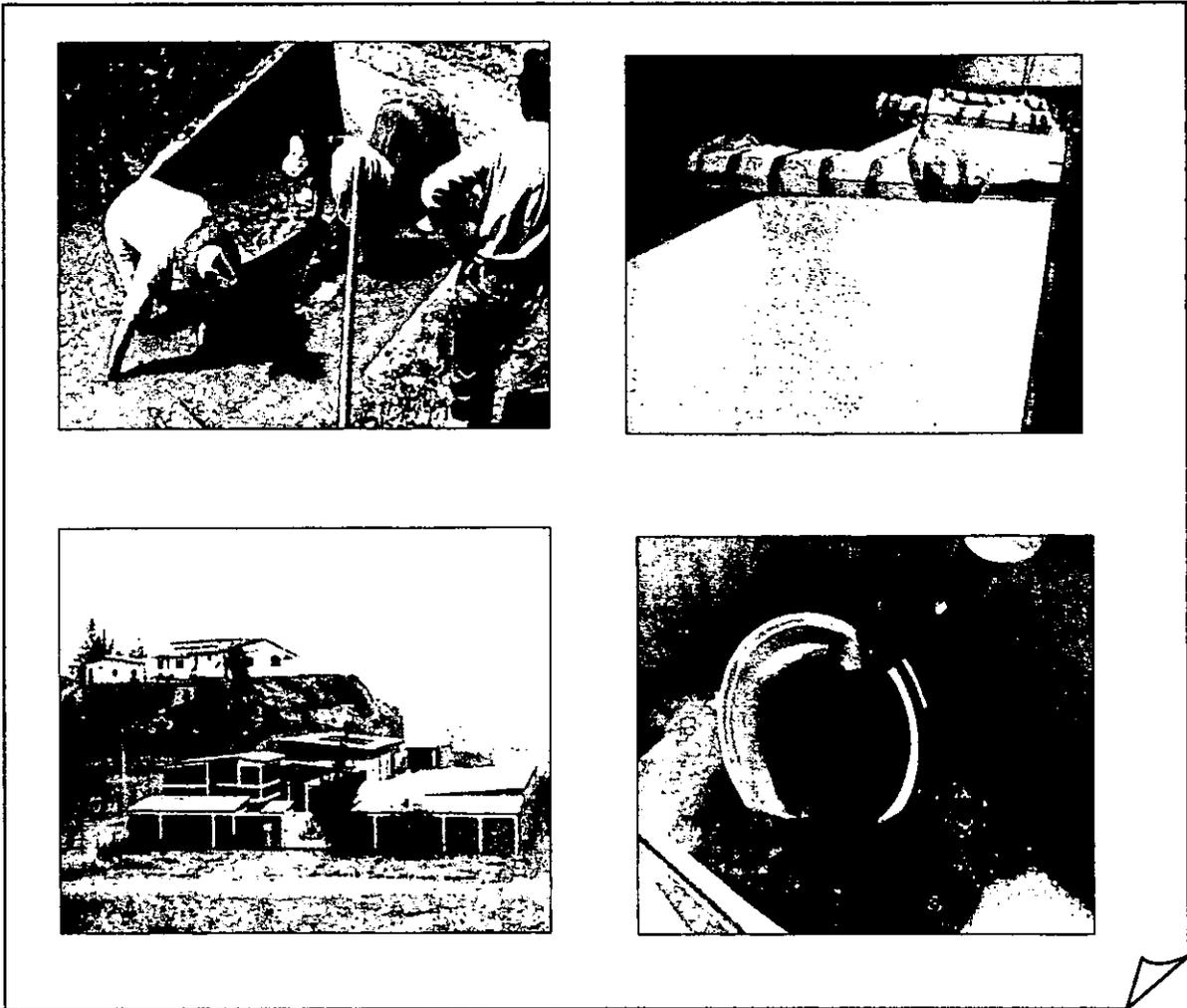


Figura 22. En el recuadro superior izquierdo se observa la cosecha de juveniles para ser transportados a los estanques de engorde; a la derecha un estanque para la producción de postlarvas. En la parte inferior a la izquierda un laboratorio en Guayaquil, Ecuador y a la derecha el detalle de la cosecha de juveniles listos para ser transferidos a los estanques de engorde.

Langostinos y acamayás (*Macrobrachium spp.*)

En el ámbito mundial se conocen aproximadamente 125 especies de langostinos y acamayás pertenecientes al género *Macrobrachium*. En nuestro país se han reportado 11 especies autóctonas y una exótica (el langostino gigante de Malasia *M. rosenbergii*), que están distribuidas en los ríos que drenan hacia el Océano Pacífico y hacia el Golfo de México (Tabla 14) (Guzmán *et al.*, 1977). Cinco de éstas especies se distinguen por ser de importancia comercial; tres de ellas se localizan en las vertientes del Golfo de México (*M. acanthurus*, *M. carcinus* y *M. olfersi*) y dos en las del Pacífico (*M. tenellum* y *M. americanum*), ya que forman parte de las principales pesquerías del país. También, se han realizado experiencias positivas en el cultivo de algunas especies nativas como *M. tenellum*, *M. acanthurus* y *M. americanum*. De dos especies en particular *M. acanthurus* y *M. tenellum*, los resultados de cultivo han mostrado un crecimiento adecuado y una elevada supervivencia, sin embargo, no alcanzan tallas comerciales grandes (New, 1988). Por esta razón, se introdujo el langostino gigante de Malasia, que es una especie que alcanza tallas grandes, es relativamente dócil al manejo, es adaptable, ya que puede vivir en agua dulce y salobre, e incluso puede vivir en ambientes marinos mostrando un rápido crecimiento (Figura 23).



Figura 23. Langostino gigante de Malasia (*Macrobrachium rosenbergii*).

Cabrera y colaboradores (1979), al comparar el crecimiento de *M. tenellum* y *M.*

americanum con el obtenido con *M. rosenbergii*, encontraron que esta última especie crece más que las nativas. De este mismo modo al realizar pruebas comparativas de crecimiento entre *M. americanum* y *M. rosenbergii* en igualdad de condiciones, se encontró que éste último creció 5 veces más rápido y alcanzó una talla tres veces mayor.

Tabla 14. Especies del género *Macrobrachium* presentes en México.

Nombre común	Nombre científico	Área de distribución
Acamaya	<i>M. heterochirus</i> (Wiegmann, 1836)	Golfo de México
Acamaya	<i>M. olfersi</i> (Wiegmann, 1836)*	Golfo de México
Acamaya	<i>M. acherontium</i> (Holthuis, 1977)	Golfo de México
Acamaya o manos de carrizo	<i>M. acanthurus</i> (Wiegmann, 1836)*	Golfo de México
Langostino	<i>M. carcinus</i> (Linnaeus, 1758)*	Golfo de México
Langostino	<i>M. americanum</i> (Bate, 1868)*	Pacífico
Chacal	<i>M. tenellum</i> (Smith, 1871)*	Pacífico
Langostino	<i>M. occidentale</i> (Holthuis, 1950)	Pacífico
Chacal	<i>M. digueti</i> (Bouvier, 1985)	Pacífico
Chacal	<i>M. acanthochirus</i> (Villalobos, 1966)	Pacífico
Chacal	<i>M. villalobosi</i> (Hobbs, 1973)	Pacífico
Langostino gigante de Malasia	<i>M. rosenbergii</i> (De Man, 1879)**	Ambos litorales

*Especies que sostienen pesquerías importantes; ** Especie introducida.

Fuente: Guzmán, et al. (1977).

El hecho de que la especie introducida demuestre ser mejor en condiciones de cultivo que las especies nativas, no implica que sea la especie ideal ya que muestra algunas desventajas que deben ser consideradas cuando se llevan a cabo proyectos productivos rentables. Un limitante serio es que requiere ser cultivada en zonas donde la temperatura no sea inferior a los 16 °C; presenta un crecimiento desigual ya que son polimórficos y la producción de larvas requiere de aguas salobres.

Por otra parte, se ha propuesto como una alternativa el cultivo de varias especies de peces con el langostino gigante de Malasia en un sistema de policultivo, acorde con las condiciones climáticas, o bien en zonas donde no sea posible cultivar esta última especie, buscar entre las especies nativas de langostino aquellas que mejor se adapte a las condiciones locales.

Antecedentes.

El cultivo de langostino en nuestro país es una actividad discutida, que ha sido objeto de versiones contradictorias en cuanto a sus resultados, ya que algunos productores han fracasado en sus intentos, en cambio otros han logrado obtener buenos rendimientos acuícolas. En el ámbito mundial las experiencias obtenidas en cultivos comerciales después de más de 20 años arrojan un balance positivo y alentador, razón por la que numerosos países han iniciado proyectos con el objeto de establecer granjas productivas y rentables con diversas especies del género *Macrobrachium*, actualmente 37 países producen cerca de 30,000 toneladas anuales de este crustáceo (Avilés y García, 1987; New, 1988;).

Por su situación geográfica y la amplia gama de recursos naturales, nuestro país cuenta con condiciones favorables para que el cultivo del langostino resulte una actividad exitosa como

generadora de alimentos, empleos y divisas que puede contribuir al desarrollo económico y a establecer empresas de cultivo competitivas en el ámbito internacional.

El iniciador del cultivo masivo de larvas de langostino fue Ling, quien trabajó en el Instituto Malayo de Pesquerías de Penang, bajo el auspicio del gobierno Malayo y la FAO (Food and Agriculture Organization de la Organización de las Naciones Unidas). Aunque Ling no fue el primero en obtener juveniles de langostino en condiciones de laboratorio, sus trabajos han permitido que sea reconocido como el pionero del cultivo moderno del langostino.

Las bases para el cultivo controlado del langostino, fueron establecidas a partir de los trabajos realizados por Fujimara en 1966, quien cultivó al langostino en sistemas intensivos en el Departamento de Biología Acuática del Centro de Investigaciones Pesqueras de Amienue, en Hawái y que enriqueció el conocimiento sobre la técnica de cultivo de este organismo, el cual fue completado con las contribuciones realizadas por Malecha y New, en especial con el langostino gigante de Malasia *Macrobrachium rosenbergii* (New and Singholka, 1982).

A partir de la década de los setenta, en México, se iniciaron los trabajos tendientes a implantar la tecnología del cultivo de langostino, utilizando especies nativas tales como *Macrobrachium tenellum* y *M. americanum* en la vertiente del Océano Pacífico y con *M. acanthurus* y *M. carcinus* en la costa del Golfo de México (Cabrera, 1978). En 1973 se inician los trabajos con el langostino gigante de Malasia *Macrobrachium rosenbergii*, el cual fue introducido por primera vez al país procedente de la India y los juveniles depositados en estanques en Cacalotán, Municipio de Rosario, Sinaloa. Posteriormente, se hicieron introducciones procedentes de Honduras, Hawái y Estados Unidos (Arredondo, 1976 y 1983).

En 1978, el entonces Departamento de Pesca (hoy SEMARNAP), inició la construcción de los centros acuícolas "El Real", en Veracruz; "El Carrizal", en Coyoacán de Benitez, Guerrero y "Chametla", en Sinaloa, cuyo objetivo original fue la producción de larvas de langostino asiático, mediante la técnica llamada de agua verde. Actualmente, el único centro que produce langostino es "El Carrizal", en Guerrero y los otros han sido acondicionados para la producción de otros organismos como la tilapia.

Entre las décadas de los setenta y ochenta, se han realizado innumerables ensayos para la producción de langostino; en 1978 se logró obtener una producción de 286 kg/ha/año de *M. acanthurus*, en estanques del Centro Acuícola "Los Amates", en Tlacotalpan, Veracruz. En 1986, Rentería obtuvo una producción de 337 kg/ha/2 meses con esta misma especie (*vide*: Carrasco y Fabian, 1989). García y Espinosa (1992), realizaron pruebas con fertilizante orgánico, químico y alimento, encontrando el más alto rendimiento cuando se combina el fertilizante orgánico y el alimento balanceado.

Con *M. rosenbergii*, Willis y Berrigan (1978), probaron la importancia del fertilizante en el crecimiento y la supervivencia de esta especie, confirmando que estos elementos juegan un papel importante en las estrategias de cultivo del langostino, que han sido también reportadas por otros investigadores como Carrasco y Fabian (1989).

Por otra parte, el policultivo con langostino ha arrojado importantes rendimientos, combinando especies de peces con hábitos herbívoros, omnívoros y filtradoras como la carpa plateada y cabezona. Además, de tilapia y lisa entre otras, llegando a cosechar 3,000 kg/ha en Hawái y 4,000 kg/ha en Japón, quedando por resolver los problemas inherentes con la estandarización de tallas, mejora genética, especies menos agresivas o de crecimiento más rápido, estudios de viabilidad económica y de mercado (Ling, 1967 y Bardach *et al.*, 1982).

En México los principales problemas a los que enfrenta el cultivo de esta especie, radican fundamentalmente en que su tecnología no ha sido suficientemente difundida; los técnicos por lo general no dominan la fase de engorde y aún no se logra implementar un modelo que demuestre su rentabilidad económica.

En los últimos diez años se han tenido avances en la tecnología del cultivo y actualmente este crustáceo tiene un gran porvenir en la acuicultura nacional sobre todo el langostino gigante de Malasia *M. rosenbergii*, ya que las especies nativas aún tienen mucho camino por recorrer para que se transformen en un recurso comercial renovable importante.

En 1987, el país contaba con 13 laboratorios para la producción de postlarvas de langostino (*M. rosenbergii*), cuya distribución geográfica abarcaba ambos litorales. Dos de ellos pertenecían a la entonces Secretaría de Pesca: tres a los gobiernos de los estados de Tamaulipas, Sonora y Morelos, tres a instituciones de investigación y ocho propiedad del sector privado. De los trece laboratorios cuatro trabajaban con la técnica de agua verde en sistema abierto y nueve con la técnica de agua clara, con sistema abierto y cerrado. La capacidad instalada total era en ese momento de 115 millones de postlarvas al año, habiendo producido en 1986, 11.5 millones, lo que representaba el 10% de la capacidad instalada, debido fundamentalmente a una baja demanda, e incluso uno de ellos ACUANATURA, S.A. de C.V., dejó de operar a principios de 1987 por falta de compradores. La situación en esa época reflejaba que las inversiones se habían canalizado básicamente a la producción de postlarvas, sin considerar la construcción de estanques para las fases de pre-engorde y engorde, y esta falta de planeación afectó severamente a los inversionistas, algunos de los cuales tuvieron que cerrar sus laboratorios o bien cambiar de giro en su producción.

Para esa fecha se tenían registradas 48 unidades de producción, de las cuales 23 pertenecían al sector privado con una superficie inundada de 210 hectáreas. Otras 22 pertenecían al sector social con 55 ha y tres al sector público con 11.5 ha, disponiéndose de una superficie abierta al cultivo de un poco más de 276 ha de estanquería rústica, que ofrecían una capacidad instalada para producir 344 toneladas al año. Para ese año, se registró una producción de 161 toneladas, con un rendimiento acuícola de 700 kg/ha/año, por lo que se utilizó únicamente el 46% de la capacidad instalada (Avilés y García, 1987), la producción de este crustáceo ha disminuido considerablemente en los últimos años al grado que en 1995 se reportaron tan sólo 72 toneladas producidas por actividades acuícolas (SEMARNAP, 1995) y en 1998 sólo se cosecharon 18 toneladas (SEMARNAP, 1998).

Olmos y Tejeda (1990), mencionaron que en ese año la Dirección General de Acuicultura de la entonces Secretaría de Pesca contaba con un inventario de 17 granjas de cultivo de langostino, ubicadas principalmente en Veracruz y Colima, lo que indica que el número real de granjas dedicadas al cultivo de este crustáceo disminuyó drásticamente con relación al

inventario realizado en 1986, significando que algunas fracasaron rotundamente y cerraron o bien han cambiado de giro y actualmente, sólo lograron sobrevivir algunas de ellas en los estados de Colima, Jalisco, Guerrero, Michoacán y Morelos (SEMARNAP, 1998).

Esta sensible baja se atribuye a distintas circunstancias, entre ellas la falta de un dominio tecnológico en la fase de engorde por los problemas que esto representa, aspecto que ha sido superado en algunas granjas donde actualmente se obtienen rendimientos superiores a 2 toneladas por hectárea al año, con una elevada rentabilidad, ya que esta especie alcanza valores altos en los mercados de lujo.

Ciclo biológico.

El macho sexualmente maduro está casi siempre listo para la cópula y la hembra sólo después de la muda de reproducción. Cuando la hembra muda, libera feromonas que atrae al macho, el cual se encuentra en estado de intermuda (cuarta fase del proceso de muda). La cópula se realiza después de la ecdisis y dura sólo unos segundos. El desove dura aproximadamente 25 minutos y una hembra puede desovar aunque no esté fecundada, aunque en este caso los huevos se desprenden a los dos o tres días después. El desarrollo embrionario oscila entre uno y dos meses y en este periodo las hembras ovígeras migran hacia las aguas salobres, cerca de las desembocaduras de los ríos. En esta zona es donde se lleva a cabo la eclosión de las zoeas, las que se alimentan de fitoplancton y zooplancton y cuando la metamorfosis concluye estas larvas emigran de nuevo hacia las aguas dulces río arriba (Boschi, 1961).

El número de huevos está en función de la especie y del tamaño de la hembra. New y Singholka (1982), aseguran que el número de larvas de *M. rosenbergii*, está en función del peso de la hembra y se calculan 1,000 larvas por gramo.

El periodo de incubación varía de acuerdo a la especie y en relación directa a la temperatura, de modo que se puede predecir con gran exactitud la eclosión, si se conoce la temperatura, por ejemplo en *M. acanthurus* a una temperatura entre 28 y 30 °C, esta se presenta a los veinte días. Si las condiciones fueron estables y adecuadas durante la incubación, todas las larvas eclosionan en pocas horas, si no, se puede demorar hasta más de un día.

Después de un tiempo variable, según la especie, la hembra vuelve a mudar y si las condiciones de temperatura y fotoperiodo se mantienen como en el verano, se pueden tener entre 3 a 4 desoves y en algunos casos hasta más de 10 al año (Holtzman, 1988).

Al nacer las larvas miden aproximadamente 2 mm de longitud y son arrastradas por las corrientes hasta llegar a las desembocaduras de los ríos, donde la salinidad es más elevada. Estas larvas al principio son eurihalinas y *M. rosenbergii* requiere para su desarrollo una salinidad de aproximadamente 12 ‰ (New y Singholka, 1982). El número de subestadios de la zoea hasta la postlarva, varía con la especie y aparentemente cada muda representa un nuevo estadio, lo que algunas veces provoca confusiones. El desarrollo larvario se lleva a cabo en el medio estuarino y la salinidad permite la supervivencia de la larva y cuando son juveniles estos migran hacia aguas que contienen menor salinidad, remontando los ríos

donde terminan de crecer hasta el estado adulto, para iniciar de nuevo ciclo biológico (Figura 24).

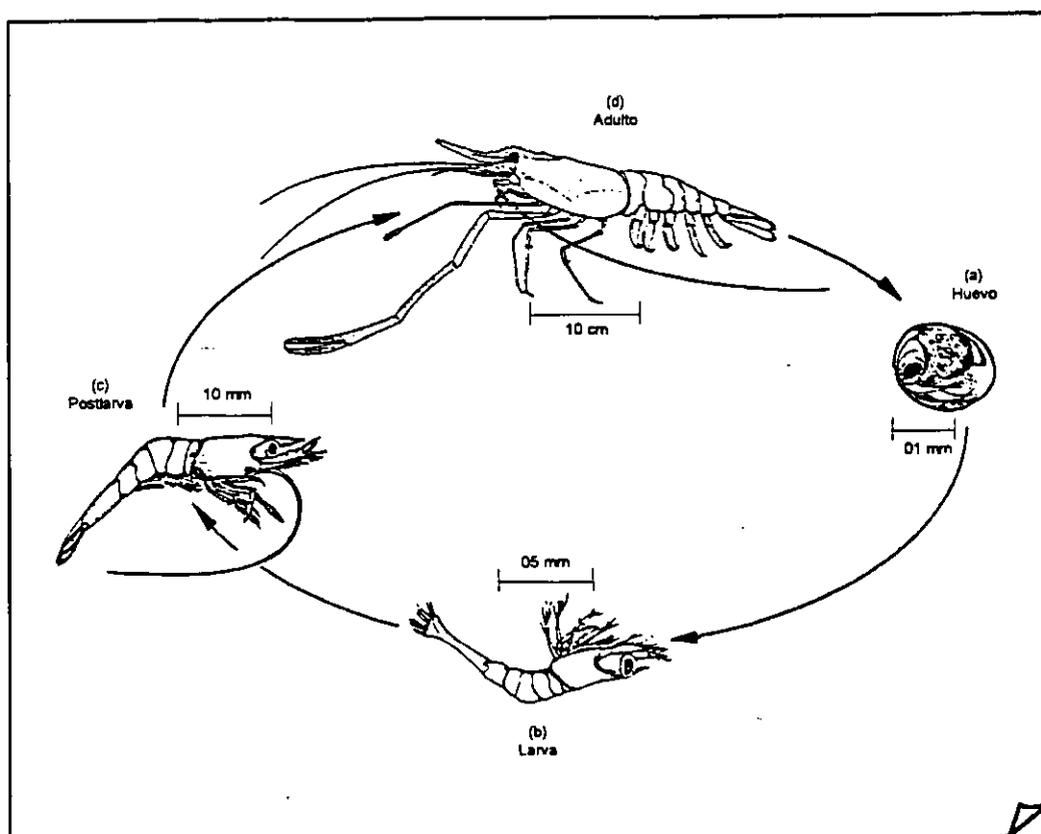


Figura 24. Ciclo biológico del langostino de acuerdo con Lee y Wickins, (1992).

En el caso particular de *Macrobrachium rosenbergii*, se han identificado 11 subestadios, que tiene características muy puntuales y que permiten reconocer cada uno de ellos (Tabla 15).

Tabla 15. Características y tiempos de duración de los diferentes subestadios desde zoea a postlarva (a una temperatura superior a 26 °C). Adaptado de Holtschmit, (1988).

Subestadio	Tiempo en días	Características
I	0	Ojos sésiles
II	2	Ojos pedunculados
III	4	Aparecen urópodos
IV	7	Dos dientes dorsales en el rostrum. Branquias redondeadas y poco definidas
V	10	Telson más angosto y alargado. Se ven claramente cinco branquias y la última con lóbulos
VI	14	Aparecen muñones de los pleópodos. Todas las branquias con lóbulos
VII	17	Pleópodos birrámeos
VIII	20	Pleópodos con setas
IX	24	Endopoditos de los pleópodos con apéndices internos
X	28	Tres o cuatro dientes dorsales sobre el rostrum
XI	31	Todo el borde dorsal de la espina rostral con dientes
Postlarva	36	Dientes en la parte superior e inferior del rostrum y cambios de comportamiento, sobre todo de natación

Factores ambientales.

Los parámetros fisicoquímicos del agua para el cultivo del langostino son de extrema importancia y entre ellos se tiene a la temperatura del agua, oxígeno disuelto (O.D.), transparencia, alcalinidad, dureza y otros. Los valores óptimos para el cultivo de este género se presentan en la tabla 16.

Tabla 16. Parámetros óptimos y críticos para el cultivo de langostino.

Parámetros	Valores óptimos	Valores críticos
Temperatura del agua (°C)	25-30	< 16 y > 32
Oxígeno disuelto (mg/l)	> 5	< 3
pH	7.0-8.5	< 4 y > 11
Transparencia por disco de Secchi (cm)	Total	< 10
Salinidad ‰	0-6	> 20
Dureza total (mg/l de CaCO ₃)	< 100	> 200

Fuente: New y Singholka, (1982).

Debido a la importancia que representan los parámetros de calidad de agua, se analizarán por separado.

1. Temperatura.

En el cultivo de langostino la temperatura del agua es un factor importante, así se ha visto que las larvas se desarrollan y crecen más rápido entre los 26 y 31 °C, siendo la óptima entre 28 y 30 °C. Entre 24 y 26 °C el crecimiento es lento y a una temperatura menor de 24 °C es peligrosa, pudiendo ocasionar altas mortalidades, lo que sucede también a temperaturas mayores de 32 °C (Anónimo, 1988 b).

La adaptación a las temperaturas altas o bajas, por tiempo prolongado modifica los niveles letales y al exceder el nivel óptimo se producen cambios en el comportamiento con respecto a la alimentación y a la territorialidad. Las fluctuaciones en la temperatura influyen también en el crecimiento, ya que se modifica la frecuencia de mudas y el desove. Las temperaturas óptimas de *M. rosenbergii* y *M. acanthurus* se ubican en los 20 y 28 °C respectivamente (Cabrera, 1978; Carrasco y Fabián, 1989).

En este aspecto experiencias realizadas en varios estados de la República Mexicana con el cultivo de langostino gigante de Malasia, han mostrado que la temperatura es un factor de suma importancia sobre todo en la selección de los sitios de cultivo, ya que los cultivos más al Norte del país tienen problemas en los meses fríos del año, presentándose mortalidades importantes cuando la temperatura baja por fenómenos meteorológicos, por lo que los cultivos deberán ser realizados en aquellas zonas en donde la temperatura del agua se mantenga por arriba de los 24 °C, asegurando además, más de una cosecha anual. Por otra parte, las especies nativas son más resistentes a las bajas temperaturas, aspecto que representa una ventaja en caso de los estados que se ubican por arriba del trópico de Cáncer.

2. Oxígeno disuelto (O.D.).

La concentración de oxígeno disuelto en el agua debe encontrarse lo más cercano a la saturación y en algunos casos para asegurar esto, se utilizan sistemas de aireación (New y Singholka, 1984). La temperatura y salinidad influyen en la concentración de este gas y en zonas cálidas y de agua salada los valores tienden a reducirse, por lo que es necesario incrementar estos niveles a través de distintos mecanismos como el recambio de agua de superficie o fondo y la agitación o aspersión del agua sobre el estanque en la interfase atmósfera-agua, sobre todo durante la noche cuando este gas tiende a disminuir.

El langostino requiere para su crecimiento y desarrollo niveles de oxígeno de 5 mg/l en promedio y es importante revisar la concentración constantemente sobre todo cuando se aplican altas tasas de alimento o se usan abonos orgánicos. En estos casos es recomendable instalar dispositivos especiales para oxigenar los estanques y asegurar una concentración adecuada en el fondo del mismo (Richards, *et al.*, 1978 y Cabrera, 1978).

3. Salinidad.

Aunque los langostinos requieren de agua salobre para la reproducción, el crecimiento a talla comercial se alcanza más rápido en el agua dulce. Estanques experimentales en aguas salobres no han producido resultados alentadores. En el caso del cultivo larvario usualmente se utiliza agua de pozo, pero hay numerosos reportes de granjas que funcionan con agua salobre, traída de distancias moderadamente cortas. El intervalo de salinidad puede estar comprendido entre 12 y 16 ‰ y hay reportes que indican para *M. acanthurus* un intervalo de salinidad entre 0 y 20 ‰ (Anónimo, 1988b y Carrasco y Fabián, 1989).

4. pH.

El pH o potencial de hidrógeno es otro parámetro importante, que se relaciona con la tasa de fotosíntesis y el oxígeno disuelto. Si el pH disminuye por debajo de 4, puede causar la muerte de los langostinos, lo mismo que si se encuentra por encima de 11. Si el pH se mantiene por largos intervalos de tiempo entre 4 y 5, los organismos pueden dejar de desovar, baja su tasa de crecimiento y no se presenta una biomasa fitoplanctónica importante, a pesar de que se fertilice el agua. Las aguas con un pH entre 6.5 y 9 son las más adecuadas para obtener una buena cosecha, sin embargo se recomienda como óptimo un intervalo entre 7 y 8.5.

Los langostinos pueden vivir en aguas con un pH entre 6 y 10 y aguas moderadamente duras. Las aguas neutras o ligeramente alcalinas parecen ser las mejores para obtener un rápido crecimiento y existen técnicas adecuadas para aumentar o disminuir el pH. Otro efecto que tiene el pH es sobre el amonio no ionizado (NH_3), ya que esta forma química aumenta en la medida que el pH disminuye y es altamente tóxica para el langostino, por lo que debe mantenerse la neutralidad y en agua libre de este ion. En el caso de los sistemas cerrados la recirculación del agua debe realizarse a través de filtros biológicos integrados o que estén activados con bacterias que transformen los compuestos tóxicos a compuestos más sencillos como los nitratos (De la Garza, 1988).

5. Dureza y alcalinidad total.

Un aspecto muy controvertido es el relacionado con la dureza total y su alcalinidad. New y Singholka (1984), señalaron que la dureza total debe ser inferior a 150 mg/l y preferentemente inferior a 100, ya que de otra forma el crecimiento es más lento y hay una mayor propensión a las enfermedades, además en caso de que la biomasa de fitoplancton sea elevada el pH durante el día se eleva lo que provoca la precipitación de sales de calcio que pueden ocluir las branquias y causar la muerte por asfixia.

Algunos autores señalan que la alcalinidad es más importante que la dureza total y a valores de alcalinidad total de 58 a 86 mg/l y de dureza total de 940 a 1,060 mg/l se han tenido resultados equivalentes a otros lugares. La alcalinidad total inferior a 180 mg/l no afecta el crecimiento, pero rebasando este valor se presenta mortalidad significativa y se han cultivado langostinos en oasis que tienen una dureza total de 987 mg/l y una alcalinidad de 171 mg/l (Sandifer *et al.*, 1975; Bartlett y Enkerlin, 1983; Holtschmit, 1988).

Tecnologías de cultivo.

Básicamente se practican en nuestro país tres tecnologías de cultivo que se resumen en la Tabla 17.

Tabla 17. Tecnologías de cultivo practicadas en México.

Tipo de tecnología	Características	Tipo de unidad de cultivo	Rendimiento (kg/Ha)
Extensivo	Larvas silvestres. Alimentación natural. Densidades bajas (1 org/m ²).	Lagos, presas y cuerpos de agua pequeños y medianos.	40 a 250
Semi intensivo	Larvas silvestres o de laboratorio. Fertilización orgánica e inorgánica. Alimento suplementario. Control de calidad de agua. Control sanitario. Densidades medias (4 org/m ²). Uso de policultivos.	Cuerpos de agua pequeños y medianos. Estanques rústicos y semi rústicos.	500 a 1,000
Intensivo	Larvas de laboratorio. Fertilización inorgánica (urea y superfosfato triple). Alimento balanceado (35% de proteína). Control de la calidad del agua, Control sanitario. Densidad alta (16-23 org/m ²). Uso de policultivo.	Estanques rústicos, semi-rústicos y de concreto.	2,000-4,000

1. Extensivo.

La práctica del cultivo extensivo se ha venido realizando en nuestro país desde hace más de

veinte años. Las primeras acciones se fincaron a partir del manejo de poblaciones de juveniles de *Macrobrachium spp.*, que eran colectados en sitios conocidos, como por ejemplo en la base de algunas presas cercanas a la costa (como en la base externa de la cortina de la presa La Villita, en el estado de Michoacán), donde su construcción constituyó una barrera infranqueable para las poblaciones de langostinos que realizan migraciones río arriba. La colecta no significa muchas dificultades y consiste en atrapar a los juveniles que remontan el río, con redes de cuchara, se identifican y colocan en bolsas de plástico con agua limpia y oxígeno y se transportaban a los sitios de cultivo.

En 1979, el grupo de trabajo del Laboratorio de Acuicultura del Instituto de Biología de la UNAM, introdujo 31,000 juveniles de *M. tenellum* provenientes de la desembocadura del Río Balsas, en cuatro embalses de diferente temporalidad de inundación, en el estado de Morelos, observándose un buen crecimiento y alcanzando una talla comercial promedio de 12 cm entre los seis y siete meses (Ponce, 1988). Al respecto Villalobos *et al.* (1982), diseñaron un sistema de captura, identificación y separación de postlarvas de juveniles para ser sembrados en cuerpos de agua en sistemas extensivos de cultivo

Debido al éxito derivado de estas experiencias entre 1984 y 1986, en las unidades de producción del estado de Morelos, se realizaron siembras de *M. tenellum*, bajo sistemas de mono y policultivo utilizando tilapia *Oreochromis mossambicus* línea roja, *O. urolepis hornorum* y el híbrido de estas dos especies, lo que a la larga propició un interés particular por el cultivo de langostino, de tal manera que en 1984 se sembraron 600,000 juveniles de *M. tenellum*, capturados en las costas de Guerrero (Ponce, 1988)

Experiencias personales indican que las especies de langostinos nativos tanto del Pacífico como del Golfo de México y especialmente *Macrobrachium tenellum* y *M. acanthurus* son posibles de cultivarse de manera conjunta en estanques utilizando sistemas de policultivo y pueden adaptarse perfectamente a bajas temperaturas, obteniéndose rendimientos adicionales de más de 200 kg/ha sin alimento balanceado.

No obstante estos buenos resultados, las actividades de cultivo extensivo en el país no han continuado y hasta cierto punto las especies nativas han sido relegadas. Los métodos extensivos y la captura silvestre de larvas son una opción económica viable y atractiva y para ello es necesario precisar con exactitud la temporalidad de las migraciones de juveniles, su captura, identificación y transporte a los estanques de engorde, pero sus rendimientos de acuerdo a la literatura técnica son inciertos, por lo que es recomendable apoyar los estudios tendientes a resolver los problemas y desarrollar una tecnología de cultivo acorde a las condiciones regionales de nuestro país.

Los métodos extensivos y la captura silvestre son una opción económica viable y atractiva, que permite entre otras ventajas incrementar la producción de las especies nativas ofertando un producto de buena calidad y precio, en cualquier época del año. No obstante, se requiere de un mayor apoyo para promover su cultivo, sobre todo en aquellas zonas donde se tienen ventajas comparativas.

2. Semi intensivo.

El cultivo semi intensivo depende de las larvas silvestres o bien de las producidas bajo condiciones controladas, como es el caso de los laboratorios (hatcheries). El cultivo se realiza en dos etapas bien definidas: a) la primera etapa de crecimiento de larva a juvenil es conocida como pre-cria y b) la segunda corresponde a la fase de engorde.

La primera fase se realiza en viveros y es una actividad optativa en el cultivo de langostino ya que muchos cultivadores prefieren la siembra directa de las larvas en los estanques de engorde, pero en la actualidad esta practica ha cambiado y se realiza una etapa de pre-engorde para asegurar organismos más grandes de edad y talla y con una menor mortalidad. Esta etapa no está completamente definida en cuanto a duración y existen reportes en los que se menciona que esta termina cuando los juveniles alcanzan tallas de 1.5 a 2.5 cm y otros señalan que hasta que alcanzan los 8 cm.

La densidad debe manejarse en forma adecuada para cada etapa, así por ejemplo al finalizar la etapa larvaria se tienen densidades de 5 a 60 postlarvas por litro de agua; en la fase de pre-engorde se reduce de 20 a 30 por metro cuadrado y en el engorde fluctúa entre 5 a 10, aunque existen casos extremos en los que suele utilizarse hasta 20. Si se pasa de una densidad de 40 a 60 larvas por litro a 5 o 10 por metro cuadrado, sin que exista una etapa intermedia, significa que las larvas pasan directamente de una vida sostenida en forma artificial a otra natural con densidades 2,000 veces menores, lo que puede ser un cambio drástico que provoca una mayor mortalidad con las consecuentes pérdidas económicas, por lo que resulta una necesidad imperiosa contar con una etapa de pre-engorde o pre-cria.

La segunda fase es conocida como el engorde y la densidad de carga en los estanques depende del tamaño comercial que se quiera cosechar, de la forma de manejo del estanque y de la técnica de cosecha. Si se aprovecha la productividad natural del estanque derivada de la fertilización orgánica e inorgánica y sin alimentación suplementaria, la densidad de siembra es de 4 juveniles por metro cuadrado; sin embargo, si se opta por una explotación más intensiva, utilizando alimento suplementario, se pueden sembrar de 5 a 22 juveniles por m² y dependiendo del comportamiento del cultivo se podrá aumentar o disminuir su densidad.

En Tailandia donde el peso comercial preferido es de 70 g entero y donde el periodo de engorde se reduce a 8 meses, se recomienda una siembra de 5 juveniles por m². En algunas granjas se siembran densidades mayores de hasta 20 postlarvas por metro cuadrado, dando como resultado un aumento en la producción y disminución en el tamaño medio de los langostinos cosechados. Con el método de cultivo continuo se recomiendan tasas de siembra más altas que van desde 16 a 22 juveniles por metro cuadrado (Avilés y García, 1987).

Una experiencia mexicana interesante es la producción semi intensiva de *Macrobrachium acanthurus*, que fue desarrollada en el Centro Acuícola de "Tlacotalpan", Veracruz, donde se logró producir 500 kg/ha de esta especie en un sistema de ciclo completo muy particular, ya que en los mismos estanques se produjeron las larvas y se realizó en forma directa el engorde (Cabrera, 1988).

En general los estanques deben tener de preferencia una forma rectangular con una proporción de largo a ancho de 2.5:1. El tamaño adecuado es de 1/5 a 2 hectáreas y considerando una profundidad media de 0.75 m en la parte donde se tiene la puerta de entrada de agua y 1.2 m en el monje o salida de agua. Los estanques más profundos son más difíciles de cosechar y se lleva más tiempo en llenarse o vaciarse. Los bordos deben estar libres de materia orgánica que posteriormente pueda descomponerse y los debilita. Cuando los bordos están recién construidos, pueden ser fertilizados con estiércol de vaca y sembrados con plantas diversas, para evitar la erosión. La distribución del agua debe hacerse por gravedad, ya que este sistema es el más eficiente en operación, mantenimiento y costo (Cabrera, 1988).

En las Unidades de Producción Acuícola del estado de Morelos, se realiza con buen éxito el cultivo semi intensivo de *M. rosenbergii*. Las larvas son producidas en el Centro Acuicola "El Carrizal", Coyuca de Benitez, Guerrero, propiedad del Gobierno de Morelos y tan sólo en 1985 se sembraron 500,000 y 481,000 postlarvas y juveniles respectivamente. A pesar de que al principio se utilizó la especie nativa *Macrobrachium tenellum*, no obstante, en los últimos años el langostino gigante de Malasia ha sido el preferido, por su rápido crecimiento y las tallas que se llegan a obtener, que ofrecen un mejor precio que las especies nativas (Ponce, 1988).

La fertilización es un medio para abaratar los costos de producción, reduciendo el uso de alimentos balanceados, los más utilizados en nuestro país han sido las excretas de vaca y de gallina además, de los compuestos químicos tales como la urea y el superfosfato triple. La acción del fertilizante permite incrementar la productividad primaria, lo que propicia el establecimiento de otros niveles tróficos. El langostino en estos sistemas puede consumir cladóceros y larvas de culícidos, además, del alimento balanceado (Anónimo, 1988 b).

El langostino puede cultivarse en sistemas de policultivo, ofreciendo grandes ventajas, en nuestro país se han llevado a cabo experiencias interesantes con policultivo de carpas chinas y europeas, arrojando rendimientos buenos, a pesar de ser considerada como una especie secundaria. El rendimiento total fue de más de dos toneladas por hectárea de peces y 125 kg/ha de langostino *M. tenellum* y *M. acanthurus* (Arredondo, com. pers.).

En Tailandia, se emplea la carpa herbívora, plateada y cabezona. En los EE.UU. se ha experimentado con tilapia y carpas chinas. En Israel se incluyeron 600 carpas (*Cyprinus carpio*), por hectárea y se ha encontrado que la adición de tilapia 100% machos a bajas densidades junto con la carpa común, no afecta la producción de langostino y contribuye a la estabilidad biológica del estanque, mientras que en el monocultivo hubo frecuentes muertes de algas después de un florecimiento excesivo asociado a problemas de anoxia (Anónimo, 1988 b).

Estos datos señalan las ventajas que puede ofrecer el policultivo, generado a los productores un incremento en los rendimientos acuícolas y un ingreso adicional por la producción de langostino, aspecto que ahora se practica de manera común en las unidades de producción del estado de Morelos, donde se cultiva de manera conjunta *M. rosenbergii* y la tilapia *Oreochromis niloticus*, obteniéndose con ello un valor agregado en la producción.

3. Intensivo.

Este tipo de cultivo no se practica actualmente en nuestro país, ya que requiere una mayor inversión y las experiencias realizadas han sido más bien de carácter experimental que comercial. El sistema implica la producción controlada de larvas en laboratorio, una fase de pre-cría y una de engorde en altas densidades, muy parecida a la que se describió en el inciso anterior en el semi-cultivo de camarón. No obstante, la peculiaridad de esta técnica considera el manejo de la calidad del agua, el control de las enfermedades y la aplicación de alimentos que cubran los requerimientos completos de la especie que se cultive. Algunas experiencias realizadas en el Tecnológico de Monterrey, campus Ciudad Obregón, permitió obtener más de cuatro toneladas por hectárea en sistemas de monocultivo.

Sin embargo, esta experiencia no se ha desarrollado todavía de manera comercial.

Cultivo de larvas.

El cultivo de langostino tiene como base la producción de larvas, a partir de un número determinado de reproductores, y la tecnología generalmente se basa en los métodos originales de cultivo implementados en 1962 por Ling en Malasia y desarrollados en 1972 por Fujimura y Okamoto en Hawaii (New y Singholka, 1984).

Estas tecnologías se han practicado desde la década de los setenta. Los primeros intentos para obtener larvas fueron realizados por Sánchez (1976), quien intento con cuatro técnicas de incubación sin lograr la transformación de las larvas zoeas a postlarvas. Posteriormente, Cabrera *et al.* (1979), obtuvieron el desarrollo larvario en condiciones de laboratorio de *M. tenellum*, logrando identificar 12 mudas distribuidas en tres etapas.

Los primeros intentos de cultivo de *M. rosenbergii* fueron desarrollados en 1977, en el poblado de Altata, Municipio de Rosario, Sinaloa, utilizando postlarvas introducidas de otro país. Dichos trabajos fueron auspiciados por la iniciativa privada en una pequeña granja donde se obtuvieron resultados alentadores.

El criadero de postlarvas requiere de condiciones e instalaciones de calidad para que sea eficiente así como la disponibilidad de agua marina o salobre, agua dulce, servicios de energía eléctrica, comunicaciones, personal competente y una ubicación cercana a los mercados de consumo.

El número de hembras cargadas u ovigeras y machos que se requieren para la producción de las postlarvas, depende del tamaño del laboratorio, del porcentaje de sobrevivencia, del tamaño de las hembras y de la demanda. Las hembras son transportadas desde los estanques de maduración y son colocadas en los estanques de eclosión, que por lo general son de fibra de vidrio, rectangulares o redondos de 2 x 1 x 0.8 m. Posteriormente las larvas se colectan en una cubeta de 72 litros y se trasladan a los estanques larvarios que tienen una salinidad de 15 ‰.

El mantenimiento de reproductores debe efectuarse preferentemente en estanques, con adecuados sistemas de entrada y salida de agua, construidos de concreto, fibra de vidrio o rústicos y cuyas dimensiones están en función de la cantidad de reproductores, así también, como de los rendimientos productivos de postlarvas.

Para los reproductores se recomiendan estanques rectangulares, un ejemplo del tamaño para un laboratorio cuya capacidad de producción anual sea de 5 millones de postlarvas, no deben exceder los 800 m², que pueden estar distribuidos en uno o varios estanques (Anónimo, 1988 b).

Generalmente los cultivos larvarios se hacen bajo dos esquemas: a) el cultivo de agua verde y b) el de agua clara. En el primero se utilizan los cultivos de *Chlorella spp.* o *Nannochloris spp.*, como las especies dominantes, con densidades que varían de 750,000 a 1,000,000 de células por mililitro. El agua en estas condiciones no debe exceder más de tres días y los cambios de agua en los estanques larvarios se realizan diariamente, sustituyendo del 50 al 100%. En los lugares en donde se utiliza este sistema, sólo se hace un recambio al día, y generalmente se prefiere el sistema de agua clara. En Guaymas, Sonora se han realizado pruebas con agua verde utilizando *Chaetoceros sp.*, y algas verdes en sistemas abiertos y de recirculación, pero por lo complicado de este sistema, se ha substituido por el de agua clara. El sistema de agua verde ha tenido en general poca aceptación, por las dificultades que implica mantener un cultivo de algas y los costos que esto representa.

En el segundo sistema se realiza el cultivo larvario en agua clara y se utiliza agua salobre filtrada, transparente y con flujo continuo, para eliminar los sólidos totales. El agua clara se prepara mezclando agua dulce y de mar, hasta lograr la salinidad adecuada que fluctúa generalmente entre 11 y 15‰.

Estos dos modelos son intensivos y en ellos se ejerce un control estricto de los parámetros ambientales y del suministro de alimento y se practica tanto en sistemas abiertos como en cerrados.

Los sistemas abiertos son utilizados en varias partes del mundo, así por ejemplo, en Indonesia se manejan tanques cónicos de fibra de vidrio con cambios totales de agua diariamente y una administración rutinaria de antibióticos, como la estreptomina a una concentración de 1.25 a 2.5 mg/l cada dos o tres días a lo largo del cultivo y en caso de que se presenten bacterias filamentosas se aplica hasta 5 mg/l. En Francia, se utiliza agua clara tratada con cloro a una concentración de 1.5 mg/l durante seis horas, posteriormente es descloronizada con luz ultravioleta y pasada por filtros de arena de sílice de 50 micras.

En el caso de los sistemas cerrados, estos se han desarrollado con el objeto de economizar agua y sobre todo costos de energía, en aquellos casos donde es necesario calentar el agua. En estos sistemas los residuos de alimentos, excreción, heces y organismos muertos, deben ser removidos del sistema al igual que el amonio no ionizado. Los sólidos en suspensión se eliminan mediante sedimentación, filtración o ambos, por medio de filtros mecánicos, mientras que los sólidos en solución mediante filtros biológicos. Generalmente, se utilizan estanques de fondo cóncavo de 5 metros o más de capacidad, construidos de fibra de vidrio, triplay y soporte de fierro galvanizado. El color interno es oscuro y tiene en la parte inferior

un tubo con perforaciones a todo lo largo para la aireación constante del sistema.

En el ITESM, campus Guaymas se han probado dos sistemas cerrados de recirculación, en los que se ha podido ahorrar un 50% de agua y actualmente se investiga un sistema usando un filtro biológico en combinación con un sedimentador y conectado directamente al estanque de cultivo, evitando así el uso del tanque de mezclado (Holtzman, 1988).

Cabrera (1988), opina que las técnicas de producción de postlarvas por medio de modelos intensivos difícilmente puede ser mejorada y algunos autores coinciden en señalar que en las especies nativas y en especial en *M. acanthurus*, se ha logrado un avance significativo en todas las fases de cultivo. Este mismo autor en 1980, describió un método para la producción de postlarvas en pequeños estanques rústicos de 300 m², con aguas estancadas fertilizadas semanalmente con superfosfato triple (1 tonelada/ha/año). Cada estanque produjo 40,000 juveniles cada tres meses, siendo factible obtener hasta tres cosechas al año, es decir 120,000 juveniles. Este tipo de granjas pueden operar en cualquier localidad cercana a las costas del Golfo de México, en las orillas de los numerosos ríos, con una elevada rentabilidad.

MOLUSCOS

Ostiones (*Ostrea* y *Crassostrea*).

Los ostiones de la familia Ostreidae, están confinados a las zonas litorales ubicadas entre las latitudes 64° Norte y 44° Sur: Su distribución vertical aproximada va desde la zona de mareas hasta los 30 metros de profundidad. Por lo general, se explotan en forma comercial en bancos localizados en esteros, lagunas costeras, bahías y en la zona costera a profundidades no mayores de 13 metros.

En México existen nueve especies de ostión, que son explotadas y consumidas en diferentes proporciones; de éstas cuatro son las que soportan la mayor explotación: a) el ostión Americano (*Crassostrea virginica*), b) el ostión de roca (*C. iridescens*), c) el ostión de placer (*C. corteziensis*) y d) el ostión Japonés (*C. gigas*) (Figura 25). Esta última especie fue introducida al país en la década de los setenta (Arriaga y Rangel, 1988). En Bahía Falsa, San Quintín, Baja California se ha reportado la presencia del ostión o ostra Europea (*Ostrea edulis*), que es una especie de origen Europeo y que fue introducida al Estado de California, en los Estados Unidos de Norteamérica y de ahí fue introducida a nuestro país.



Figura 25. Ostión japonés (*Crassostrea gigas*).

Además de las especies mencionadas, se han reportado en nuestro país otras cinco especies que son explotadas, pero cuyos volúmenes son realmente pequeños e inciertos, tal es el caso

del ostión de Mangle (*C. rhizophorae*), *C. palmula*, *Ostrea angelica*, *O. fisheri* y *Lopha megodon*. Sin embargo, se considera que las principales especies que se explotan y cultivan en México son cinco: a) *Crassostrea virginica*, b) *C. corteziensis*, c) *C. iridescens*, d) *C. rhizophorae* y e) *C. gigas* (Anónimo, 1988 d).

No obstante, las diversas opiniones, las especies que actualmente se cultivan en México son básicamente cuatro. En el litoral del Pacífico tenemos al ostión de placer (*Crassostrea corteziensis*), al ostión japonés (*C. gigas*) y la ostra Europea (*Ostrea edulis*) y en el litoral del Golfo de México, al ostión americano *C. virginica*.

Las principales especies de ostión de los géneros *Crassostrea* y *Ostrea* que han sido utilizadas en actividades de cultivo en nuestro país, se presentan en la tabla 18.

Tabla 18. Principales especies de ostiones cultivados en México.

Nombre común	Nombre científico	Distribución
Ostión Americano	<i>Crassostrea virginica</i> (Gmelin, 1791)	Golfo de México y Caribe
Ostión de placer	<i>Crassostrea corteziensis</i> (Hertlein, 1951)	Litoral del Pacífico
Ostión Japonés*	<i>Crassostrea gigas</i> (Thunberg, 1793)	Baja California, Sonora y Sinaloa
Ostión Europeo*	<i>Ostrea edulis</i> Linnaeus, 1758	Baja California

* Especies introducidas.

Desde hace más de cuarenta años, nuestro país ha mantenido una importante producción de ostión con un promedio anual de alrededor de las 30,000 toneladas. De esta producción más del 90% se obtiene en el Golfo de México, teniendo como base al ostión americano (*Crassostrea virginica*), el cual se localiza en bancos en las lagunas costeras de Veracruz, Tabasco, Tamaulipas, y Campeche. Según Rodríguez (inédito), esta especie comparte niveles de explotación con el ostión de mangle (*C. rhizophorae*) en los estados de Campeche y Tabasco, aunque esta información no es clara y precisa, sobre todo porque en las estadísticas pesqueras no se distinguen ambas especies.

Por otra parte en el litoral del Pacífico, se obtiene una producción aproximada del 10% en la que se incluye por una parte a varias especies nativas como es el caso del ostión de placer (*C. corteziensis*), el ostión de roca (*C. iridescens*), y los ostiones *C. palmula* y *O. angelica* y por otra al ostión japonés (*Crassostrea gigas*), que aporta una parte importante de la producción en esta zona, siendo los estados de mayor producción Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa, Nayarit y Guerrero.

La producción de ostión en los últimos años ha tenido variaciones importantes. Del periodo de 1985 a 1989 se observó un incremento marcado en la producción, llegándose a cosechar en este último año más de 55,000 toneladas. Después, se observa un decremento hasta el año de 1993 cuando se logró una producción de cerca de 28,000 toneladas, para incrementar ligeramente su producción y disminuir en 1998 alcanzando las 31,000 toneladas (Figura 26).

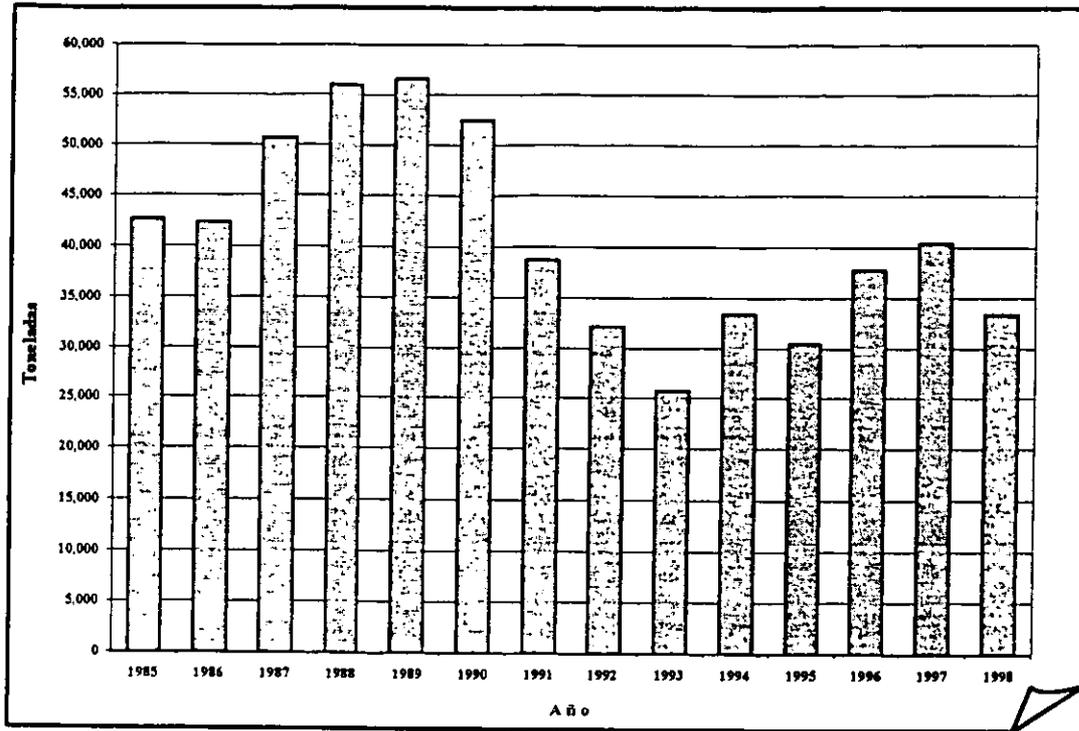


Figura 26. Producción de ostión por acuicultura en el periodo 1985 a 1998 (SEMARNAP, 1998).

Antecedentes.

En México, los antecedentes del estudio de estos moluscos bivalvos se inician con Manuel Villada en el año de 1912, quien realizó un viaje de exploración a diversos lugares del Estado de Veracruz, donde visitó la pesquería de ostión en la Laguna de Chachalacas, y reportó que el nombre científico de la especie en ese momento era *Ostrea canadiensis* (*Crassostrea virginica*). Posteriormente, Contreras (1924), publicó un tratado de índole taxonómico sobre los ostiones de nuestro país, en él describió las características del género *Ostrea*, y en particular a las siguientes especies: *O. iridescens*, *O. virginica*, *O. columbiensis*, *O. conchophila*, *Ostrea sp.*, *O. jacobaea*, *O. lucasiana*, *O. angelica* y *O. turturina*.

Mazotti y Luque (1938), estudiaron las condiciones sanitarias de la industria ostionera en el Estado de Sonora. En el informe señalaron datos generales sobre la biología del ostión de placer, incluyendo las épocas de desove, y el potencial de los bancos al Sur del puerto de Guaymas, cuya potencialidad fue estimada en unos 10 millones de ostiones por temporada. Describieron también a los depredadores del ostión y a las sociedades cooperativas encargadas de la explotación, así como el valor de producción, los mercados y las medidas que tomó el Departamento Forestal y de Caza y Pesca para la protección del molusco y los reglamentos aplicados para su captura Comercial. Asimismo, reportaron que las condiciones sanitarias observadas en los criaderos de Guaymas, eran inmejorables, e hicieron referencia

a los métodos más adecuados de recolección y desconche, a las clasificaciones por tamaños, al lavado del ostión, y su refrigeración (Alvarez, *et al.* 1961). Esta información nos muestra la importancia que tuvo en esa época la producción de ostión en el Estado de Sonora.

Varios autores coinciden en que a partir de la década de los treinta, es cuando se dispone de información científica seria para el manejo, la administración y el desarrollo tecnológico del recurso ostionero en México. Estos documentos, más aquellos sobre la administración del recurso, sientan las bases para iniciar la actividad de extracción en el ámbito comercial (Rangel, 1990).

Más adelante, De Buen (1944) enlistó las especies de importancia económica en ambos litorales en nuestro país, y presentó algunos datos sobre la biología y ecología del ostión (*Ostrea rostrata*). Sugirió la creación de parques ostrícolas, dando la posibilidad de proveer a México de un alimento higiénico y de alto valor económico para el país. En 1945, este mismo autor realizó un estudio de los ostiones de Barra de Nautla, en el estado de Veracruz y dio a conocer en forma general la causa que originaba la pérdida de los bancos de ostión, lo cual fue atribuido a la gran cantidad de agua dulce proveniente del río de Nautla a los criaderos del ostión. Asimismo, consignó los nombres vulgares y científicos de las especies muestreadas, y en 1957, el mismo De Buen, publicó su trabajo donde se refirió a las crisis ostrícolas que se presentaban periódicamente en la zona comprendida entre el Río Pánuco y la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.

Arai (1948), por su parte, estudió los ostiones de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz, en donde citó las condiciones fisico-biológicas del lugar y la influencia del agua dulce del Río Pantepec sobre el plancton; hizo también referencia a la elevada producción de ostión lograda en 1944 en la laguna, y por causa de diversos cambios en las condiciones naturales, la producción se vio afectada disminuyendo bruscamente en 1946. La disminución de la salinidad de las aguas, ocasionó la destrucción de los bancos ostrícolas, circunstancia que se agravó por la falta de fondo firme que sirviera de fijación a las larvas. Sobre las repoblaciones de ostión efectuadas en 1946, señaló el autor que éstas no tuvieron éxito, debido a que no fueron realizadas correctamente. Finalmente, enumeró las causas que ocasionaron la baja en la producción ostrícola de esta zona.

La información antes señalada indica que desde la década de los cuarenta, se contaba con una clara visión del potencial que tiene el ostión en los sistemas lagunares del Golfo de México y en particular en la zona comprendida entre la Laguna de Pueblo Viejo y la Laguna de Tampamachoco al Norte de Veracruz. A pesar de esta situación que puede considerarse privilegiada, desde esa época hasta nuestros días se presentan crisis en la industria ostrícola, que son ocasionadas por factores múltiples de orden social, económico y político, aunado a la falta de un fomento de la actividad, la falta de cumplimiento de la normatividad y regulación pesquera, la creciente contaminación y a la ausencia de programas continuos de cultivo, situación que persiste hasta nuestros días.

Sevilla (1958), por otra parte resumió los conocimientos existentes sobre biología del ostión de placer en Guaymas, Sonora, habiendo contado para su estudio con el material colectado (muestras de ostión, plancton y diversos materiales que representaron la fauna asociada al molusco en los esteros) en el Campamento Ostrícola en el Estero de Las Cruces, al Sur de

Guaymas.

En el litoral del Pacífico, los primeros intentos para establecer la ostricultura datan de 1958, con la especie nativa (*Crassostrea corteziensis*) en Guaymas, Sonora. Estas acciones fueron realizadas debido a la sobreexplotación del recurso, que ocasionó la disminución de los bancos naturales, las desviaciones de cursos de agua para el riego de distritos agrícolas y la contaminación generada por las actividades agrícolas, que provocaron un descenso de la producción natural y se elevó la mortalidad de la escasa población larvaria que aún sobrevivía. A pesar de estas acciones, la actividad ostrícola desapareció paulatinamente en el Estado de Sonora y actualmente esta especie solo se encuentra confinada a zonas pequeñas donde puede reproducirse y crecer y su importancia económica se ha reducido de manera drástica.

Como alternativa para recuperar la actividad ostrícola en esa zona, se introduce el ostión Japonés (*Crassostrea gigas*) por primera vez en México en 1972, para realizar su cultivo a nivel piloto en el estero de Punta Banda, Ensenada y en la Bahía de San Quintín, en Baja California y posteriormente es introducido en Ensenada del Pabellón, Sinaloa (Arredondo, 1976; Arredondo, 1983).

Como parte del plan de creación de los Distritos de Acuicultura, en una primera etapa (1972 a 1976) se llevaron a cabo estudios oceanográficos, los que permitieron identificar la ventaja de estas zonas para el cultivo de moluscos bivalvos. Las condiciones estables de temperatura, salinidad y las corrientes de surgencias que aportan nutrimentos en suficiencia para mantener una importante densidad de microalgas (base de alimentación de los bivalvos), hacen del litoral Oeste de la Península de Baja California el sitio óptimo para la Malacocultura.

Con base a lo anterior, la Secretaría de Pesca (ahora SEMARNAP) dotó a la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera "Bahía Falsa" en San Quintín, B.C., las primeras artes de cultivo para el ostión Japonés, así como un laboratorio rústico para la producción de ostrillas y un programa permanente de asesoría a partir de 1978, el cual permanece vigente hasta nuestros días, tratando con esto de lograr la innovación tecnológica de los sistemas intensivos en suspensión, haciéndolos más económicos y de mayor productividad (balsas, trineos, estantes, etc.) y fomentando el intercambio de experiencias hacia otras cooperativas que se inician en la actividad. Siendo quizá una de las más exitosas experiencias de cultivo de esta especie exótica en México.

Como producto de estas acciones, en 1976, algunas cooperativas obtuvieron en sus primeros ensayos de cultivo con el ostión Japonés, más de 2,000 toneladas, ascendiendo para 1982 a 4,137 toneladas, la cual se vio disminuida en 1985 que fue de 2,950 toneladas. En ese año la producción íntegra de ostión se obtuvo de la acuicultura y representó el 27% de la producción del Pacífico (Maeda-Martínez, 1990).

Por otra parte, en el Golfo de México es donde se produce la mayor cantidad de ostión a escala nacional (75%), el cual se genera mediante técnicas de cultivo extensivas y la explotación de bancos ostrícolas localizados en los sistemas lagunares. Así por ejemplo en el Estado de Tamaulipas la explotación se realiza en Laguna Madre, San Fernando, Laguna de

Morales, Soto La Marina y Barra del Tordo y su producción representa el 7% del total del Golfo de México. Veracruz produjo el 40%, satisfaciendo principalmente el mercado capitalino. La explotación se inició a partir de 1930, y aquí se encuentran registrados más de 22,000 socios cooperativistas que explotan cerca de 3,000 hectáreas ubicadas principalmente en las lagunas de Pueblo Viejo, Tamiahua y Tampamachoco.

El Estado de Tabasco logró una producción del 48%, en los bancos ostioneros que se localizan en la Laguna del Carmen, Pajonal, Machona, Tupilco y Mecoacán. La pesquería comercial se inició en 1941, con el establecimiento de la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera "Andrés García" en Michoacán, posteriormente en 1944 con la formación de la SSCP "Laguna Machona", en Villa de Sánchez Magallanes y en 1948 con la SSCP "Chiltepec Ejido Blanco", en el Municipio de Paraíso. Se cuenta con una superficie de cultivo en bancos de aproximadamente 1,900 hectáreas.

Finalmente, Campeche aportó el 5% de la producción, con poco menos de 100 socios registrados, que laboran principalmente en las lagunas de Atasta, Palizada Vieja, Estero Pargo y Balchacá (Rangel, 1990; SEMARNAP, 1998).

El ostión, es sin duda el organismo más importante entre los moluscos mexicanos, debido a los altos volúmenes que son extraídos en ambos litorales y del valor económico que esto representa.

Ciclo Biológico.

El ostión en su estado adulto es un bivalvo sésil, que se caracteriza por poseer dos valvas desiguales unidas por una débil charnela sin dientes; la valva izquierda es más cóncava y se encuentra adherida a un sustrato, en tanto que la valva derecha es aplanada y funciona como opérculo (Figura 27). La descripción del ciclo de vida del ostión que se presenta a continuación se basa en el ostión Americano (*C. virginica*), que es la especie de mayor importancia en el país.

Los organismos adultos no presentan dimorfismo sexual, son dioicos (es decir tienen sexos separados), presentan alternancia de sexos al final de su ciclo reproductor, ya que al principio actúan como machos y después como hembras, debido a la sencillez de su aparato reproductor lo que hace posible el cambio.

Cuando las gónadas alcanzan su madurez, un simple cambio en la temperatura del agua o de la salinidad son suficientes para promover la expulsión del esperma, el cual a su vez estimula a las hembras para liberar los óvulos. La fertilización tiene lugar en la columna de agua, dando así inicio al desarrollo larvario, el cual tiene una duración de 25 días aproximadamente, y que se caracteriza por presentar una fase planctónica en la que las larvas forman parte del zooplancton. Después de pasar por los estadios de blástula y gástrula, se forman las larvas trocófora, veliger, veliger umbada y pediveliger (Figura 28). A partir de esta última etapa, la larva pediveliger inicia la búsqueda de un sustrato firme, para fijarse utilizando para ello una glándula especializada presente en el pie, que segrega una sustancia cementante que le permite quedar adherida permanentemente a un sustrato, el cual puede ser la concha de otros ostiones, rama del mangle, madera, estructuras de

cemento, etcétera.

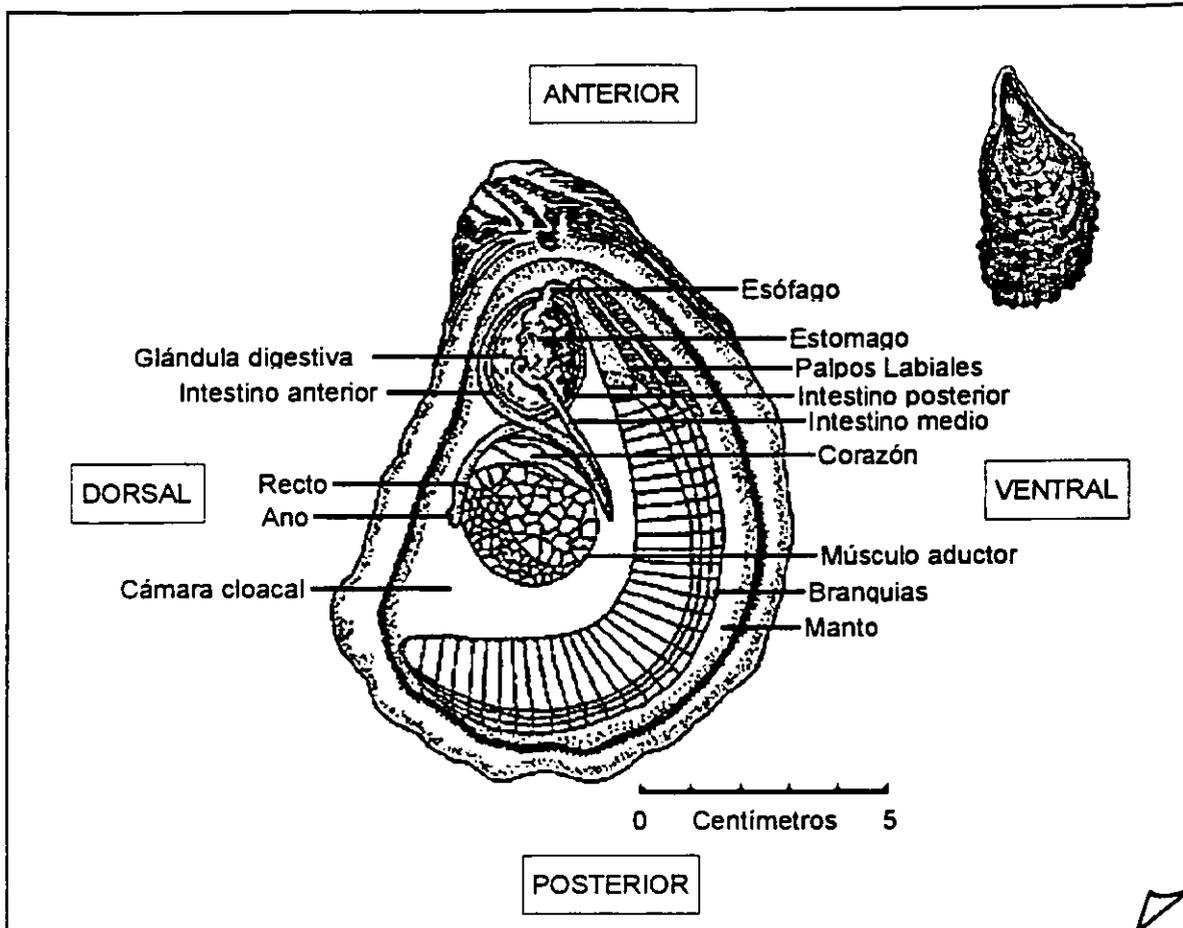


Figura 27. Estructura anatómica general del ostión.

Al llegar el momento de la fijación, la larva sufre un proceso de metamorfosis perdiendo por completo el vélum y desarrollando sus branquias, por lo que se desplaza al fondo para elegir el sustrato y adhiere su valva izquierda a éste, iniciando su vida sésil (Anónimo, 1988 d).

Desde el desarrollo larvario hasta la etapa sésil adulta, la dieta del organismo se compone principalmente de microalgas y bacterias. Las bacterias en forma libre, asociadas en colonias o bien adheridas a las partículas en suspensión, son importantes desde el punto de vista nutricional, además, los ostiones tienen la capacidad de asimilar la materia orgánica disuelta (Anónimo, 1988 d).

Debido a las diversas condiciones oceanográficas con las que cuenta nuestro país, los periodos de reproducción de las diferentes poblaciones de ostión varían a lo largo del año, tanto en el Golfo de México (Tabla 19), como en el litoral del Pacífico para las especies nativas (Tabla 20).

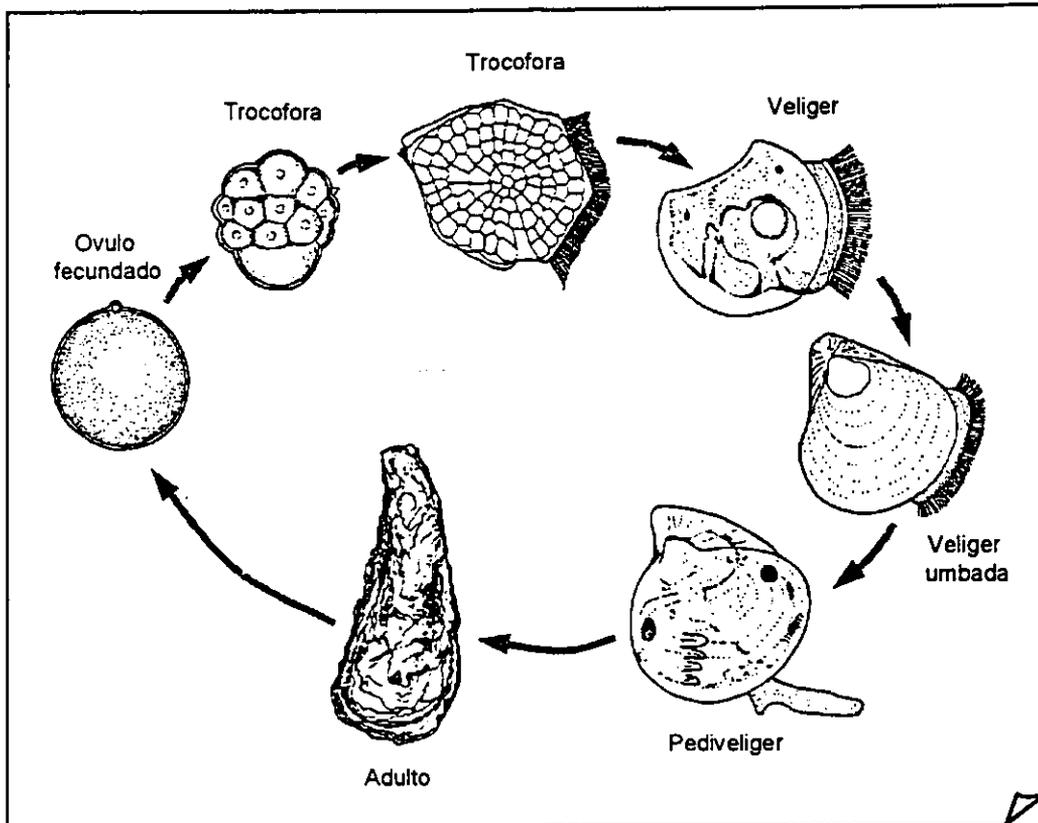


Figura 28. Diagrama del ciclo de vida del ostión.

Tabla 19. Zonas y periodos de reproducción de ostión en el Golfo de México (*C. virginica*)

Entidad	Periodo de desove	Lugar de desove
Tamaulipas	Abril a Junio y Octubre a Diciembre	Laguna de San Andrés: Canal de la Uva, Algodones, Bajo Morón, Garzas y Piedras Amarillas. Barra Ostional: Paso de Peñas, Curva Piedra, Ensenada y Estero Sur. Laguna de Morales: Viborero, Mogotito y Pelicano. Rio Soto la Marina: Carretas Paso de Joaquín y Salinas.
Veracruz	Marzo a Abril	Laguna de Pueblo Viejo: El Quemado, El Tanque, El Empilotado, La Ensenada y Frente a Mata de Chávez. Laguna de Tamiahua: Frente a la Rivera, Este de la Isla Juana R., Sur de la Isla Burros, Canal de Trabitás, Machungos Sur y Estero de Milpas. Laguna de Tampamachoco: Ensenada de Martínez y Frente a la Cooperativa Vieja.
Tabasco	Marzo a Abril y Agosto a Septiembre	Laguna Machona: El Triángulo y el Chichal. Laguna de Carmen: El Macayo y frente a la Barra. Laguna de Mecocacán: Graya, Belice I, Belice II, Paso de Bovote y Longaniza.
Campeche	Mayo a Junio	Boca de Atasta, Palizada Vieja, Boca de San Francisco y Estero Pargo.

Fuente: Anónimo, (1988 d).

En el caso del ostión Japonés (*C. gigas*), de los cultivos intensivos se seleccionan a los organismos con mejores características fenotípicas y mayor resistencia a las enfermedades, para acondicionarlos, promover su maduración y reproducirlos artificialmente en el laboratorio.

Tabla 20. Zonas y periodos de reproducción de ostión en el litoral del Pacífico Mexicano (*C. corteziensis*).

Entidad	Periodo de desove	Lugar de desove
Nayarit	Julio a Octubre	Sistema estuarino Camichin Mezcaltitlán: Frente a Camichin, Canal del estero Los Limones, Estero Troncones, Laguna Palizienta y Laguna Sabalos.

Fuente: Anónimo, (1988 d).

Factores ambientales.

Los ostiones en su mayoría, son habitantes típicos de esteros, desembocaduras de ríos y lagunas costeras. Sus relaciones con los factores ambientales son múltiples y variados (Ramírez y Sevilla, 1965). Galtsoff (1964), clasifica a los factores ecológicos que afectan a los ostiones en dos grupos: a) aquellos elementos favorables para su propagación, crecimiento y bienestar de la población y b) aquellos factores desfavorables que inhiben su crecimiento y reproducción (Tabla 21).

Tabla 21. Niveles óptimos y críticos de la calidad del agua en el cultivo de ostión.

Parámetro	Niveles óptimos	Niveles críticos
Temperatura °C	20 a 32	< 10 y > 35
Oxígeno disuelto mg/l	3 a 5	< 2
pH	6.5 a 8.5	< 6 y > 9.5
Salinidad ‰	26 a 27 <i>C. virginica</i> 15 a 36 <i>C. gigas</i>	< 10 y > 35
Transparencia del agua cm	25 a 35	< 5

Dentro de los elementos favorables están: la salinidad, temperatura del agua, concentración de oxígeno disuelto, pH, transparencia del agua y en relación con los desfavorables se encuentran: la competencia, la depredación y las enfermedades. A continuación se describen los factores fisico-químicos más importantes para su cultivo.

1. Temperatura.

Es uno de los factores ambientales que influye de manera directa sobre la distribución, supervivencia y abundancia de las ostras y sus larvas, ya que dicho parámetro actúa sobre la velocidad del filtrado, respiración, alimentación, maduración de las gónadas y desove, y por lo que respecta al estadio larvario, es el factor que limita, el desarrollo de los huevos, así como de la velocidad de crecimiento de las larvas (Loosanoff y Davis, 1963; Anónimo, 1988 d).

Para *C. virginica* Galtsoff (1964), señala que la temperatura adecuada para el desove de reproductores y fijación masiva de larvas es de 20 a 32 °C. No obstante, para la misma especie se ha marcado 20 °C como la temperatura óptima para el desove y 17 °C para el inicio de la reproducción en las hembras (Ramírez y Sevilla, 1965). Sin embargo, para *C. gigas*, el intervalo de temperatura va de 15 a 30 °C, siendo 23 °C la óptima para el desarrollo larval (Cahn, 1950).

2. Oxígeno disuelto (O.D.).

La cantidad de oxígeno disuelto en el agua está en función de la temperatura, salinidad, y la actividad fotosintética de los vegetales acuáticos, procesos de óxido-reducción de materia orgánica y la presencia de contaminantes, que normalmente presenta una variación estacional.

Los ostiones utilizan sólo una pequeña cantidad del oxígeno disuelto en el agua. En la mayoría de los casos, menos del 10% del disponible es removido del agua; ésta mínima utilización de oxígeno se debe al rápido transporte de agua que se realiza durante la filtración de partículas de alimento. Se estima que un valor de oxígeno disuelto de 3 a 5 mg/l, es suficiente para la supervivencia y crecimiento de estos bivalvos.

3. pH.

El pH está relacionado con el consumo de oxígeno disuelto, a un pH de 6.5 el consumo de oxígeno decae aproximadamente el 50% del normal, y rápidamente decrece a menos del 10% a un pH de 5.5.

El pH también tiene un efecto sobre la fecundación de los óvulos ya que un cambio de 8.1 a 7.0, da como resultado que solamente un pequeño porcentaje de óvulos sean fertilizados.

El pH tiene también una influencia en el proceso alimenticio de las ostras, existiendo condiciones óptimas entre 6 a 8.5; por debajo o por encima de este intervalo la alimentación puede interrumpirse.

4. Salinidad.

La salinidad tiene un efecto directo sobre el crecimiento y diferenciación de los ostiones. Los síntomas iniciales mostrados por la baja salinidad son de parcial o completa contracción del músculo aductor y disminución o cese de la corriente de agua a través de las branquias.

Cuando el cambio de salinidad es de 10 ‰ prolongado por varias horas, los ostiones permanecen con sus valvas cerradas y las funciones de respiración y alimentación se paralizan.

De igual forma la disminución excesiva de salinidad, inhibe la capacidad reproductora y el crecimiento de las larvas.

La salinidad normal es de aproximadamente de 26 a 27 ‰, ya que por debajo de 20 a 21 ‰ la etapa de fijación no se logra; así como salinidades arriba de 32 ‰ inhiben la formación de las gónadas en *C. virginica*.

Por lo que respecta a *C. gigas*, la salinidad óptima va de 15 a 36 ‰, siendo el óptimo para la fijación de 30 ‰.

5. Transparencia del agua.

La reducción de la transparencia del agua es debido a diversos factores tales como cantidad de partículas sólidas en suspensión, lo que afecta las funciones biológicas de los ostiones. Ramírez y Sevilla (1965) citado por Anónimo (1988 d), mencionan que la transparencia de las aguas, ocasionada estacionalmente en la época de crecientes e inundaciones, produce elevados índices de mortalidad en los bancos ostrícolas, motivado por interferencias en la alimentación y respiración así como otros procesos fisiológicos de estos moluscos. Considerando como valor mínimo en transparencia el de 5 cm, medido por la transparencia del disco de Sechii.

Tecnologías de cultivo.

Actualmente se reconocen tres tecnologías de cultivo que se utilizan en nuestro país para el cultivo del ostión (Tabla 22).

Tabla 22. Diferentes tecnologías utilizadas en el cultivo de ostión en México.

Tipo de tecnología	Actividades	Rendimientos
Extensiva	Captación de ostrillas en colectores o traslado de ostrillas. Acondicionamiento de fondos	< 6 a 20 kg/m ² /banco.
Semi intensiva	Captación de ostrillas en colectores. Producción de ostrillas con técnicas de laboratorio (hatchery). Cultivo en estantes, camas y cajas de plástico.	9.3 a 66 kg/arte de cultivo*
Intensiva	Producción de ostrillas en laboratorio. Fijación de ostrillas en colectores o en forma individualizada. Cultivos en estantes, trineos, columpios, balsas y línea larga.	1,000 a 10,000 kg/año/ unidad de cultivo**

* Se refiere a sarta, cama o caja de plástico.

** Se refiere a trineo, balsa o línea larga.

A continuación se describen las principales técnicas utilizadas en cada uno de los casos.

1. Cultivo extensivo.

Los sistemas extensivos son ampliamente utilizados en México, principalmente en las lagunas costeras del Golfo de México desde el Estado de Tamaulipas hasta el Estado de Campeche. Se caracterizan por abarcar amplias extensiones del fondo de las lagunas costeras, sobre las cuales se tiene un control mínimo dando como resultado rendimientos reducidos que fluctúan desde menos de 6 kg hasta 20 kg/m². La técnica utilizada en este sistema consiste en primera instancia en la captación de ostrillas por medio de colectores de conchas en las zonas de alta fijación, o bien el transplante de ostrillas de zonas donde tienen un escaso crecimiento y una elevada tasa de mortalidad a los bancos existentes o bien a otros nuevos que han sido acondicionados previamente.

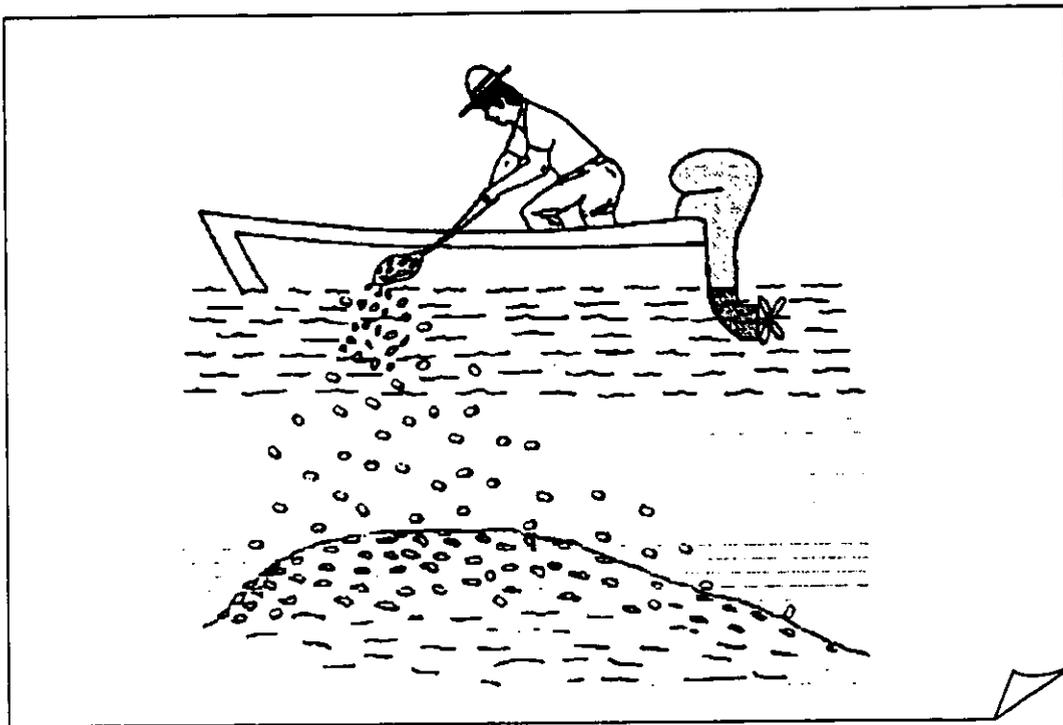


Figura 29. Acondicionamiento del fondo para el establecimiento de un banco ostrícola (Anónimo, 1988 c).

Este tipo de prácticas de cultivo se iniciaron en la década de los cuarenta, cuando se practicó en primera instancia el acondicionamiento de los fondos de la laguna de Tamiahua, Veracruz. Durante más de cuarenta años esta ha sido la técnica extensiva más utilizada en los sistemas lagunares del Golfo de México.

Esta técnica es simple y consiste en seleccionar una área adecuada para el desarrollo de los ostiones, cuyo fondo es acondicionado para el establecimiento del cultivo. Para ello se utilizan conchas vacías de moluscos bivalvos de dos tipos: a) la llamada concha verde que es del ostión recién desconchado y b) la seca que tiene un período de varios días fuera del agua

después del desconchado. Además, de que esta acción permite el establecimiento de nuevos bancos de ostión, las conchas sirven como substrato para nuevas fijaciones (Figura 29).

Una vez construido y acondicionado el fondo, se depositan las ostrillas que son obtenidas por medio de colectores de concha o bien que son transplantadas de sitios donde existe una gran cantidad, pero por su localización están expuestas a una elevada mortalidad o bien su tasa de crecimiento es muy baja. Estas ostrillas son transportadas hasta el banco en lancha y simplemente son arrojadas por medio de una pala, sin importar la manera en que se depositan en el fondo, lo cual produce en principio una elevada mortalidad y las que logran sobrevivir quedan expuestas a los depredadores naturales y es por esta razón que los rendimientos de estos bancos son variados e inciertos y dependen en gran medida de las acciones continuas de repoblación.

Estas técnicas permiten mantener una producción constante en las lagunas costeras, además de que los costos de producción son bajos. Mediante la aplicación de las mismas nuestro país puede mantener niveles de producción de ostión con concha de aproximadamente 40,000 toneladas anuales en unas 5,000 o 6,000 hectáreas de bancos localizados en los sistemas lagunares del Golfo de México.

2. Cultivo semi intensivo.

Los sistemas de cultivo semi intensivos dependen básicamente del suministro constante de ostrillas, las cuales pueden ser obtenidas del medio natural, aunque también es posible utilizar ostrillas producidas en laboratorio. Los tipos de cultivo incluyen sistemas o artes en suspensión tales como son los estantes o empilotados, las camas y las cajas o canastas de plástico.

a) Estantes o empilotados.

Los estantes y empilotados representan el fruto de largos años de experiencias. Con algunas pequeñas variantes, consisten en ubicar los "remolinos de corrientes" o puntos donde coinciden las corrientes marinas para construir las granjas de fijación; en estos puntos se entierran pilotes de mangle, PVC o concreto, y se atan travesaños de ramas de mangle. De los travesaños penden las "sartas" o "collares", que son conchas de bivalvos vacías, perforadas en el centro y atravesadas con piola de nylon, y que son colocadas cuando la incidencia de larvas silvestres es abundante. Las corrientes arrastran a las larvas de ostión a estas granjas, donde se fijarán a razón de una docena en promedio en cada concha madre.

Una vez obtenida una buena fijación en la concha madre, los collares son preparados y se transforman en sartas, simplemente colocando entre cada concha un nudo de la misma piola que la sostiene o bien un tubo de plástico o PVC de 10 cm de longitud, para permitir un espacio suficiente para el crecimiento de los ostiones hasta su talla comercial. Cada sarta se ata a los travesaños dejando un espacio de unos 20 cm entre cada una. Algunas veces desde el momento en que se preparan los collares de fijación, se dejan listos para que funcionen al mismo tiempo como sartas, lo cual facilita la labor y reduce la mano de obra. El largo de la sarta se determina de acuerdo a la profundidad donde se instalan los estantes (Rangel, 1990).

En el caso de las ostrillas provenientes de laboratorio, la fijación se realiza en piletas especialmente diseñadas, donde se colocan las sarts y se incluyen las larvas umbadas obtenidas en el laboratorio. Esta práctica es muy común en el laboratorio de Bahía Falsa en San Quintín, Baja California.

Los estantes donde se colocan los collares y sarts, se construyen con distintos materiales tales como varas de mangle u otate, de concreto o tubería de PVC, con dimensiones aproximadas de 1.2 m x 5 m, teniendo parte de su estructura enterrada en el fondo verticalmente y con travesaños que fungen como soportes de las sarts o collares, que están elaboradas de igual manera que para los sistemas intensivos (Figura 30). La profundidad donde se sitúan estas artes de cultivo es variable, aunque siempre se prefieren las zonas someras no excediendo los 3 metros de profundidad.

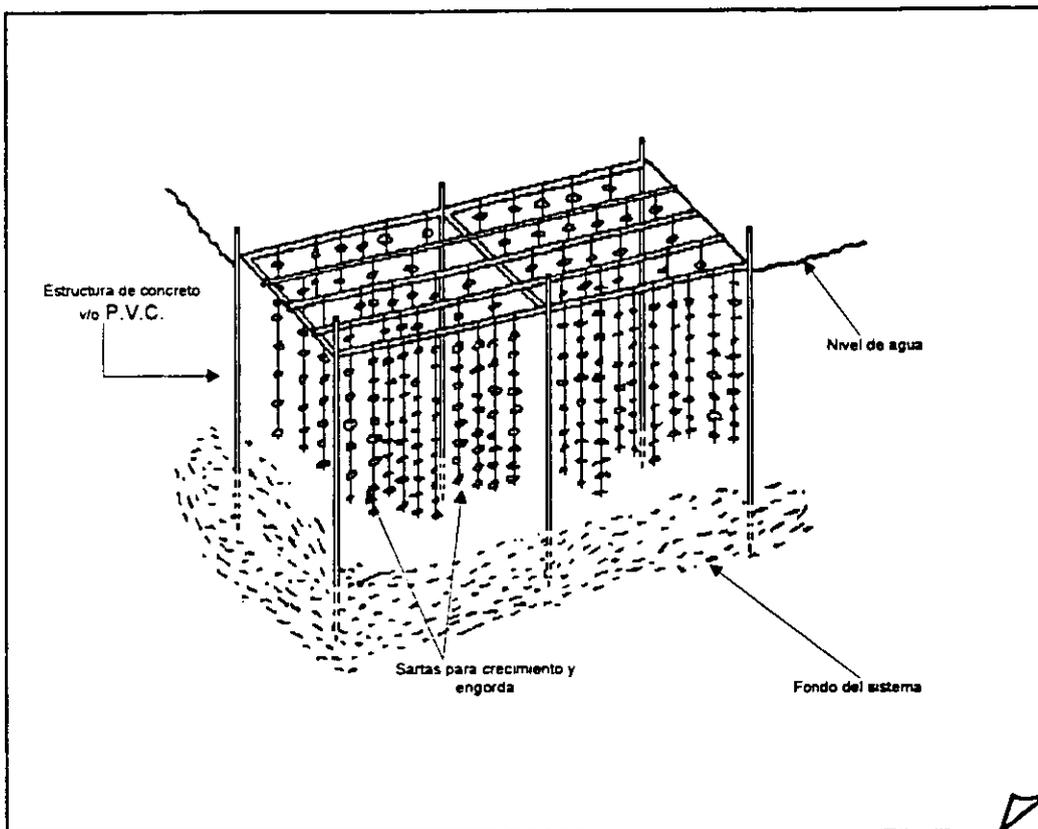


Figura 30. Estructura de un estante para el cultivo de ostión (Anónimo, 1988 c).

b) Camas.

Esta técnica de cultivo presenta algunas modalidades en cuanto a su diseño, así como en los tipos de materiales utilizados. En este sentido, es posible reconocer dos categorías: a) las flotantes y b) las fijas.

En el primer caso las camas se sujetan a una línea larga o a otras estructuras flotantes. Consiste en un costal de diferentes dimensiones que contiene un flotador que la mantiene sumergida a cierta profundidad. En Bahía Falsa, San Quintín, se utilizan para preparar a los ostiones para ser vendidos en mercados selectos, ya que su exposición constante a los movimientos de la masa de agua permite que los ostiones fortalezcan su músculo aductor, con lo que se hacen más resistentes al transporte.

En el caso de las camas fijas, su estructura está formada por estacas clavadas en el fondo, entre las cuales se mantiene estirada de manera horizontal una tela de plástico tipo vexar de 1 cm de luz de malla de 2 x 1 m, sobre esta y a manera de saco se colocan los ostiones para su cultivo (Figura 31). Las camas se colocan en áreas someras en la zona intermareal y se han utilizado como sustitutos de las cajas, sosteniendo un rendimiento mayor que éstas, ya que una cama soporta una densidad de carga de 1,500 ostiones.

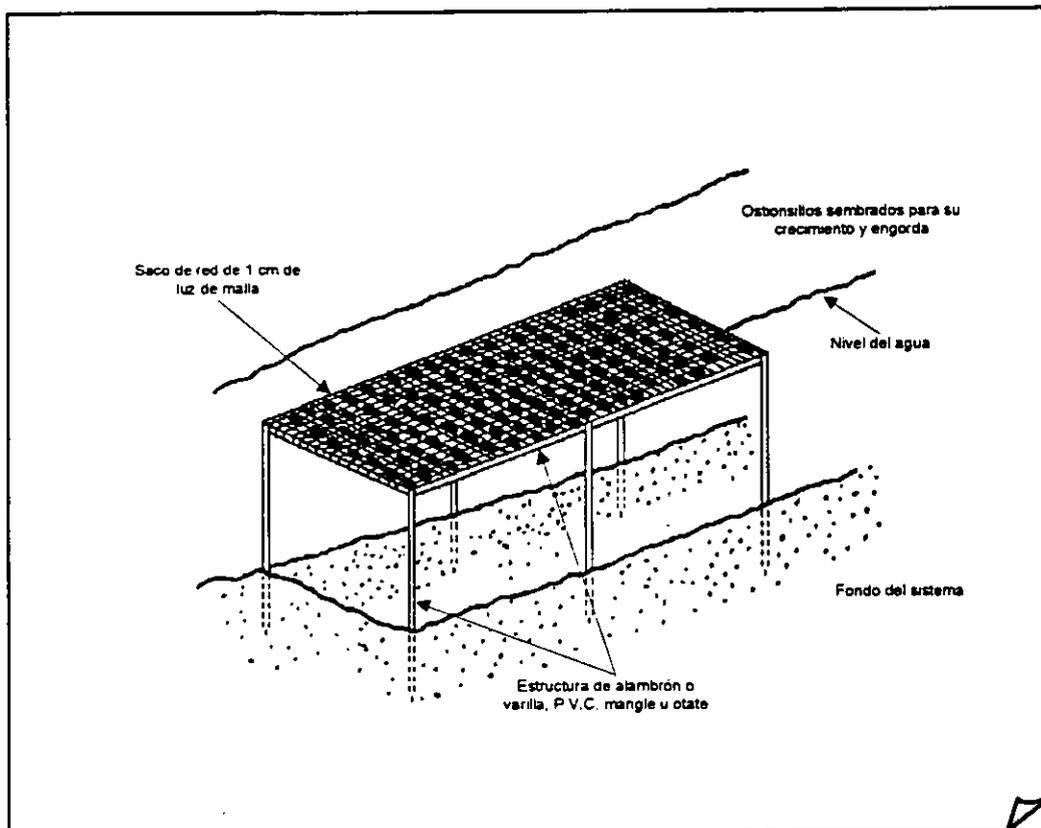


Figura 31. Estructura de una cama para el cultivo de ostión (Anónimo, 1988 c).

c) Cajas o canastas ostrícolas.

Estas artes de cultivo se han utilizado en México desde hace más de 20 años y consisten en cajas de plástico de alta resistencia de 58 x 58 x 7.30 centímetros, que tienen orificios de 1 cm de diámetro que permiten el paso del agua. Tienen la ventaja de que se pueden

ensamblar una sobre la otra formando lo que se conoce como módulos de cinco o más canastas. En la parte superior se coloca un flotador de poliestireno expandido, con el objeto de mantener en suspensión el módulo. Una vez formado el paquete se fleja con una cinta de plástico y una hebilla de acero galvanizado y finalmente se ata a un cable de nylon a la línea madre, la cual tiene flotadores y se mantiene anclada al suelo por medio de muertos de concreto.

En este sistema se utiliza semilla individual que se obtiene en el laboratorio y se pueden engordar hasta 80 ostiones por caja, por lo que un módulo puede producir 400 ostiones de talla comercial.

3. Cultivo intensivo.

Con la introducción del ostión japonés y la adopción de técnicas de cultivo intensivas la actividad experimentó un acelerado desarrollo (Juárez, 1988a y b). En estos sistemas el productor tiene un mayor control sobre los organismos; ya que se dominan todas las fases de cultivo (desde la reproducción y el desarrollo larvario, hasta el engorde hasta talla comercial), y además, sostienen los rendimientos más altos.

Estos sistemas, se representan en nuestro país primordialmente por las artes de cultivo de suspensión, entre las cuales se tienen: a) los trineos o columpios, b) las balsas o bateas y c) las líneas largas (long lines). A continuación se describen brevemente cada una de ellas.

a) Trineos o columpios.

La estructura general está formada por cinco tramos de madera a los cuales se fijan otros tantos de poliuretano expandido, distribuidos de tal forma que existan cuatro espacios entre los cuales se amarran, en forma longitudinal, siete líneas de cabo de propileno quedando una estructura de 3.5 m x 14 m. De las siete líneas se amarran y cuelgan las sargas, las cuales son elaboradas con conchas de bivalvos, en donde se fija la semilla en el laboratorio. Cada concha es perforada en el centro y anudada a intervalos de unos 10 cm hasta tener un total de 10 conchas por cada sarga, aunque esto depende de la profundidad donde se llevará a cabo el cultivo. Toda la estructura se fija al fondo de cada extremo con cabos amarrados a muros de concreto (Figura 32). Los trineos se sitúan en aguas profundas y protegidas como las ensenadas y pueden mantener hasta más de 50 ostiones por sarga o 350 por línea de talla comercial.

b) Balsas.

Están formadas por un sistema de flotadores de poliuretano expandido, fijado a una parrilla de madera de dimensiones variables entre 4 m x 4 m y 21 m x 6 m que se encuentran fijas al fondo por medio de unos cabos amarrados a muertos de concreto. En esta estructura se cuelgan las sargas solas ó en racimos entrelazados de 10 sargas cada uno ó bolsas con concha madre con las semillas cuyas tallas fluctúan entre los 6 y los 8 mm. Regularmente este arte se utiliza para pre-engorde y se ubica en áreas protegidas y profundas.

En el caso particular de Nayarit, se utilizan balsas que tienen dos estructuras flotantes de fibra de vidrio herméticamente selladas y travesaños de ramas de mangle, ancladas por medio de muertos de concreto o bien atadas a ramas de mangle. En los travesaños se cuelgan las sargas que pueden llegar a sostener más de 20 kg de peso. Cada balsa puede llegar a producir hasta una tonelada de producto de talla comercial.

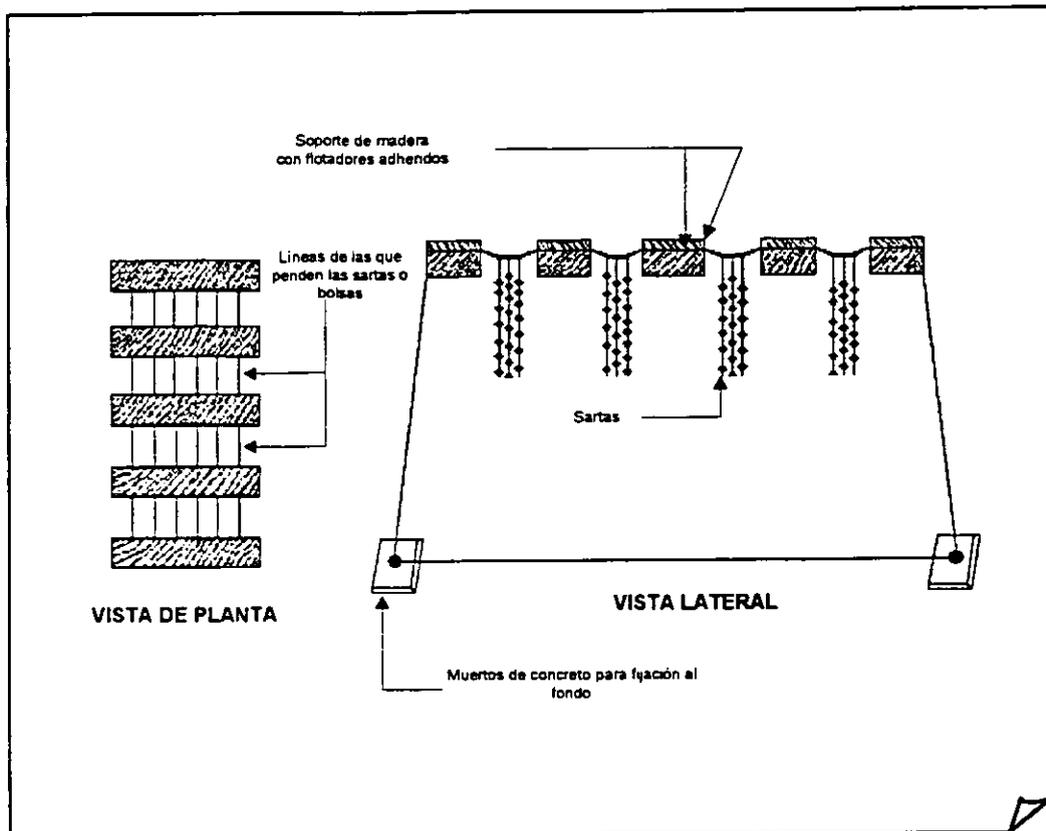


Figura 32. Estructura de un trineo o columpio para el cultivo de ostión (Anónimo, 1988 c).

c) Línea larga.

Esta arte actualmente ha sido utilizada para el cultivo de mejillón (*Mytilus galloprovincialis*) y el abulón (*Haliotis spp.*), no obstante se han hecho pruebas con el ostión Japonés (*C. gigas*). El sistema consiste en una o dos líneas de longitud variable con flotadores en los extremos, en los cuales se fija al fondo con muertos de concreto. A estas líneas se sujetan las canastas o sargas. En México las experiencias que se han tenido con estas artes de cultivo han sido exitosas, sobre todo en la producción de mejillón, aplicando la tecnología de producción desarrollada en el Mediterráneo en mar abierto.

La línea madre estándar en este caso consiste en un cable submarino de cuatro segmentos de 50 m cada uno, cuya línea madre se encuentra sumergida cinco metros o más por debajo de la superficie del mar. Tiene un tirante en cada uno de los extremos y cinco "patas". En total

se fija con siete muertos de concreto de una tonelada de peso cada uno. Los flotadores en los extremos de las patas y los tirantes se mantienen tensionados. De los cuatro segmentos horizontales cuelgan las cuerdas de cultivo y en total soporta 350 cuerdas de 6 o 7 metros de longitud cada una, por lo que cada línea madre puede producir hasta 15 toneladas de ostión Japonés (Guevara, 1993).

Laboratorios de producción de ostrillas.

De acuerdo con Arriaga y Rangel (1988), en la década de los ochenta existían al menos cinco laboratorios productores de ostrillas de ostión, de los cuales al menos tres de ellos permanecen operando en la actualidad (Tabla 23). Todos ellos producen ostrillas de ostión Japonés (*C. gigas*).

Tabla 23. Laboratorios productores de semilla de ostión Japonés.

Estado	Municipio	Localidad	Propietario
Baja California	Ensenada	Ejido Eréndira	SEMARNAP
Baja California	Ensenada	Ejido Chapala	SCPP Bahía Falsa
Baja California Sur	Comondú	San Buto	SEMARNAP
Sonora	Hermosillo	Bahía Kino	Gobierno del Estado
Navarrit	San Blas	San Blas	SEMARNAP

SCPP: Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera.

Fuente: Arriaga y Rangel, (1988).

Las actividades de producción de ostrillas en laboratorio, implican básicamente dos procesos paralelos y estrechamente relacionados. Por una parte, la producción masiva de microalgas, que es la base fundamental de la alimentación de los organismos en sus diferentes estadios y por otra el acondicionamiento de los reproductores, el cultivo larvario, la fijación de la larva pediveliger, la obtención de ostrillas en collares o sartas, la obtención de semilla de manera individual y el pre-engorde de la ostrilla hasta una talla aceptable para ser transportada a los sistemas o artes de cultivo antes mencionados.

El cultivo de microalgas es el primer paso en la producción de ostrillas de ostión, ya que constituyen el alimento natural por excelencia para los diferentes estadios de desarrollo. En principio se requiere el aislamiento o la adquisición de cepas puras de especies seleccionadas por su tamaño, por su calidad nutricional y por su capacidad de adaptación a los sistemas de cultivo, entre las cuales destacan algunas especies de *Isochrysis*, *Monochrysis*, *Chaetoceros*, *Dunaliella* y *Tetraselmis*; el mantenimiento de las cepas; el cultivo inicial en cristalería, la producción masiva en ambiente controlado y la producción masiva en ambiente semi-controlado o en el exterior.

En general el cultivo se inicia a partir de cepas puras aisladas *in situ* o bien adquiridas de alguna colección en particular (el CICIMAR en la Paz, Baja California Sur o CICESE, en Ensenada, Baja California, disponen de colecciones importantes para la producción en el Pacífico). El cultivo de microalgas requiere de varias etapas que se inicia con la resiembra en tubos de ensayo, de ahí se pasan a matraces erlenmeyer de 125, 250, 500, 1,000 y 4,000 ml. La etapa que sigue es la producción en volúmenes intermedios lo cual se realiza en garrafones de 9 a 18 litros de capacidad, bolsas de plástico, cilindros transparentes o

estanques. El cultivo en recipientes mayores se lleva a cabo en el interior o el exterior de los laboratorios. La densidad de microalgas por mililitro se calcula mediante cámaras de conteo Coulter o hematocitómetros. La experiencia del productor ayuda a determinar el momento en el cual el cultivo se encuentra en su fase estacional y las microalgas pueden ser utilizadas para la alimentación de las larvas, ostrillas o bien los adultos.

Aunado a la producción de microalgas, que debe ser una actividad constante durante todo el año, se seleccionan los mejores reproductores de los sistemas de cultivo considerando criterios fenotípicos y genotípicos, o bien se adquieren de otros sitios de cultivo para mantener su variabilidad genética. Los organismos son transportados en los meses fríos del año y se colocan en condiciones controladas en el laboratorio, mediante lo cual es posible retrasar, mantener o acelerar el desarrollo gonádico e iniciar la inducción a la reproducción en el momento apropiado.

Los aspectos fundamentales que se tienen que controlar son: a) la alimentación y b) la temperatura. En el primer caso, la cantidad y calidad de las microalgas utilizadas en la alimentación debe ser la adecuada de tal manera que promueva el desarrollo de la vitelogénesis y cubra en general los requerimientos nutricionales de los reproductores. Una vez que los reproductores inician su desarrollo gonadal y con el objeto de que la madurez continúe hasta la expulsión de los productos sexuales, se requiere de una temperatura entre los 14 y 17 °C. Para inducir la gametogénesis es necesario incrementar la temperatura de 17 a 28 °C, en un lapso de dos a cuatro horas. A este proceso se le conoce como estímulo térmico y es la técnica más utilizada en los laboratorios.

Los productos sexuales se pueden obtener de manera separada y la fertilización se lleva a cabo mediante la adición de una suspensión diluida de espermatozoides al recipiente contenedor de los óvulos. Después de 30 minutos de iniciada la fertilización al menos el 90% de los óvulos deberán estar fecundados. En seguida se cuantifican los huevos fecundados y se colocan en los tanques de cultivo de larvas.

El cultivo de larvas se realiza durante un periodo de dos a tres semanas, durante las cuales se mantienen en los estanques a densidades decrecientes, iniciando con 10 larvas por mililitro en el estadio de larva "D", 5 por mililitro para larvas umbadas, de 2 a 3 por mililitro para larvas pediveliger tempranas y de 1 a 2 por mililitro en el estadio de larva pediveliger avanzado previo a la fijación (Anónimo, 1988 c).

La cantidad de alimento va en aumento conforme avanza el desarrollo larval, iniciando con una concentración del orden de 30,000 células/ml y finalizando con 100,000 células/ml.

Cada tercer día los estanques de cultivo se drenan, captando las larvas por medio de tamices de malla sintética con una porosidad acorde con el tamaño de las mismas. Estas se colocan en estanques limpios con agua marina filtrada y esterilizada. Cuando están listas las larvas para fijarse a un substrato, se utilizan dos técnicas. La primera es para obtener semilla suelta o individual y para ello la fijación se lleva a cabo en gránulos de concha molida o en láminas de plástico. En la segunda por lo general se utilizan collares de concha de ostión o de almeja que son sumergidos en estanques de concreto y posteriormente se agregan las larvas pediveliger umbadas, se tapan con plástico negro y se esperan 24 horas para lograr la

fijación.

En las figuras 33 y 34 se muestran algunos aspectos del cultivo de ostión en nuestro país.

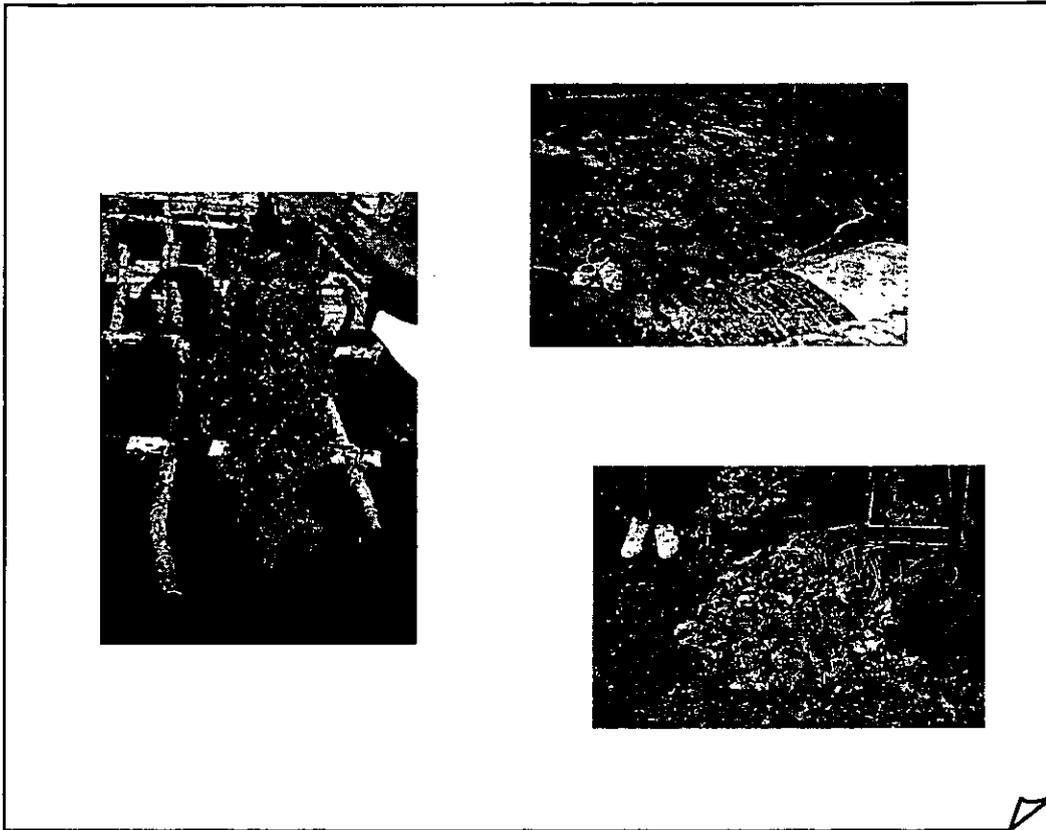


Figura 33. En las fotografías se muestra a la izquierda el cultivo de ostión de placer en balsas en Nayarit; en la parte superior derecha una pileta de fijación de ostrillas en concha madre y en la parte inferior los collares elaborados con concha y piola de nylon.

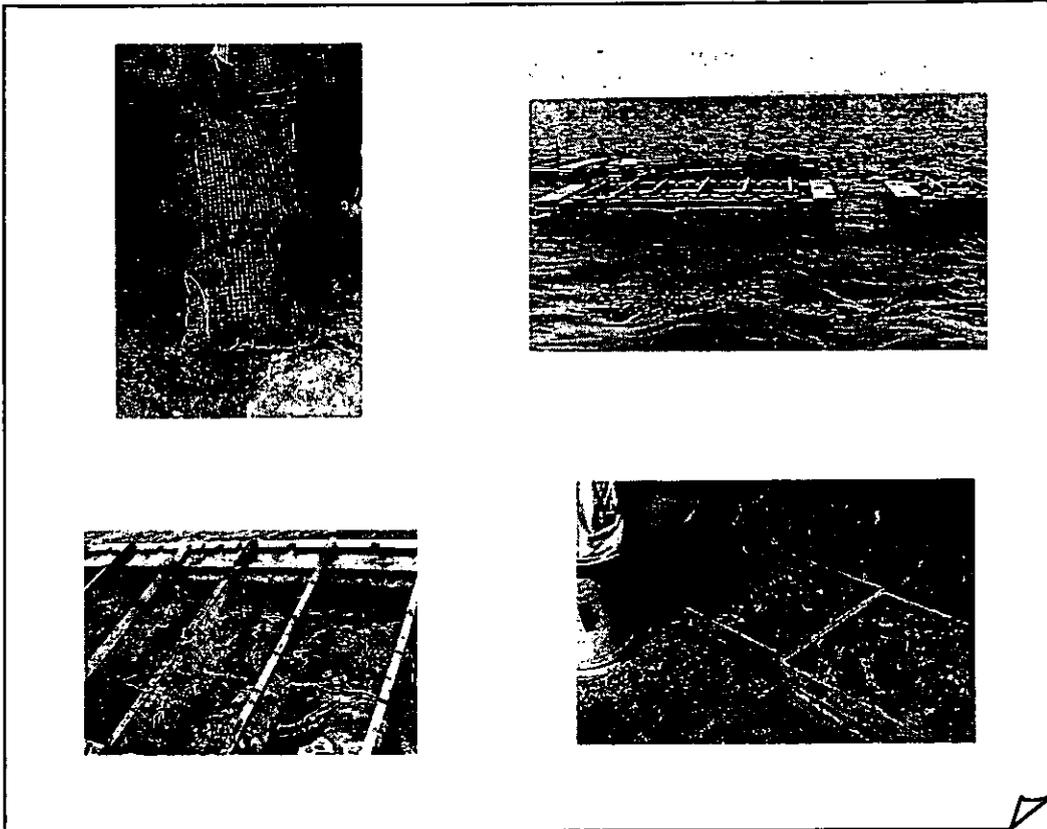


Figura 34. Se muestran algunos aspectos del cultivo de ostión. En la parte superior izquierda un costal de ostión para el cultivo en camas; a la derecha vista general de un trineo; en la parte inferior izquierda una estructura de una balsa y a la derecha las cajas o canastas ostrícolas.

PECES

Mojarra-tilapia (*Tilapia* y *Oreochromis*).

La mojarra-tilapia son un grupo de peces introducidos a nuestro país en 1964, que han tenido un gran éxito de adaptación principalmente en las presas y que aportan cantidades significantes de producción a las estadísticas pesqueras. Durante más de treinta años se han introducido varias especies y variedades. De acuerdo con la información disponible hasta el momento, se cuenta con dos especies del género *Tilapia* y cuatro especies del género *Oreochromis*, además de seis variedades y algunos híbridos (Tabla 24, Figura 35).

Tabla 24. Especies, variedades e híbridos de tilapia introducidos y cultivados en México.

Nombre común	Nombre científico	Hábitos alimenticios
Mojarra-tilapia	<i>Tilapia rendalli</i>	Herbívora
	<i>Tilapia zillii</i>	Herbívora
Mojarra-tilapia	<i>Oreochromis aureus</i>	Microfaga
	<i>Oreochromis niloticus</i>	Microfaga
	<i>Oreochromis mossambicus</i>	Macrofaga
	<i>Oreochromis urolepis hornorum</i>	Macrofaga
	Variedad <i>mossambicus</i> roja	Macrofaga
	Variedad <i>niloticus</i> roja	Microfaga
	Variedad <i>niloticus</i> blanca	Microfaga
	Variedad <i>niloticus</i> Stirling	Microfaga
	Variedad <i>aureus</i> azul	Microfaga
Pargo cerezo	Híbridos rojos	Microfaga
Rocky Mountain	Híbrido (<i>O. niloticus</i> x <i>O. aureus</i>)	Microfaga

Si bien en nuestro país existen estas especies, variedades e híbridos, las más utilizadas en actividades piscícolas son las que tienen hábitos alimentarios micrófagos como es el caso de *O. niloticus* y *O. aureus* y muy poco se ha hecho con las especies del género *Tilapia*, que son preferentemente herbívoras.

Durante algún tiempo *O. mossambicus*, presentó una mayor importancia en los centros de producción acuícola de la SEMARNAP que producen crías de tilapia. Actualmente, si tomamos como punto de referencia el número de crías producidas anualmente, el primer lugar lo ocupa *O. niloticus* con más de 86 millones producidas en el año de 1996 y las especies del género *Tilapia* han sido relegadas y no se producen más en estos centros, a pesar de que en Brasil esta especie ha alcanzado un gran éxito.

Las experiencias de los piscicultores mexicanos realizadas en distintas regiones y durante varios años, indican que en el futuro las especies y variedades que se utilizarán en los sistemas de cultivo serán aquellas que ofrezcan las siguientes características:

- a) Una buena tasa de crecimiento a distintos intervalos de temperaturas.
- b) Resistentes a las enfermedades.
- c) Atractivas para el consumidor.

- d) Especies micrófagas que reduzcan los costos de alimentación y ofrezcan la mejor rentabilidad económica y financiera a las unidades de producción.

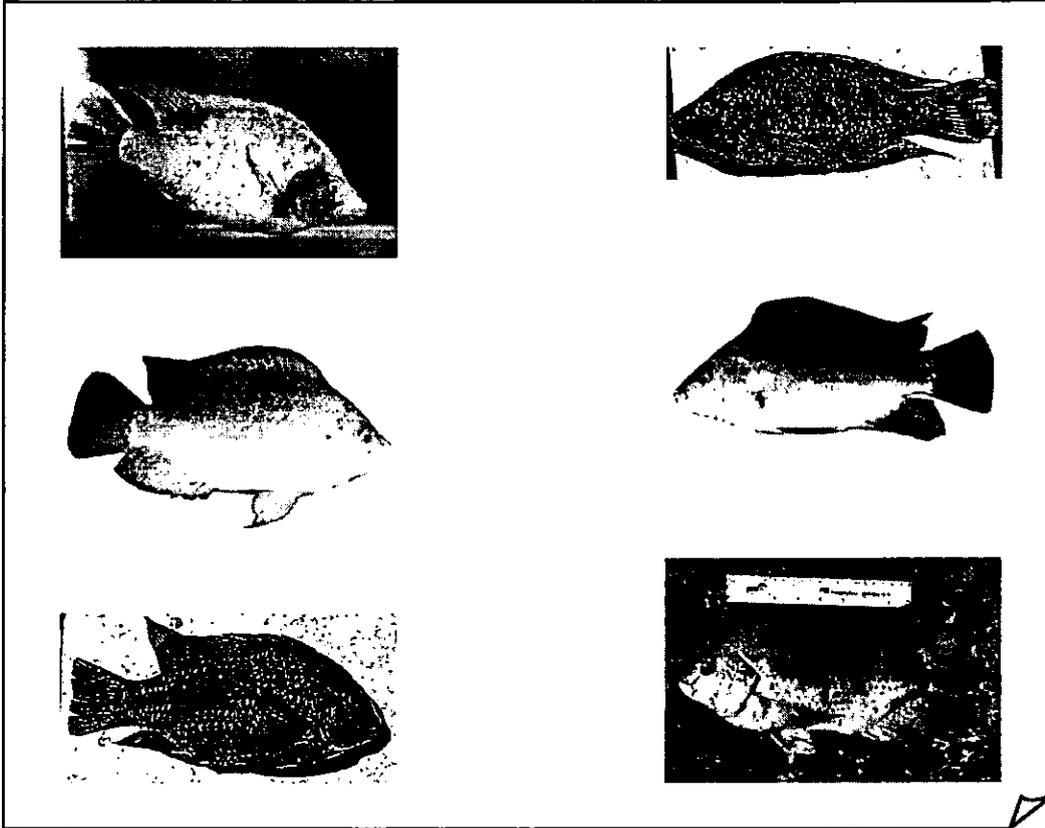


Figura 35. Principales especies que se cultivan en México. De izquierda a derecha y de arriba hacia abajo tenemos a: *O. mossambicus* roja, *O. mossambicus*, variedad Rocky Mountain, *O. niloticus*, *Tilapia rendalli* y *Oreochromis aureus*.

En este caso las especies del género *Oreochromis* y sus híbridos ofrecen las mejores alternativas para el cultivo.

La producción de mojarra en general, se ha incrementado notablemente en los últimos diez años pasando de 67,000 toneladas en 1985 a 94,000 en 1996 (Figura 36), aunque esta producción considera también a un grupo de especies nativas del género *Cichlasoma*, sin embargo, el mayor aporte esta dado por las especies del género *Oreochromis spp.*

Estos volúmenes de producción en su mayoría corresponden a pesquerías derivadas de la acuicultura, y se calcula que en sistemas controlados en 1998 se lograron producir más de 600 toneladas (SEMARNAP, 1998).

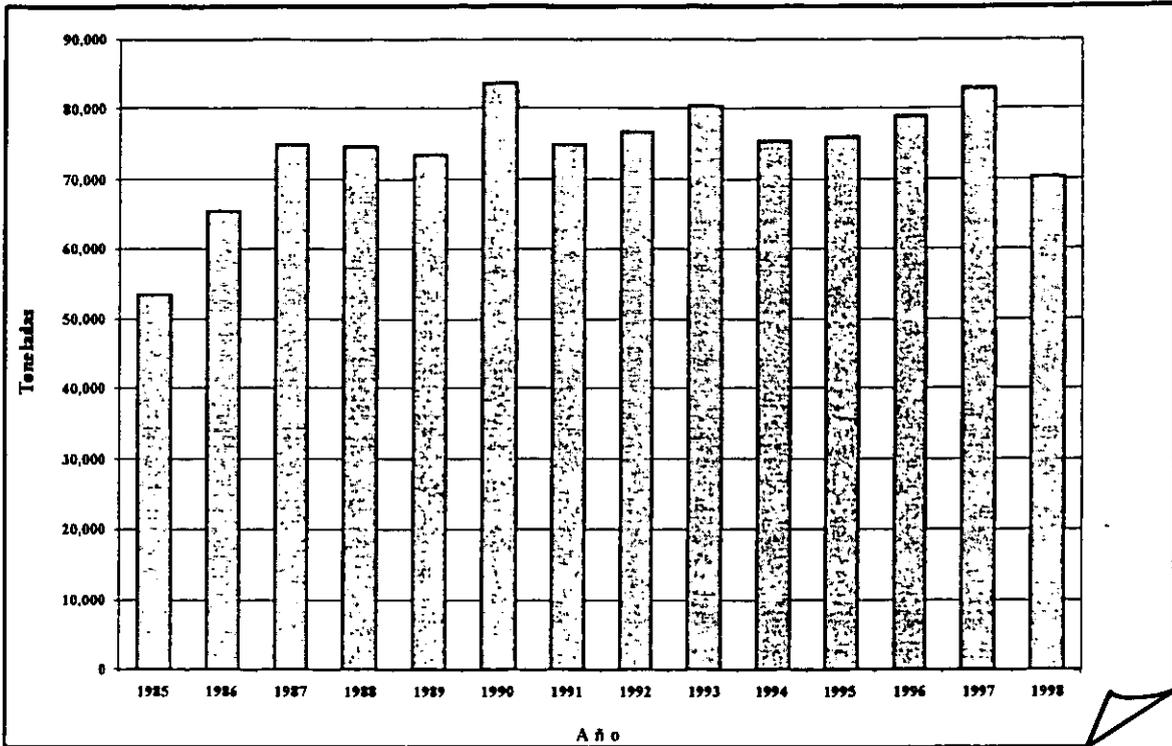


Figura 36. Producción total de tilapia durante el periodo 1985-1998 (SEMARNAP, 1998).

Antecedentes.

La mojarra tilapia pertenece al grupo de peces ciclidos de la tribu Tilapiini originarios de Africa Oriental. Algunas de sus especies han sido cultivadas en estanques desde el año 1,000 a.C. No obstante, no es sino hasta el presente siglo cuando esta especie recibe la atención de los piscicultores en el ámbito mundial.

En Kenia en 1924, se inició el cultivo experimental de la tilapia, continuándose después en Zaire de manera más organizada e intensiva y popularizándose en Sudáfrica y Rodesia. Simultáneamente desde Java se difundió la tilapia hacia todo el sudeste asiático, de tal manera que esta variedad se le dio el nombre de tilapia de Java, donde al principio fue considerada como indeseable, sin embargo, al no poderse practicar el cultivo del sabalote *Chanos chanos* durante la II Guerra Mundial con la ocupación japonesa, la tilapia la sustituyó y alcanzó un éxito insospechado. Los primeros resultados del cultivo de esta especie obtenidos en Malasia, causaron grandes expectativas en relación con su potencial productivo y ello contribuyó a que de 1950 a 1970 la tilapia fuera distribuida al resto del mundo tanto en zonas tropicales como subtropicales (Aguilera y Noriega, 1986).

El cultivo de tilapia se inició en México en 1964, con la importación de los primeros ejemplares procedentes de la Universidad de Auburn, Alabama, EUA, las cuales fueron depositadas en la Estación Piscícola de Temascal, Oaxaca (Morales, 1974). Las especies

introducidas en ese año fueron identificadas como: *Tilapia rendalli*, *Oreochromis mossambicus* y *O. aureus* las cuales fueron distribuidas ampliamente en una gran cantidad de cuerpos de agua naturales y artificiales en las zonas tropical y templada del país, constituyendo así las primeras acciones de fomento para su cultivo (Arredondo, 1983).

Posteriormente en 1978, se introdujo la tilapia del Nilo (*O. niloticus*), en el mismo sitio procedente de Panamá, Centro América. En 1981, se implementaron programas de reproducción controlada en jaulas flotantes con la llegada al país de la tilapia roja *Oreochromis mossambicus* y *O. urolepis hornorum*, distribuyéndose a los centros acuícolas de Zacatepec y el Rodeo, Morelos, provenientes de EUA a través de la Empresa Natural Systems, ubicada en Palmeto, Florida.

En 1986 la primera línea roja de *Oreochromis niloticus* llega a México, procedente de la Universidad de Stirling, Escocia, especie que se introdujo en el Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del IPN, Unidad Mérida, de donde fue distribuida a varios centros de la entonces Secretaría de Pesca (ahora Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, SEMARNAP). En 1987 nuevamente se introduce *O. urolepis hornorum*, y *O. mossambicus*, así como la *Tilapia zillii* y a partir de este año tanto el Gobierno a través de la entonces Secretaría de Pesca, gobiernos de los estados así como algunos productores privados introducen algunas nuevas variedades como la tilapia híbrido rojo, procedente de Puerto Rico, la tilapia blanca conocida como Rocky Mountain, traída de los EUA, la *Oreochromis aureus* procedente de Cuba y la *O. aureus* azul, entre otras (Arredondo y Lozano, 1996).

Su adaptación en nuestro país ha sido amplia, principalmente en las zonas cálidas como sucede en los estados de Oaxaca, Tabasco, Chiapas, Michoacán, Veracruz y Sinaloa. Su establecimiento en cuerpos de agua diversos ha permitido disponer de fuentes de proteína y la generación de empleos, derivado de las pesquerías, en esas entidades federativas. Sin embargo, las cifras oficiales de captura son aproximadas, ya que no se incluye la captura en cuerpos de agua pequeños que no tienen un control ni un registro pesquero, ni la producción acuícola que es obtenida en las unidades de producción en el país, con lo cual el monto del desembarque en peso fresco podría fácilmente rebasar las 100,000 toneladas anuales, siendo por esto una de las tres principales especies en las pesquerías del país, con un impacto importante a escala mundial, ya que en 1993 la producción nacional de tilapia representó la quinta parte de la producción mundial (de acuerdo con las estadísticas de la FAO, 1997).

Ciclo biológico.

Las especies de tilapia presentan características que les permiten desarrollarse en diversas condiciones climáticas, ya que son especies euritérmicas, que resisten una amplia gama de temperatura del agua, siendo su intervalo de tolerancia desde los 12 a los 42 °C. Existen líneas que son más resistentes a las bajas temperaturas como es el caso de la tilapia del Nilo, la variedad Stirling y la Rocky Mountain. Por otro lado, pueden vivir en aguas dulces, salobres y marinas. Por lo que se les considera especies eurihalinas, con un intervalo de tolerancia que va desde agua dulce hasta 40%, las especies de *O. mossambicus* y sus híbridos, así como *Tilapia zillii* son capaces de crecer en aguas marinas y de hecho la primera sostiene cultivos importantes en varias partes del mundo en este ambiente.

Se reproducen a temprana edad, alrededor de las 8 ó 10 semanas, teniendo una talla entre 7 a 16 cm, por lo que dificulta el control de la población de los estanques donde se cultiva. En las especies de *O. urolepis hornorum* y *O. mossambicus*, el macho presenta una marcadaterritorialidad, sobre todo en época de reproducción. Su fecundación es externa y el número de huevos producidos por hembra varía según la especie, talla y peso de los reproductores, así por ejemplo una hembra con un peso de 200 gramos produce de 800 a 1,000 huevos por desove.

Respecto a sus hábitos alimentarios son diferentes de acuerdo a la edad y a la especie, encontrándose especies herbívoras como el caso de *Tilapia rendalli*, cuya alimentación en sus primeros estadios de desarrollo consiste en microorganismos integrantes del fitoplancton y posteriormente se alimenta de algas filamentosas y de tallos y hojas suaves de plantas superiores. Por su parte *O. mossambicus*, *O. aureus* y *O. niloticus* son especies micrófagas que consumen fitoplancton, pequeños crustáceos y detritos, lo que hace posible la utilización de fertilizantes orgánicos y químicos que favorezcan la productividad primaria y secundaria y la aplicación de alimentos suplementarios (Pullin, 1983) (Figura 37).

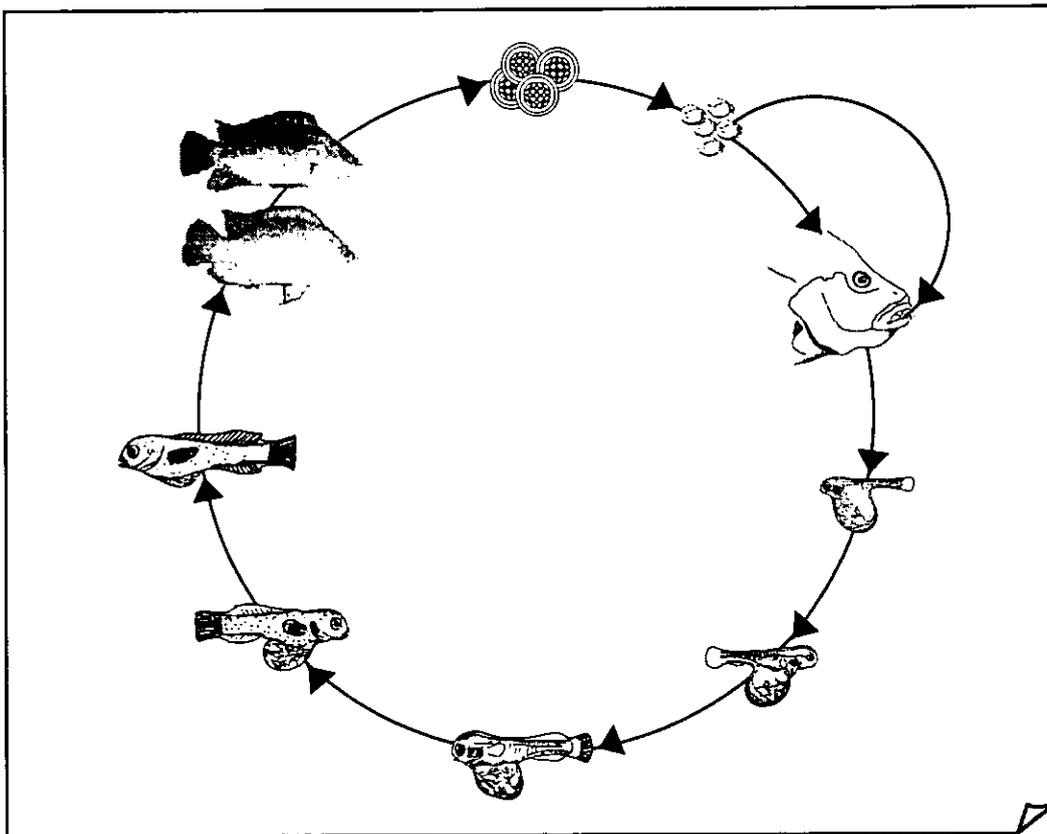


Figura 37. Ciclo de vida del género *Oreochromis*.

Reproducción.

Las tilapias son heterosexuales, es decir, tiene sexos separados. Diversos factores influyen sobre la madurez sexual, entre ellos se tiene el fotoperiodo; la temperatura (la cual debe permanecer por arriba de los 24 °C) y la presencia del sexo opuesto. Los organismos alcanzan la madurez sexual a partir de los 2 ó 3 meses de edad y a una longitud de 8 a 16 cm (Uchida y King, 1962). La frecuencia de desove varía considerablemente dependiendo de los factores climáticos, pudiendo ser desde 6 a 16 veces al año (Chimits, 1955; Chen, 1969). En México se ha observado reproducciones en esta especie hasta 10 veces al año (Morales, *et al.*, 1988).

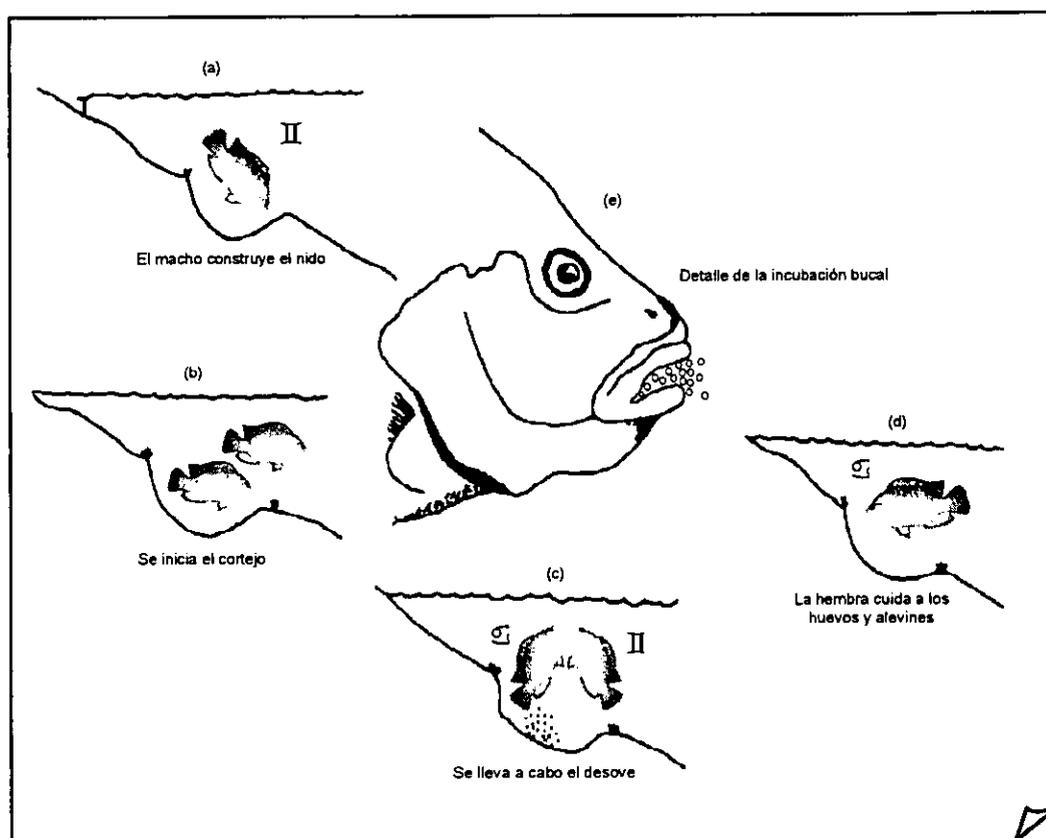


Figura 38. Conducta reproductiva de las especies del género *Oreochromis*.

Los cíclidos de esta tribu se caracterizan por ser especies que hacen nidos y cuidan a sus crías. El macho construye el nido en el fondo del estanque, ejerciendo cierta territorialidad, cuidando el nido, y esperando a la hembra para su apareo. La forma de los nidos es característica de cada especie. Cuando está terminado, la hembra deposita dentro de él los óvulos y el macho los fecunda (Figura 38).

Por otro lado, en las especies que son incubadoras bucales (Figura 39), los huevos fertilizados son recogidos por la hembra depositándolo en la cavidad inferior de la

mandíbula y los conservan en ella durante el tiempo que dura el desarrollo embrionario (género *Oreochromis*). En el caso del género *Tilapia*, el huevo al ser fecundado es incubado y protegido por la hembra y el macho hasta su eclosión en el fondo del nido. Algunas características que diferencian a estos dos géneros se presentan en la tabla 25.

Las hembras de incubación bucal ejercen agresividad con otros peces durante la etapa de reproducción que dura entre 3 y 5 días. Esta misma actitud se observa cuando las crías se han formado completamente y nadan en cardúmenes. Al notar la presencia de otro pez cerca del cardumen vuelve a protegerlos en la cavidad bucal. Este comportamiento se realiza 8 días después de la eclosión. El macho después de fecundar a la hembra puede aparearse con otra, mientras que la hembra tiene un período de recuperación que varía entre los 20 y 30 días.

Tabla 25. Diferencias entre los géneros *Tilapia* y *Oreochromis*.

	<i>Oreochromis</i>	<i>Tilapia</i>
1	Preferentemente planctónicas	Preferentemente herbívoras
2	Pocos huevos (menos de 2,000) con gran cantidad de vitelo (2.2 a 4.3mm)	Muchos huevos (más de 2,000) con poca cantidad de vitelo (1.5 mm)
3	El macho desarrolla una coloración muy marcada en la época de reproducción y fija su territorio en donde establece su nido	Ambos sexos desarrollan una fuerte coloración en la época de reproducción y fijan su territorio para ahí construir su nido
4	Periodo prenupcial corto	Periodo prenupcial largo
5	El macho es polígamo y usa el nido como un sitio temporal para el cortejo y la fertilización de los huevos	Una pareja puede permanecer junta y desova repetidas veces en una relación aparentemente monógama
6	Las hembras guardan los huevos y alevines en la boca	Ambos guardan los huevos y alevines en el nido
7	Alta supervivencia debido al cuidado maternal	Baja supervivencia en los estadios
8	Los nidos tienen forma de cráter circulares	Los nidos se presentan en forma de pequeños orificios

Fuente: Arredondo y Guzmán, (1986).

El tamaño de los huevos es variable, así por ejemplo los de *Tilapia rendalli* miden 2.5 mm de diámetro y cada hembra pone entre 700 a 1,000. El desarrollo embrionario dura de 4 a 5 días a una temperatura de 20 °C; las otras especies tienen huevos más pequeños y el número de éstos varía de acuerdo al tamaño de los reproductores (Rothbard *et al.*, 1983; Morales *et al.*, 1988).

En el caso particular de la tilapia *O. niloticus*, algunos datos ilustran su capacidad reproductiva (Tabla 26).

Tabla 26. Indicadores de reproducción de *O. niloticus*.

Conceptos	Datos
Edad de reproducción	4 a 6 meses
Peso de reproducción	50 a 100 g
Temperatura de desove	25 a 30 °C
Número de huevos por hembra	100 a 2,000 huevos por desove
Número de alevines de una hembra de 200 g	250 a 500 alevines cada 4 o 5 semanas
Peso de los mejores reproductores	100 a 200 g

Fuente: Bocek, (1996).

Factores ambientales.

La calidad del agua apropiada para el cultivo de la tilapia está dada por las propiedades físico-químicas, entre las más importantes se tiene: la temperatura del agua, la concentración de oxígeno disuelto, el dióxido de carbono, la salinidad, el pH y la turbiedad. Debido a su elevada capacidad de adaptación esta especie puede crecer y reproducirse en numerosos cuerpos de agua del país, desde aquellos que presentan aguas blandas y poco mineralizadas, hasta aquellos con aguas duras y eutróficas (Tabla 27) (Cabañas, 1995).

Tabla 27. Parámetros de calidad del agua para lograr una buena supervivencia, crecimiento y reproducción de la tilapia.

Parámetros fisicoquímicos	Intervalo óptimo	Intervalo crítico
Temperatura (°C)	24 a 29	< de 12 y > de 30
Oxígeno disuelto (mg/l)	> 3 a 5	< 1
CO ₂ (mg/l)	< 30	> 50
Salinidad (‰)	< 20	> 20
pH	6.5 a 7.5	< 6 y > 9
Turbiedad (mg/l)	< 25	> 100
NH ₃ + NH ₄ ⁺ (mg/l) (nitrógeno amoniacal)	< 0.8	> 3.0
NO ₂ (mg/l) (nitrito)	< 0.6	> 2.0

A continuación se menciona por separado cada uno de los principales parámetros.



Figura 39. Incubación bucal de hembras del género *Oreochromis*.

1. Temperatura.

Los intervalos óptimos de temperatura se encuentran ubicados entre 24 y 29 °C, ya que fuera de estos límites puede decaer la tasa de crecimiento y la actividad reproductiva. En lugares con climas cálidos, una estrategia para mantener el intervalo óptimo de la temperatura es utilizar el sistema de monjes o tubos de rebosadero, que permite que los peces se desplacen a las partes profundas de los estanques, evitando con ello el estrés. Por otra parte en las zonas con climas templados, se recomienda el uso de invernaderos desarmables, para utilizarlos durante el invierno y mantener una temperatura óptima. Sin embargo, para evitar aumentar los costos de producción, es recomendable realizar el cultivo en áreas geográficas adecuadas, evitando con ello los elevados costos de mantenimiento durante la época de invierno.

2. Oxígeno disuelto (O.D.).

Existe una estrecha relación entre la concentración de O.D. y la temperatura del agua; así, por ejemplo a 30 °C en los cuerpos de agua eutróficos que mantiene una elevada biomasa de plancton, durante la noche se registran bajos niveles de oxígeno disuelto, como el consumo de este gas continúa en forma constante, el O.D. desciende a niveles críticos por debajo de 1 mg/l al amanecer, lo que puede ocasionar la muerte de los organismos. En este caso, es necesario mantener una concentración de O.D. por arriba de los 2 mg/l al amanecer. Para mantener este valor mínimo es recomendable evitar el exceso de fertilización y que el alimento sea aplicado de manera correcta, ya que así se evita la descomposición del mismo y se conserva una mejor calidad del agua.

3. Dióxido de carbono (CO₂).

Son pocos los conocimientos que se tienen sobre los límites de tolerancia del CO₂ en las especies de tilapia, dentro de los trabajos que existen, reportan que *Oreochromis macrochir* vive en aguas estancadas y tolera bien hasta una concentración de 77.6 mg/l; sin embargo, otros reportan que en condiciones de cultivo valores entre los 50 y 100 mg/l provoca estrés y una prolongación demasiado larga de estos valores causa la muerte, ya que actúa como un depresivo respiratorio. Respecto a la reproducción para que ésta se realice, es necesario que el CO₂ no rebase las 30 mg/l (Morales, *et al.*, 1988)

4. Salinidad.

Las tilapias se adaptan a diferentes concentraciones de salinidad, pero se ha observado que a concentraciones altas, algunas especies no pueden reproducirse debido a la presión osmótica que actúa sobre los huevos, es el caso de *O. aureus* (Chervinsky y Yashou, 1971 *vide*: Guerrero, 1995); no obstante, a concentraciones por debajo de los 20 ‰ se reproducen sin problemas, disminuyendo su fertilidad conforme aumenta esta concentración. La tilapia *O. mossambicus*, sus híbridos y la *Tilapia zillii*, son más tolerantes a la salinidad y de hecho pueden reproducirse a 35 ‰ esta habilidad natural es utilizada para realizar su cultivo en ambientes marinos y salobres.

5. pH.

Los problemas de la reproducción que pueden surgir cuando existen variaciones en este parámetro son muchos, por lo tanto, es necesario que éste se mantenga entre 6.5 y 7.5 como intervalo óptimo, para lograrlo se recomienda el cambio de agua si se encuentra alcalino ó agregar cal en caso de ser ácido.

6. Turbiedad.

Este parámetro está relacionado con la temperatura, cuando hay una buena penetración de los rayos solares el agua presenta un calentamiento homogéneo, e induce una mayor actividad reproductiva, además se evita que las crías recién nacidas padezcan enfermedades branquiales, se recomienda mantener los estanques con una visión del disco de Secchi de más de 15 cm o un valor de 25 mg/l de turbiedad.

7. Amonio no ionizado y nitrito (NH_3 y NO_2^-).

Estos dos metabolitos tóxicos afectan severamente a la tilapia en los sistemas de cultivo, sin embargo, es difícil registrar valores letales en los estanques, sobre todo cuando contienen elevados valores de O.D. Los niveles de concentración del amonio tóxico (NH_3) dependen de otros factores tales como la temperatura y el pH. A elevada temperatura y pH la concentración de amonio tóxico es mayor y puede alcanzar valores subletales y letales sobre todo cuando éste se mantiene por largos intervalos de tiempo.

En los sistemas de recirculación y reacondicionamiento se previenen los valores subletales y letales mediante la instalación de biofiltros que eliminan los metabolitos tóxicos como son el amonio y los nitrito. El mantener valores elevados de O.D. previene el aumento de estas especies químicas, favoreciendo la oxidación del nitrógeno en todas sus formas mediante la participación de las bacterias nitrificantes.

Tecnologías de cultivo.

Diversas tecnologías han sido utilizadas en nuestro país para el cultivo de la tilapia, las que pueden ser resumidas de la manera siguiente (Tabla 28).

Tabla 28. Resumen de técnicas utilizadas para el cultivo de tilapia en México.

Tecnologías	Extensiva	Estanques	Jaulas
Métodos de cultivo			
Sexos mezclados	Si	Si	Si
Monosexos	No	Si	Si
Policultivo	Si	Si	No
Tamaño mínimo de la unidad de cultivo	10,000m ²	1.000 m ²	56 m ³
Densidad			
Sin fertilización ni alimentos	1/m ²		
Con fertilización	2/m ²	4/m ²	80-100 m ³
Con alimento únicamente		6/m ²	250-500 m ³
Fertilización y alimentación		6/m ²	250-500 m ³
Peso de los organismos introducidos (g)	3	5	10-15
Periodo de crecimiento (meses)	8-10	8-10	6-8
Rendimiento kg/ha	100-400	1000-4000	20-40 kg/m ³
Talla promedio de cosecha (g)			
Sexos mezclados	100-200	200-300	100-250
Monosexos		250-350	250-300

A continuación se describen las principales tecnologías utilizadas en nuestro país.

1. Cultivo extensivo.

Este modelo tecnológico es el más simple de todos y consiste en la distribución e introducción de crías de diferentes especies de tilapia, en los grandes cuerpos de agua mayores de 10,000 hectáreas y en numerosas presas de menor tamaño a lo largo y ancho de la República Mexicana. A esta actividad se le ha dado el nombre de Acuicultura de Repoblación y de acuerdo con el criterio de FAO (1989), corresponde a pesquerías derivadas de la acuicultura, ya que es una cosecha, que en este caso, es el resultado de la actividad pesquera, es decir, cuando los organismos acuáticos en su condición de bien común, pueden ser explotados por cualquier persona con o sin la respectiva licencia. Si bien para propósitos de la estadística pesquera nacional, se suma la captura y se inserta en el rubro de producción por acuicultura, la intervención del hombre sólo se limita a la siembra y otros aspectos propios de la acuicultura como son la fertilización, alimentación y control de depredadores entre otros, no se llevan a efecto.

2. Cultivo semi intensivo.

Otra metodología aplicada en nuestro país a partir de la década de los ochenta, es el cultivo semi intensivo, que se practica en cuerpos de agua pequeños y estanques. Las modalidades utilizadas son el monocultivo, el bicultivo y el policultivo. En todos los casos las poblaciones cultivadas corresponden básicamente a las especies de *Oreochromis niloticus*, *O. aureus* y *O. mossambicus*, además de algunos híbridos (rojos conocidos como pargo cerezo) y otras líneas de reciente introducción (mossambica roja, nilotica roja, nilotica blanca y aurea azul). El monocultivo se realiza con solo una especie de las antes mencionadas; se manejan densidades que van de 4 a 6 organismos por metro cuadrado; algunas veces después de los 7 u 8 cm se determina su sexo y se practica el cultivo

monosexo (preferentemente machos) y se llevan a una talla comercial de 250 a 300 g (en el estado de Morelos la cosecha es de tallas pequeñas, las cuales son vendidas para satisfacer la demanda de los pequeños restaurantes conocidos como "botaneras", lo que aumenta su valor comercial). Los rendimientos acuícolas en promedio van de 1 a 4 toneladas por hectárea en ocho a diez meses de cultivo, dependiendo de la zona de cultivo, la experiencia del productor y del manejo de las diversas actividades acuícolas. La fertilización y la alimentación suplementaria es una constante en este tipo de cultivo y la mortalidad depende del manejo de la calidad del agua, del cuidado en la alimentación y de la aplicación correcta de los fertilizantes. En el segundo caso la tilapia se cultiva en forma conjunta con el langostino gigante de Malasia *Macrobrachium rosenbergii*, cuyo ejemplo más palpable se da en las unidades de producción del estado de Morelos. Finalmente, el policultivo se realiza en combinación con algunas especies de carpas, como la carpa herbívora *Ctenopharyngodon idellus*, la carpa plateada *Hypophthalmichthys molitrix*, la carpa cabezazona *Aristichthys nobilis* y la carpa común *Cyprinus carpio* entre otras.

3. Cultivo intensivo.

Los cultivos intensivos son practicados en jaulas, canales de corriente rápida (Figura 40) y en canales de riego secundarios y terciarios. En este caso las densidades son elevadas y fluctúan entre 80 y 100 organismos por metro cúbico, lo que permite producir aproximadamente 20 kg/m³ de tilapia, aunque esta cantidad puede ser incrementada dependiendo del flujo de agua y del contenido de oxígeno disuelto, además del tipo de alimento utilizado. En estas condiciones el alimento se constituye en el principal factor y de él depende el éxito del cultivo. Experimentos realizados en las instalaciones de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa en la Planta Experimental de Producción Acuícola, sugieren que un alimento comercial con 30% de proteína y que cubra los requerimientos nutricionales de la especie, puede mantener una tasa de crecimiento por arriba de 1.5 gramos al día, lo que permite llegar a una talla comercial por arriba de 200 g en tan sólo cinco meses, teniendo la posibilidad de mantener dos ciclos de cultivo al año con un rendimiento acuícola de 2,7 toneladas anuales, en tan solo 67 m³ de agua en un sistema cerrado de recirculación y reacondicionamiento de agua (Arredondo com. pers.).

El cultivo de tilapia en jaulas de 7 x 4 x 2 m (56 m³), manejando una densidad de 100 organismos por metro cúbico, puede producir cerca de una tonelada de producto de talla comercial, siempre y cuando la colocación de las mismas, las condiciones de la calidad de agua y la alimentación sean las adecuadas. Morales y colaboradores (1988), indican que el cultivo en jaulas flotantes se hace con ejemplares de ambos sexos y con tallas promedio de 5 a 7 cm; la carga inicial es de 35 a 50 peces por metro cúbico de agua y, la alimentación consiste principalmente en alimentos balanceados o esquilmos agrícolas enriquecidos con otros productos complementarios. El período de cultivo está en relación con la temperatura del ambiente, así por ejemplo en aguas con temperatura promedio de 28 °C, las tilapias alcanzan su talla comercial de 250 a 300 g en tan solo 8 meses, razón por la cual este cultivo es rentable y tiene un gran futuro en nuestro país.

En la mayoría de los sistemas de cultivo que se practican en nuestro país se utilizan crías con tallas promedio de 3 cm. En cultivos de tipo extensivo las crías simplemente se diseminan en los cuerpos de agua y en los semi intensivo e intensivos las crías se depositan en las instalaciones antes mencionadas. Así por ejemplo, en el cultivo semi intensivo y en especial cuando se utiliza estanques rústicos, se aplica una fertilización inicial y los peces se alimentan en forma regular e intensiva. El principal inconveniente estriba en que la reproducción precoz de las tilapias, sobre todo en las regiones cálidas, que conduce a una sobrepoblación, y durante la cosecha la mayor parte de la recolección está formada por individuos de pequeña talla, con lo cual el rendimiento de los peces aprovechables es bajo. Una estrategia para resolver este problema es producir peces de consumo de talla uniforme, en este caso, el cultivo se inicia con la obtención de crías de 4 cm que se depositan en los estanques, hasta que alcanzan un mínimo de 200 g, alimentándolos en forma intensiva y controlando la reproducción, ya sea con la introducción de un depredador como es el caso de la lobina negra (*Micropterus salmoides*) o mediante el cultivo de especies de un solo sexo (preferentemente machos) obtenidas mediante reversión sexual (Figura 41), separación del sexo manual o la utilización de híbridos estériles o triploides o bien de transgénicos.

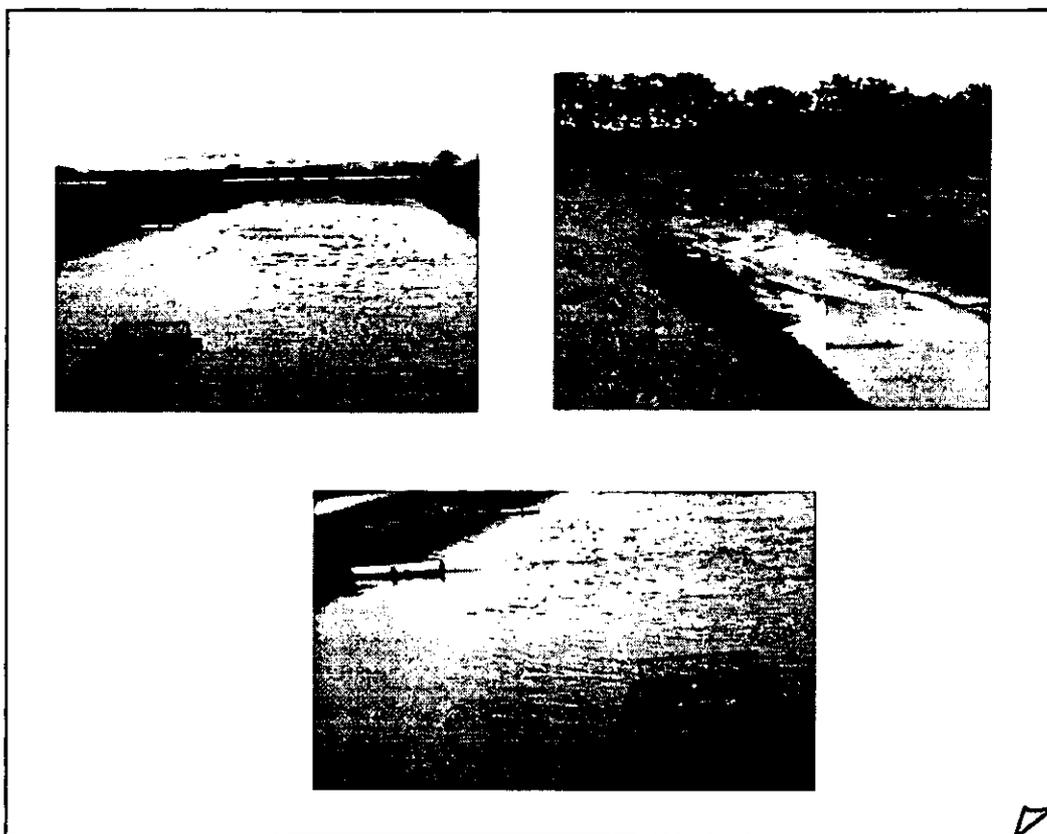


Figura 40. Cultivo intensivo de tilapia en canales de corriente rápida en Costa Rica.

Alimentación.

El alimento natural producido en los estanques mediante la fertilización, es rico en proteínas,

vitaminas y otros elementos que favorecen el crecimiento de la tilapia en sus etapas tempranas. Para obtenerlo, es necesario el empleo de fertilizantes, ya que mediante éstos, se adicionan nutrimentos al agua, cuya acción contribuye al desarrollo del crecimiento de algas microscópicas que a su vez, sirven de alimento a los organismos planctófagos, logrando así incrementar la productividad primaria y secundaria. Antes de que al tilapia alcance los 5 cm su régimen trófico incluye organismos integrantes del fitoplancton y del zooplancton; cuando sobrepasan esa talla aceptan alimento artificial, que consiste en vegetales tales como alfalfa, hojas de lechuga, plantas acuáticas, además de harinas de granos (maíz, trigo, arroz, sorgo, etcétera), desechos de frutas o subproductos de cervecerías entre otros. Requieren de una alimentación intensa y se les considera como importantes transformadores de desechos y subproductos, de forma que el rendimiento acuícola de un estanque puede incrementarse hasta 10 veces con una alimentación barata y abundante, sobre todo si se utilizan especies micrófagas como *O. niloticus*, *O. aureus* y algunos híbridos derivados de estas especies como la cruce entre *O. niloticus* x *O. mossambicus*.

Los fertilizantes usados son generalmente de dos tipos: orgánicos y químicos. Los primeros son derivados de plantas terrestres y acuáticas, estiércol de animales (aves, ganado, etcétera), y desperdicios domésticos agropecuarios. Estos pueden suministrarse frescos, secos o fermentados. Los fertilizantes químicos son compuestos de sales purificadas. Los componentes químicos principales son: nitrógeno, fósforo y potasio, así como otros micronutrimentos en pequeñas cantidades como el calcio, magnesio, azufre, zinc, hierro, cobre, boro, manganeso y molibdeno. También los hay compuestos por superfosfato triple, compuesto triple 17 (N,P y K) y urea (Arredondo, 1993).

La frecuencia de aplicación de los fertilizantes puede ser quincenal, mensual, trimestral o semestral, de acuerdo de los criterios considerados por los responsables de los centros o unidades de producción. Sin embargo, existen problemas registrados por el uso de fertilizantes como: florecimiento de algas, bajas de oxígeno, costo elevado de los fertilizantes químicos y su escasa disponibilidad (Sánchez y Quevedo, 1987).

Ultimamente se ha venido implementando el uso de los digestores en los Centros Acuícolas del país para producir fertilizantes.

Existe una gran variedad de digestores que son usados para descomponer la materia orgánica y obtener energía, en general son recipientes de diversos tipos en cuanto a forma y materiales, en los cuales se coloca materia vegetal, estiércoles y agua para obtener fertilizante líquido y gas como productos de descomposición bacteriana de los componentes de la mezcla.

Entre las ventajas del uso de los digestores está la producción del biogas, el cual puede ser utilizado directamente como combustible para iluminación, calefacción; el compuesto orgánico producido es un completo fertilizante debido a la alta concentración de nutrimentos y no deteriorando el suelo; actúan como medio eficaz para restringir la diseminación de parásitos intestinales, etcétera. (Osorio y de la Lanza, 1990; Arredondo, 1993).

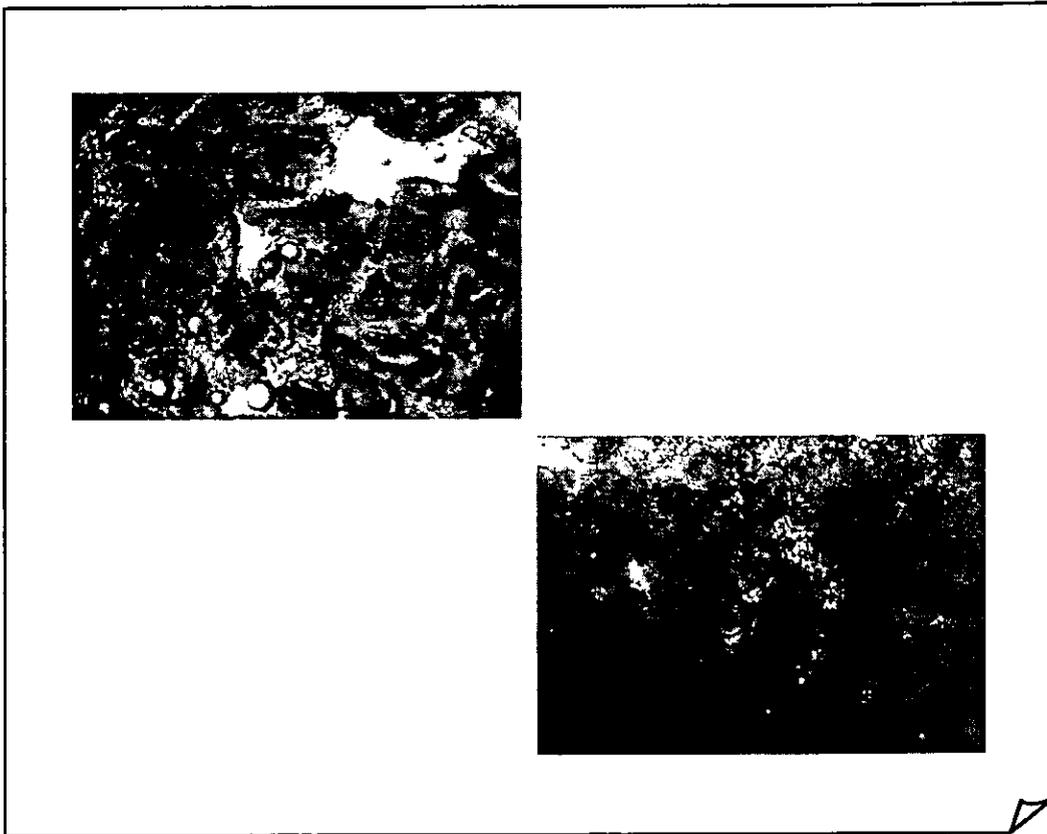


Figura 41. Técnica para comprobar la reversión del sexo mediante la tinción de aceto-carmin. A la izquierda se observa un macho y a la derecha una hembra.

No se conocen los requerimientos actuales para los carbohidratos en la dieta ya que los peces son capaces de sintetizar carbohidratos de la fuente de lípidos y proteínas de la dieta, sin embargo, los carbohidratos son incluidos en los alimentos como una fuente de energía de proteína económica, agente de relleno y como ligante.

Tampoco existen reportes de requerimientos de vitaminas para tilapia, sin embargo, algunos autores al sugerir dietas para este tipo de cultivos se basan en los requerimientos de otras especies de peces (Morales *et al.*, 1988).

Ceballos y Velázquez, (1988), reportan que para la alimentación de los cíclidos en sus diferentes fases de cultivo se usan diversos productos comerciales, además del empleo de una dieta casera. En la mayoría de los centros y unidades de producción se ven obligados a reprocesar los alimentos procedentes de fábricas de balanceados, destinados a las crías, sobre todo en cuanto a su presentación, moliendo, triturando y tamizando para obtener el tamaño de partícula requerido (1 a 6 mm). En la fase de engorde los alimentos balanceados se utilizan en su presentación original (5 a 6 mm), y en otros casos elaboran su propia dieta, como por ejemplo en el estado de Morelos se utiliza una mezcla que consiste de gallinaza, pulido de arroz y zacamel (subproducto de la caña de azúcar).

En lo concerniente al suministro de los alimentos balanceados, éstos son administrados a una tasa de alimentación que va del 3 al 8% diaria, con una frecuencia de 1 a 4 veces al día para la fase de crianza; en la de engorde, a una tasa que va del 2 al 7%, con una frecuencia de 2 a 7 veces al día; y en la de reproductor la tasa de alimentación es de 2 a 3%, suministrado de 1 a 3 veces por día.

En algunos casos se emplea alimento vivo para la fase de cría, obteniéndolo en cultivos específicos o bien por captura, los organismos empleados para este fin son: *Daphnia pulex*, rotíferos, *Artemia salina*, *Azola sp.* y *Elodea sp.* (Ceballos y Velázquez, *op. cit.*).

Por otro lado, estos cíclidos son consumidores voraces de macrofitas acuáticas, razón por la cual han sido utilizados para el control de malezas acuáticas, las especies más utilizadas han sido: *T. rendalli*, *T. zillii*, *Oreochromis niloticus*, *O. aureus*, *O. mossambicus*, *O. u. hornorum* y el híbrido de *O. niloticus* x *O. aureus*, pero desafortunadamente, muchas plantas que proliferan en el agua como el lirio acuático, no son preferidas ni consumidas por estos peces. Debido a esto, la mayor parte de los trabajos se han enfocado básicamente al control de malezas acuáticas y con menor importancia se han probado como fuente potencial de alimento para peces (Ponce y Fitz, 1990).

Trucha arco-iris (Salmonidae).

A pesar de que se han reportado dos especies de salmónidos introducidos en México; la trucha arco-iris (*Oncorhynchus mykiss*) (Figura 42) y la trucha de arroyo (*Salvelinus fontinalis*); la primera es la especie que se cultiva mayoritariamente en nuestro país.

El nombre científico de esta especie durante muchos años fue *Salmo gairdneri* que fue nombrada por Richardson en 1836. También fue propuesto el nombre de *Salmo irideus* por Gibson, pero este nombre no prevaleció, aunque es utilizado generalmente por algunos autores europeos (Blanco, 1995).

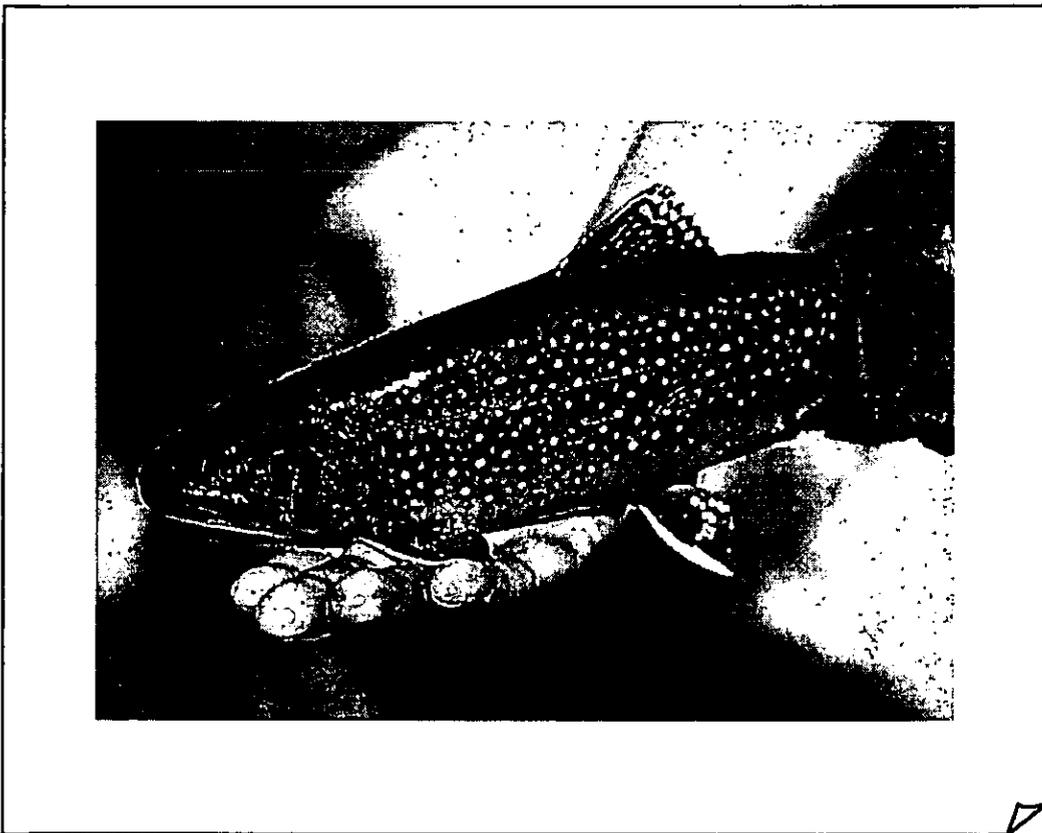


Figura 42. Trucha arco-iris (*Oncorhynchus mykiss*).

En los últimos años, existió una inquietud entre los investigadores dedicados a estudiar la filogenia de los salmónidos, acerca del origen taxonómico de las truchas del Pacífico Norte. Atento a estas inquietudes, la American Fisheries Society's Committee on Names of Fishes en octubre de 1988, recibió un comunicado de parte del Dr. Robert L. Kendall, quien señaló lo siguiente: "En los últimos años ha sido puesta en entredicho la validez del nombre genérico de *Salmo* para designar las especies de truchas de la Costa Oeste de América del Norte. Los taxónomos están de acuerdo en que las truchas nativas de las cuencas del Pacífico-Norte se encuentran genéricamente más cercanas al salmón del Pacífico *Oncorhynchus* que las especies de salmón del Atlántico y de Europa (como el salmón del Atlántico *Salmo*

salar y la trucha común europea *S. trutta*). Tal evidencia, fue puesta de manifiesto en los trabajos presentados en la reunión de Junio de 1988 de la American Society of Ichthyologist and Herpetologists y convenció al mencionado Comité de aceptar *Oncorhynchus* como nombre genérico más apropiado para designar a todas las truchas nativas de la cuenca del Pacífico, llamadas hasta ahora *Salmo*.

Los taxónomos creen ahora que la trucha arco-iris y la trucha "Kamchatkan" *Salmo mykiss* de Asia, constituyen una única especie y que el nombre específico de *mykiss* tiene prioridad en la nomenclatura sobre *gairdneri*. Por esta razón el Comité antes referido, adoptó *Oncorhynchus mykiss* como nombre científico de esta especie.

Esta especie es originaria de América del Norte, con una distribución natural que va desde Alaska, Canadá y Estados Unidos, hasta los ríos fríos y montañosos del Norte de nuestro país. En México de manera natural la trucha arco-iris y por lo menos dos de sus variedades, se distribuyen en la Sierra Norte de Chihuahua, Durango, Baja California, Sonora, Sinaloa, y ha su vez desde finales del siglo XIX, ha sido introducidos lotes de estas especies con el propósito de cultivo en las regiones montañosas y frías en los estados de México, Morelos, Michoacán, Hidalgo, Puebla, Querétaro, Tlaxcala, Guerrero, Guanajuato, Distrito Federal, Jalisco, Veracruz, Tamaulipas, Nuevo León y Coahuila.

Habita en las aguas frías, transparentes y bien oxigenadas y de poca profundidad, principalmente en ríos, arroyos y lagos cuya temperatura del agua no rebase los 22 °C a lo largo del año. Es considerada como una especie valiosa en la pesca deportiva, ya que como todo salmónido, la trucha es rápida y lucha enérgicamente con el pescador, además de que su carne al ser de excelente sabor le da un valor adicional a su captura.

La trucha arco-iris tiene el cuerpo alargado, ligeramente comprimido lateralmente; la cabeza representa del 15 al 20% de la longitud corporal; cuenta con una aleta caudal pigmentada con puntos oscuros; las aletas pélvicas en posición abdominal y una segunda dorsal modificada como adiposa y situada en el pedúnculo caudal equidistante a la anal y a la dorsal, y alineada aproximadamente con la anal. Su coloración verdosa es oscura con puntos negros en el dorso y se desvanece a la altura de los costados, hasta ser blanca amarillenta en toda la zona ventral. Es en los costados donde presenta la coloración que le da el nombre "arco iris", franjas de células iridiscentes situadas por debajo de las escamas, que producen las tonalidades rosa, naranja y violeta, las cuales resultan más evidentes en la época de celo. (Stevenson, 1987 *vide*: Córdoba, 1994).

Es un animal territorial, cuando vive libre o en confinamiento (en donde sus actos defensivos son, por lo general morder las aletas dorsales y/o las pectorales de su agresor), establece su espacio vital basado en las condiciones de agua y la disponibilidad de alimento (Klontz, 1991). De acuerdo a sus preferencias alimenticias, la trucha arco-iris es carnívora, por lo que es muy importante que la formulación de la dieta satisfaga esta necesidad (Córdoba, 1994).

La producción nacional de trucha arco-iris, se ha incrementado de manera marcada a partir de la década de los noventa. No obstante, la producción nacional se puede incrementar con

la utilización de técnicas más apropiadas de manejo, control sanitario, desarrollo tecnológico, mejoramiento genético y nutrición apropiada. Además, la República Mexicana presenta características físico-geográficas adecuadas para incrementar su superficie de cultivo a escala nacional.

En los últimos años la producción de trucha por acuicultura ha tenido un incremento importante, pasando de 393 toneladas en 1985 a un máximo de 3,353 en 1993, para disminuir ligeramente de 1994 a 1998, pero insinuando una recuperación en 1996 (Figura 43).

Antecedentes.

El cultivo de la trucha ya como una práctica tecnológica se conoció desde finales del siglo pasado y actualmente está ampliamente difundido en el ámbito mundial en países tales como Francia, Italia, Japón, Estados Unidos de Norteamérica, Dinamarca, Noruega y Escocia.

En México esta actividad se inició a partir de 1883, con la construcción del criadero "Vivero Nacional de Chimaltepan" en Ocoyoaca, Lerma, Estado de México, cuando se adquirieron 500,000 huevos de trucha procedentes de Estados Unidos de Norteamérica. En el año de 1893, se tiene información de que se produjeron crías de que fueron liberadas en algunos lagos y ríos. No obstante, la presencia durante varios años del Vivero Nacional y su impacto en la producción de esta especie, éste dejó de funcionar a principios de siglo XX debido al surgimiento de la Revolución Mexicana, y no es sino hasta el año de 1923 cuando se vuelve a hacer hincapié en la piscicultura con lo cual, las importaciones de huevos de esta especie se sucedieron consecutivamente, en particular la mayoría de los lotes procedieron de los EUA. En 1937, la Estación Piscícola de Almolaya del Río, que fue la segunda que operó en México, recibió 300,000 huevos procedentes de los Estados Unidos de Norteamérica para la reproducción y propagación de esta especie. En 1943, se inaugura el Centro Piscícola El Zarco, en el Estado de México; en 1950, entró en funcionamiento el Centro Acuicola de Pátzcuaro, Michoacán; en 1977 fue entregado el Centro Acuicola de Guachochi, Chihuahua, al Departamento de Pesca por el Instituto Nacional Indigenista. Ese mismo año con el establecimiento de la granja de cultivo intensivo en Malinalco, Estado de México se inicia el cultivo comercial de la trucha arco-iris. En 1979, el Centro Acuicola Matzinga, Veracruz inició su operación; asimismo, en 1982 el Centro Acuicola de Madera, Chihuahua, empieza a operar y en 1983, el Centro Acuicola de Apulco, Puebla, también inicia sus actividades (Alvarez, *et al.* 1961; Medina, *et al.* 1976 y Morales, 1975).

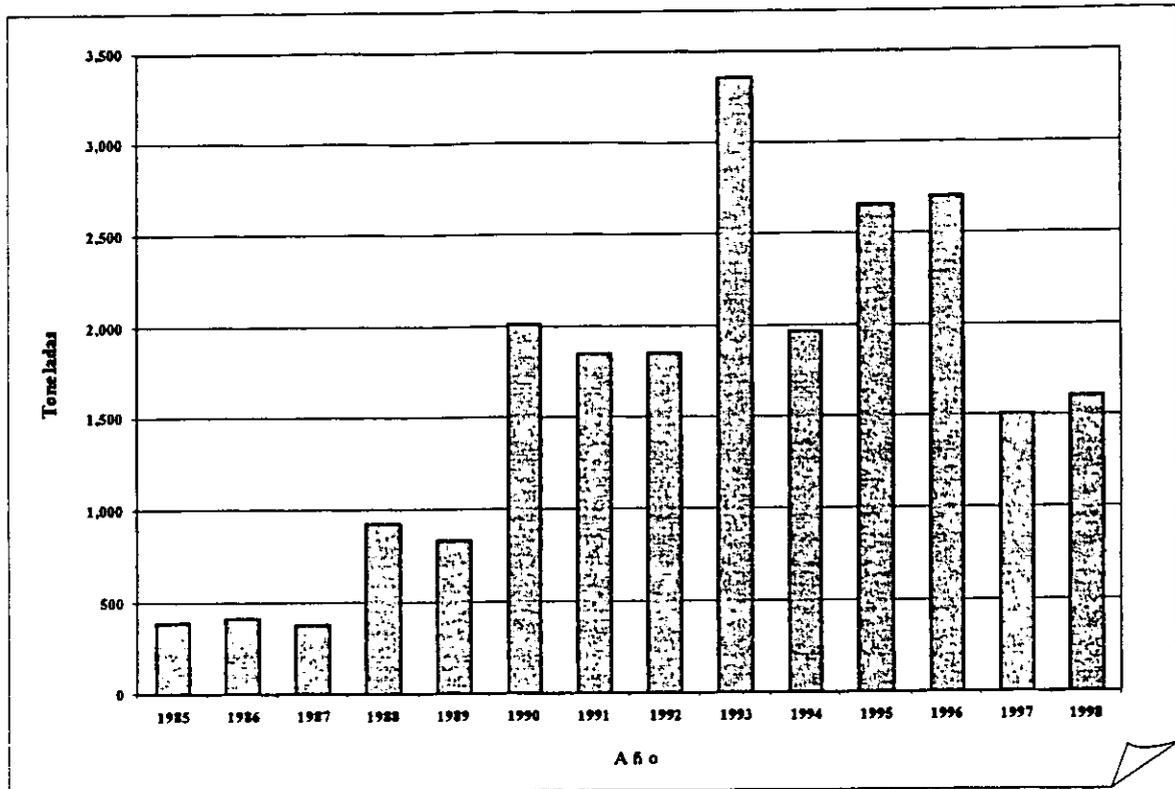


Figura 43. Producción de trucha arco-iris durante el periodo de 1985 a 1998 (SEMARNAP, 1998).

A partir de 1976 la acuicultura recibe un fuerte impulso y se inicia el establecimiento de cultivos comerciales de producción semi intensiva, con el fin de cultivar diversas especies y sembrar las crías en presas, cuerpos de agua temporales y lagos. Gracias a este esfuerzo, actualmente existen numerosas presas del país donde se obtienen importantes pesquerías de especies tales como la trucha arco iris, tilapia, carpas, lobina, mojarra de agallas azules, bagre etcétera, que implican fuentes de trabajo a numerosos pescadores y de alimentación a centros de población que no tenían acceso a productos altos en proteína derivados de la pesca (Juárez, 1987 a y b).

En 1987, la Secretaría de Pesca contaba con 6 centros acuícolas dedicados a la producción de huevos y crías de trucha y la iniciativa privada contaba en nueve entidades federativas con 143 unidades de producción en sistemas de cultivo intensivo, localizándose éstas principalmente en el Estado de México.

Actualmente, se han reportado en los diferentes estados de la República Mexicana más de 700 granjas. Siendo las entidades federativas que tienen una mayor producción, Puebla, Estado de México, Michoacán, Chihuahua y Veracruz. (SEMARNAP, 1998). De estas unidades de producción el 80% aproximadamente corresponde al sector social y 20% al sector privado (com. pers. Biólogo Juan Antonio Pérez, 1997).

La presencia de la trucha arco-iris en algunos mercados de consumo ya es notoria, aunque su abasto no es regular, ya que la población mexicana prefiere peces marinos. Sin embargo, puede considerarse al cultivo de trucha como una alternativa de producción de gran potencial en nuestro país, ya que su tecnología es dominada y se cuenta con sitios adecuados para su cultivo (Cabrera y García, 1982).

Ciclo biológico.

En su ambiente natural a principios del otoño cuando comienza a disminuir la temperatura por debajo de 12 °C, se inicia la migración de los machos jóvenes río arriba, durante su trayecto se desarrollan los productos sexuales. La fase de reproducción tiene lugar en el invierno y ésta es de tipo bisexual, es decir, los sexos se encuentran en individuos separados y existen diferencias sexuales secundarias, por lo que es fácil reconocer a ambos sexos, ya que los machos presentan una mandíbula inferior muy desarrollada y su coloración es muy brillante en la época de celo. Los adultos prefieren los sitios donde desembocan los ríos y arroyos, remontando sus corrientes para reproducirse, buscando lugares apropiados para desovar, los cuales se caracterizan por presentar fondo de grava y arena, aguas cristalinas ricas en oxígeno y de poca corriente para evitar que los huevos sean arrastrados. Los machos son agresivos y luchan por la hembra, ésta construye su nido en el fondo de los ríos o en las orillas de lagos y lagunas. Estos nidos se ubican en el sentido de la corriente y el número y el tamaño de ellos depende de la talla de la hembra. Por ejemplo, una hembra de 60 cm puede construir de 6 a 7 nidos y un nido elaborado por una trucha de 30 cm puede alcanzar una longitud que varía entre 30 y 33 cm y una profundidad de 7 a 9 cm (Bastardo y Coché, 1988) (Figura 44).

En el interior de cada nido, la hembra y el macho se acomodan y expulsan los huevos y el semen con movimientos vibratorios perfectamente sincronizados. La hembra se mueve en sentido contrario a la corriente para recubrir parcialmente los huevos con arena y evitar que sean arrastrados. Las hembras expulsan un promedio de 4,000 óvulos por cada kilogramo de peso, que miden de 3 a 5 mm y son de color naranja.

Los huevos fecundados son depositados en el nido y su desarrollo embrionario dura de 25 a 35 días hasta la eclosión o el nacimiento de los alevines, los cuales se mantienen en el nido alimentándose de su saco vitelino por un periodo promedio de 20 a 25 días. En este estado ya se consideran como crías, ya que pueden nadar libremente y se alimentan de larvas de insectos acuáticos e inician la búsqueda de áreas adecuadas para su crecimiento. Después de pasados un promedio de 100 días, se les denomina juveniles y continúan su alimentación basándose en insectos acuáticos y zooplancton, y completando su alimentación con crustáceos, moluscos y pequeños peces hasta llegar al estado adultos (Anónimo, 1988 e).

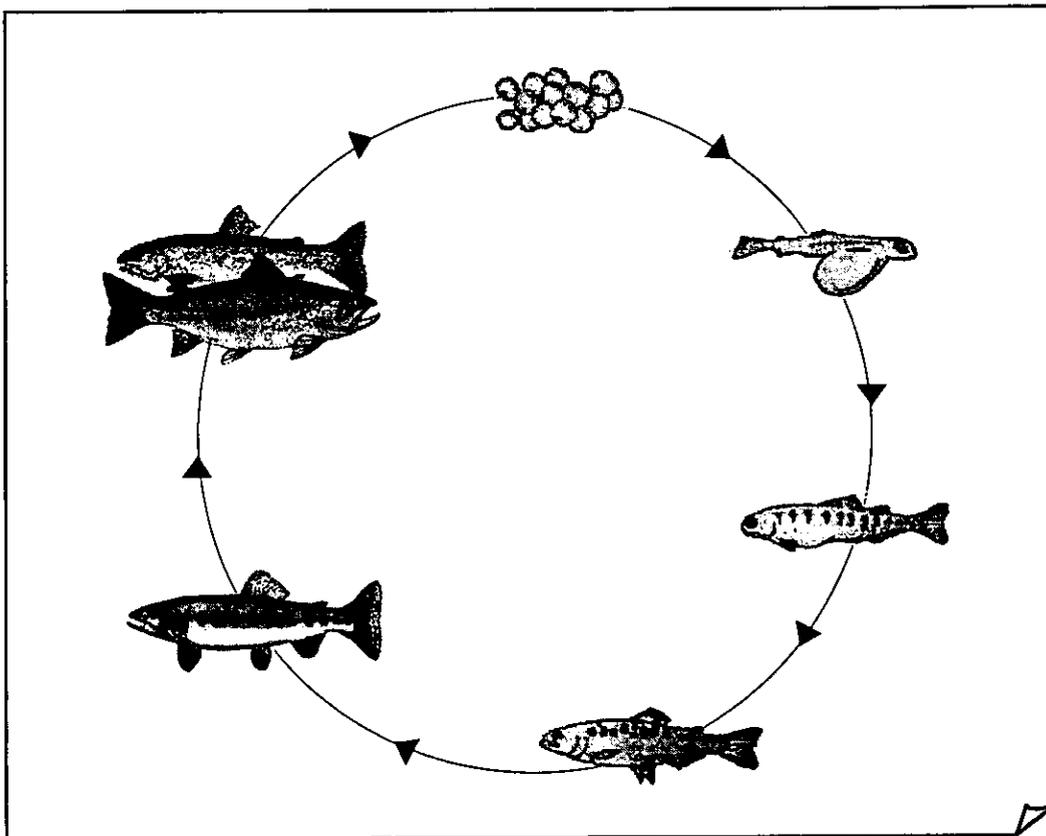


Figura 44. Ciclo de vida de la trucha arco-iris.

El crecimiento de la trucha arco-iris, hasta alcanzar la talla comercial (por arriba de los 300 g), es variable y depende básicamente de las condiciones de calidad del agua donde se desarrolla. En las partes altas y más frías su tasa de crecimiento es lenta, tardando hasta más de un año en alcanzar el estado adulto, así por ejemplo en la Estación Piscícola de Pátzcuaro, Michoacán, alcanzan los 225 g en un año. En contraste en sitios donde la temperatura del agua se encuentra por encima de los 16 °C durante todo el año, es posible alcanzar este tamaño en sólo ocho meses o menos. En cultivos desarrollados en embalses temporales cerca de la Ciudad de Pátzcuaro, en el Estado de Michoacán, se han obtenido registros hasta de 1,200 g en promedio en cerca de un año y medio (Rosas, 1976).

En condiciones naturales la reproducción resulta menos eficiente por varias razones, entre ellas el elevado porcentaje de huevos que no se fertilizan; la depredación sobre huevos y alevines; las crecidas de los ríos que acarrear abundantes sedimentos que asfixian los huevos y al mismo tiempo reducen el encuentro el espermatozoide y el óvulo. Aunado es estos elementos, en los años recientes la presión ejercida por el ser humano en los ecosistemas acuáticos, ha propiciado un cambio en el hábitat, una excesiva pesca, la introducción de especies acuáticas agresivas y una creciente contaminación, lo que ha limitado seriamente el desarrollo de pesquerías y de la pesca deportiva de esta especie.

Factores ambientales.

El éxito del cultivo de la trucha depende en gran parte de la calidad del agua debido a que los salmónidos en general es muy susceptible a las condiciones adversas del medio, de hecho debido a sus exigencias la trucha arco-iris puede ser considerada como un excelente indicador de la calidad del agua. En la tabla 29 se presentan los niveles aceptables de los parámetros más importantes de la calidad del agua.

Tabla 29. Parámetros de calidad del agua requeridos para el cultivo de la trucha arco-iris.

Parámetros	Nivel aceptable
Temperatura ideal	13 a 15 °C
Temperatura para crecimiento	7.2 a 17.6 °C
Temperatura para reproducción e incubación	7.2 a 12.8 °C
Oxígeno Disuelto	> 5 mg por litro
pH	6.7 a 9.0 unidades
Alcalinidad	20 a 200 mg/l (como CaCO ₃)
Dióxido de Carbono	< 2 mg/l
Calcio	> 52 mg/l
Zinc	< 0.04 mg/l, a un pH de 7.6
Cobre	< 0.006 mg/l en agua blanda < 0.3 mg/l en agua dura
Hierro	< 1.0 mg/l
Amoniaco (NH ₃)	< 0.012 mg/l
Nitrito (NO ₂)	< 0.55 mg/l
Nitrato (NO ₃)	< 1.0 mg/l
Nitrógeno	< 110% de saturación total
Sólidos suspendidos	< 80 mg/l
Sólidos disueltos	< 500 mg/l
Sulfuro de hidrógeno	< 0.002 mg/l

Fuente: Wedemeyer y Wood, (1974).

La calidad del agua es determinante para el éxito del cultivo de la trucha arco-iris, ya que tanto las características físicas como las químicas deben satisfacer las demandas de esta especie. A continuación se mencionan los principales parámetros físicos y químicos que tienen que ver con la supervivencia y crecimiento de este especie.

1. Temperatura.

Los cambios graduales de temperatura del agua rara vez producen un problema de salud en los peces, pero cambios bruscos pueden provocar un estrés grave. Este estrés puede ser suficiente para reducir la resistencia de los organismos a las enfermedades y aumentar su susceptibilidad a infecciones. El síndrome de "shock térmico" es un problema bien conocido y los piscicultores deben tomar precauciones para evitar esta situación (Anónimo, 1988 e).

Los cambios bruscos de menos de 11 °C no causan mortalidad inmediata en algunas especies de peces. Pero la mayoría de los piscicultores recomiendan el acondicionamiento gradual de la temperatura si la diferencia es de 3 °C o más (Meyer *et al.*, 1973).

Los salmónidos pueden vivir en cuerpos de agua bajo una capa de hielo superficial y por

otra parte tolerar temperaturas de hasta 25 °C, donde la concentración de oxígeno disuelto es baja como para utilizarla en el cultivo de la trucha arco-iris. A esta temperatura resulta casi imposible alimentar a los organismos sin correr el riesgo de afectar la concentración del OD en el agua (Aguilera y Noriega, 1988).

La temperatura adecuada para el cultivo se ubica entre los 7 y los 18 °C. En aguas con temperaturas de 20 hasta 22 °C, la trucha puede vivir, pero se detiene el crecimiento debido a la anorexia (falta apetito), mientras que en un medio más frío por debajo de los 7 °C, la pérdida del apetito es en menor grado y retarda el desarrollo y el crecimiento (Imaki, 1987).

En México las temperaturas por lo general fluctúan entre los 13 y 18 °C. Temperaturas mayores o menores a estos valores ocasionan un crecimiento lento. Las inferiores a 5 °C retrasan la eclosión del huevo y reducen la tasa de crecimiento. En temperaturas superiores a los 18 °C se presenta un deterioro en la calidad del agua y las enfermedades son más frecuentes (Amaya y Anzola, 1988).

2. Oxígeno disuelto.

Las concentraciones elevadas de oxígeno disuelto (OD) son indispensables para el cultivo de la trucha. La trucha requiere de concentraciones por arriba de los 5 mg/l para satisfacer sus necesidades (Klontz, 1991). El agua fría puede mantener más OD que las aguas cálidas, de manera que la concentración de este gas en el agua es directamente dependiente de la temperatura de la misma (Amaya y Anzola, 1988). Los niveles de 3 mg/l de O.D. son letales para la trucha, se debe prever que después de utilizada el agua por la población de peces se registre un mínimo de 5 mg/l de O.D. (salida de agua de las incubadoras, tinajas, canales, etc.). Algunos autores recomiendan niveles de 7 y 7.8 mg/l de O.D. como mínimo requerido para el cultivo y de 10 a 11 mg/l como óptimo (Anónimo, 1988 e).

Aunque las truchas pueden sobrevivir físicamente a niveles bajos de oxígeno por periodos limitados, cualquier reducción considerable en los niveles de saturación, causará algún efecto adverso sobre la tasa de crecimiento, la reproducción u otra actividad fisiológica. En lo posible el agua que se destine al cultivo de la trucha deberá estar saturada de oxígeno, ya que no tolera concentraciones bajas de OD. A mayor temperatura y altitud (menor presión barométrica) los niveles de saturación de OD son bajos, razones por lo cual en el caso de México, esta recomendación adquiere mayor relevancia.

En condiciones de cultivo, al elevarse la temperatura, los peces ingieren mayor cantidad de alimento y su consumo de OD se incrementa. A la vez, la descomposición de las heces fecales y los desperdicios de alimento, ocasionan un consumo de OD al igual que la respiración nocturna del fitoplancton. Por lo que aún cuando las aguas empleadas para el cultivo se encuentren saturadas, la concentración podrá llegar a disminuir considerablemente a niveles críticos (Aguilar y Noriega, 1988).

La demanda de OD también es regulada por la tasa metabólica y los factores que influyen en esta tasa son la temperatura del agua, la velocidad del agua, así como la edad del organismo. Así también, el consumo de este gas varió de acuerdo a la actividad del pez y el consumo de alimento, incrementándose en la época de reproducción.

El oxígeno y la temperatura son factores que se deben de determinar más frecuentemente y el CO_2 se determina cuando hay problemas de oxígeno en el agua.

3. Dióxido de carbono.

El CO_2 disuelto en agua, es un producto de la respiración de los peces y es un gas muy soluble en el agua y aparece principalmente como un producto de la descomposición orgánica. Cuando el dióxido de carbono se disuelve en el agua forma H_2CO_3 que posteriormente se disocia a HCO_3^- si el agua es alcalina. En agua ácida ocurre lo contrario, la mayoría del bicarbonato se convierte a H_2CO_3 . El H_2CO_3 es termodinámicamente inestable y se descompone en CO_2 y agua. Los métodos normales de medición del CO_2 determinan el CO_2 total que es la suma de CO_2 y H_2CO_3 .

La cantidad óptima de CO_2 libre deseable para un cultivo de peces varía entre 1.5 y 5 mg/l. En peces de agua dulce concentraciones superiores a 20 mg/l trae como consecuencia efectos nocivos. Una baja concentración de oxígeno produce un aumento en la sensibilidad al CO_2 , y ésta disminuye a medida que la temperatura del agua aumenta. Asimismo, se pueden presentar niveles tóxicos de CO_2 en aguas duras, si existen condiciones levemente ácidas ya que se produce CO_2 a partir del carbonato. Sin embargo, el CO_2 disuelto puede ser útil en las lagunas debido a que disminuye la concentración de amonio no ionizado por el descenso del pH. No obstante, existe escasa información acerca de los efectos que produce el dióxido de carbono sobre la trucha en cultivo (Colt y Orwicz, 1991; Colt, 1994).

4. Amonio no ionizado (NH_3).

A medida que el agua pasa por una serie de estanques, el metabolismo de los peces reduce el contenido de oxígeno y agrega productos metabólicos al agua, tales como el amonio. Cuando el contenido de amonio no ionizado (NH_3) sobrepasa a los 0.3 mg/l se reduce la tasa de crecimiento, se presentan lesiones en branquias, tejido renal y hepático. Su efecto es más drástico si se tienen bajas concentraciones de oxígeno, un pH mayor de 8 y concentraciones elevadas de carbonato de calcio (200 ‰).

El ion amonio (NH_4^+) es relativamente inocuo al pez, pero el NH_3 (amonio no ionizado) es bastante tóxico. Por lo tanto, el pH es un factor determinante con respecto a la toxicidad en el agua del amonio no ionizado. Los peces pueden tolerar una concentración elevada de NH_4^+ a un pH determinado, pero se vuelven más sensibles a medida que el pH aumenta y se produce NH_3 tóxico. Otros factores que afectan la toxicidad del amoniaco son las concentraciones de CO_2 y la concentración de oxígeno disuelto (Klontz, 1991).

5. Nitrito.

El nitrito es el producto de oxidación del nitrógeno amoniacal total (NAT), este proceso se realiza bajo la influencia de las bacterias nitrificantes como *Nitrosomonas spp.* El nivel de tolerancia del nitrito se ubica por debajo de 0.55 mg/l. Niveles por encima de este valor producen una enfermedad conocida como metehemoglobinemia, en la cual el hierro de la molécula heme se reduce sin poder transportar el oxígeno, lo que inhibe la satisfacción de la

demanda de oxígeno del pez (Klontz, 1991).

6. Alcalinidad y dureza.

En los ecosistemas acuáticos de agua dulce, los peces son hipertónicos a su medio ambiente, esto es al tratar de equilibrar las diferencias de la osmolaridad, los peces excretan grandes cantidades de orina para mantener su balance fisiológico interno. La capacidad amortiguadora del agua se debe en mayor parte a la presencia de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. Al igual que la acidez la capacidad amortiguadora es un indicador importante de los efectos adversos potenciales de la alcalinidad, más que el valor de pH.

Los peces en agua dulce dura (> 250 mg/l de alcalinidad) gastarán menos energía metabólica en la osmorregulación que los peces que viven en aguas suaves (< 100 mg/l), de esta manera tendrán más energía metabólica para su crecimiento (Klontz, 1991).

La alcalinidad mínima aceptable para obtener un buen crecimiento y desarrollo aceptable es de aproximadamente 20 mg/l, expresado como CaCO_3 y el máximo es de 200 mg/l. Otros autores reportan un mínimo permisible de 5 mg/l.

Por otra parte la dureza es uno de los componentes sólidos disueltos totales y depende primariamente de las cantidades de iones de calcio y magnesio presentes en el agua. Otros metales tales como el hierro, cobre, zinc y plomo pueden contribuir a la dureza total, pero generalmente están presentes sólo en trazas y su contribución es mínima. La dureza es un índice general del tipo de agua, de la capacidad amortiguadora y de la productividad de los ecosistemas acuáticos.

Para la trucha arco-iris la concentración aceptable para el buen desarrollo de los peces es de hasta 100 mg/l, es decir aguas clasificadas como blandas.

Tecnologías de cultivo.

Existen diversas tecnologías para el cultivo de la trucha arco-iris, que van desde las técnicas extensivas hasta el cultivo intensivo que se practica principalmente en estanques, jaulas y en canales de corriente rápida (Tabla 30)

Tabla 30. Tecnologías de cultivo de trucha arco-iris utilizadas en México.

Tecnologías de cultivo	Artes de cultivo	Rendimientos
Extensivo	Cuerpos de agua, ríos y arroyos, en las partes altas, frías y montañosas.	Inciertos posiblemente menores de 20 kg/ha
Semi-intensivo	Presas	500 kg/ha
	Estanques rústicos	10 kg/m ³
	Encierros.	hasta 20 kg/m ³
Intensivo	Estanques	Mayores de 20 kg/m ³
	Canales de corriente rápida	90 kg/m ³
	Jaulas	15 a 20 kg/m ³
	Sistemas cerrados de recirculación y reacondicionamiento.	60 kg/m ³

A continuación se describen de manera general cada uno de los sistemas:

1. Cultivo extensivo.

La trucha arco-iris se cultiva de manera extensiva en embalses de diferentes dimensiones, inclusive en cuerpos de agua temporales en donde se ha demostrado que es posible realizar el cultivo sin muchos problemas y a costos de producción bajos. Durante muchos años esta especie ha sido introducida reiteradamente en ríos y embalses de las zonas frías y templadas de México, lo que ha propiciado beneficios de carácter económico a la comunidad rural. Sin embargo, no es posible dimensionar la magnitud de este beneficio, porque no se ha evaluado convenientemente y no hay datos oficiales al respecto (Cabrera y García, 1982).

Recientemente ha surgido el interés por parte de grupos y asociaciones interesadas en la pesca deportiva, para realizar siembras en sitios donde sea posible llevar a cabo un mejor control y administración de este recurso. Sin embargo, todavía no existe un verdadero acuerdo entre los interesados y los grupos de pescadores libres y organizados para el manejo adecuado del cuerpo de agua. La experiencia nos muestra que los beneficios económicos que puede arrojar un buen manejo y administración de este recurso son múltiples, no obstante, la falta de políticas que orienten esta actividad ha propiciado que las buenas intenciones de los grupos interesados no funcionen, salvo algunas excepciones.

Algunas granjas han construido pequeñas represas en donde liberan organismos adultos para realizar la pesca deportiva, lo que permite un mayor atractivo y permite obtener un valor agregado en la producción de trucha.

Generalmente, los rendimientos en estos sistemas son inciertos ya que dependen de la cantidad de crías o adultos que son sembrados en los cuerpos de agua. Se estima que en general el rendimiento suele ser inferior a 20 kg por hectárea, aunque esta cantidad puede elevarse significativamente si se siembran truchas adultas derivadas de actividades acuícolas para el fomento de la pesca deportiva o de torneos, donde la derrama económica es más directa por la venta y el alquiler de equipos y de artes de pesca.

2. Cultivo semi-intensivo.

Este tipo de cultivo es realizado principalmente por el sector social y en específico por pequeños productores. Su éxito depende básicamente del suministro constante de dos insumos: a) las crías y b) el alimento balanceado. Para este cultivo se utilizan pequeñas presas u otros cuerpos de agua, estanques rústicos o encierros en ríos, arroyos o canales de riego.

Generalmente, se utilizan diversos cuerpos de agua pequeños tales como presas, bordos o jagüeyes, en donde se tiene un control del mismo. En este caso se adquieren las crías, se siembran a baja densidad ($1/m^2$) y se suministra un porcentaje bajo de alimento balanceado (menor del 1% del peso total diario), y se trata de aprovechar el alimento natural de los cuerpos de agua (larvas y adultos de insectos o crustáceos). El rendimiento es superior al sistema extensivo y puede alcanzar hasta más de 500 kg por hectárea.

En el caso de los estanques estos se construyen de diversos materiales, dependiendo de las condiciones locales, ya que pueden ser rústicos (construidos en terrenos impermeables, con un alto contenido de arcilla), de madera o de fibra de vidrio u otro material de la región que sea económico y fácil de adquirir. En estos estanques se manejan bajas densidades de organismos y tasas de alimentación bajas y su rendimiento no suele superar los $10\text{ kg}/m^3$ de agua.

Finalmente, los encierros se colocan en sitios donde la temperatura del agua no rebasa los $18\text{ }^\circ\text{C}$ a lo largo del año y se aprovechan las aguas de manantiales o de deshielo, canales de riego o bien ríos o arroyos, que mantienen un volumen importante de agua y elevadas concentraciones de oxígeno disuelto. El sistema consiste en colocar dos barreras construidas de diversos materiales, que impiden que las truchas escapen y se les alimenta al igual que en las jaulas. Cuando las condiciones de cultivo son buenas es posible tener una producción que alcanza hasta los $20\text{ kg}/m^3$.

3. Cultivo intensivo.

Se reconocen cuatro modalidades de cultivo intensivo: a) en estanques de concreto semi-rústicos, fibra de vidrio o de metal b) en canales de corriente rápida y c) en jaulas y d) en sistemas cerrados de recirculación y reacondicionamiento de agua.

La mayoría de las granjas utilizan diversos dispositivos en sus instalaciones en función de la fase de cultivo de que se trate; así por ejemplo en la fase de alevinaje se emplea de manera generalizada tinas de fibra de vidrio, las cuales en algunos casos son reemplazadas por estanques de concreto; el número de tinas y de estanques para esta fase varía desde 9 hasta 58, con volúmenes unitarios que van de 0.06 a 0.076 m^3 , con un flujo de agua que oscila entre 0.5 a 10 recambios del volumen total por hora. En la fase de crianza emplean estanques de concreto, canales de corriente rápida y tinas de lámina y madera; el número de estanques difiere de cada caso, así como el recambio de volumen de agua oscila de 0.39 a 3.0 veces por hora. En las instalaciones donde se realiza la fase de engorde, generalmente se utilizan canales de corriente rápida, estanques rústicos y jaulas flotantes; el gasto de agua varía de 0.5 a 3.0 recambios por hora. Para el cultivo y mantenimiento de reproductores se

emplean básicamente canales de corriente rápida, estanques de concreto rectangulares, circulares y rústicos. Respecto al recambio de agua para esta fase hay registros de 0.5 a 3.4 veces del volumen por hora.

La temperatura promedio del agua para todas las fases de cultivo presenta una variación de 10.0 a 18.5 °C, dependiendo de la altitud y de la zona geográfica, donde se ubica cada unidad, consecutivamente en la concentración de oxígeno disuelto también se reportaron variaciones que oscilaron entre 5.0 y 8.8 mg/l en promedio (Anónimo, 1988 e).

a) Estanques.

El cultivo de la trucha en estanques es el más popular en nuestro país y también, el sistema más viejo. Para su construcción se utilizan diversos materiales como la propia tierra siempre y cuando el suelo sea impermeable, la madera, la fibra de vidrio, el acero y el concreto. Su forma puede ser cuadrada, rectangular o bien circular. La ventaja de utilizar estos estanques es que son baratos y fáciles de construir, en especial los de acero o lámina corrugada, ya que simplemente se ensamblan y se entierran sobre el nivel del piso, dependiendo de la altura de la fuente de abasto hídrico. Los estanques circulares que tienen un buen abasto de agua por gravedad permiten la autolimpieza, lo que permite ahorrar en mano de obra, si este no es el caso los estanques tienen que ser limpiados regularmente para prevenir el crecimiento de algas y la acumulación de sedimento.

En términos de rendimiento expresado como kilogramos por metro cúbico, este depende de la capacidad de carga del estanque, que a su vez está relacionado con algunos factores de la calidad del agua, como el contenido de oxígeno disuelto, la temperatura, el flujo de agua y el volumen. La capacidad de carga es un término que se utiliza para expresar los kilogramos de trucha por metro cúbico de espacio aprovechable o flujo de agua. En el caso de los estanques los rendimientos suelen estar por arriba de los 20 kg/m³, de esta manera un estanque circular de 80 m³, bien manejado y con buenas condiciones de calidad de agua, puede producir más de una tonelada de trucha por ciclo.

b) Canales de corriente rápida.

Los canales de corriente rápida varían en sus dimensiones y generalmente son construidos de cemento armado o bien de bloques de concreto reforzados con varilla de acero. Para su construcción se requiere de un abasto suficiente de agua para que funcionen adecuadamente sobre todo cuando se pretende incrementar la capacidad de carga. Entre las ventajas que tiene este sistema es que son fáciles de limpiar, hacen más eficiente el uso del espacio, permitiendo tener elevadas densidades de peces. Dependiendo del flujo de agua se pueden lograr rendimientos hasta de 90 kg/m³, pero obviamente este extremo no permite que las truchas dispongan de un espacio adecuado para crecer, se lastiman de las aletas y se provocan estrés entre los organismos. En términos medios una producción de 60 kg/m³ es aceptable; así un canal de corriente rápida de 30 m de largo por 3 m de ancho y una profundidad de 1.5 m (aproximadamente 90 m³), puede producir hasta 5 toneladas de trucha en un ciclo de cultivo.

c) Jaulas.

Algunos productores recomiendan el cultivo de trucha en jaulas, ya que no siempre es posible la construcción de estanques o canales de corriente rápida y esta tecnología representa una buena alternativa. Algunas ventajas que pueden ser consideradas en la aplicación de esta tecnología, es que son sistemas de cultivo más baratos; el crecimiento y el estado de salud de los peces es más fácil de supervisar; la cosecha es sencilla y se eliminan el costo de la construcción de estanques y de canales de corriente rápida, ya que se aprovechan los cuerpos de agua que presentan características limnológicas apropiadas. Por otra parte, el problema de la abrasión o raspones de las aletas y la piel de los peces que causa mortalidad en la población, se evita si se dispone de un buen sistema de flotación; y un buen manejo de la densidad.

Desde el punto de vista económico se ha demostrado que el cultivo intensivo de salmónidos en jaulas es más rentable que otros sistemas. Es importante destacar que los materiales utilizados y sus costos pueden variar de un sitio a otro, aún cuando las características de las jaulas sean semejantes. Sin embargo, las jaulas son más susceptibles a los embates de las tormentas que otras instalaciones en tierra, igualmente también al robo y los daños son más severos en jaulas que en otros sistemas de cultivo.

Sin embargo, también existen limitaciones en este sistema de cultivo, la tabla 31 resume tanto las ventajas como las limitaciones:

Tabla 31. Ventajas y limitaciones para el cultivo de peces en jaulas.

Ventajas	Limitaciones
Posibilidad de explotación máxima de los cuerpos de aguas, que tienen características limnológicas adecuadas.	Su instalación en aguas agitadas dificulta su manejo y operación.
Contribuyen a reducir la presión sobre los recursos terrestres.	Se requiere de instalaciones adicionales tales como: almacén de alimentos, estanques de precría y lanchas o embarcaciones para la operación. Por lo que se requiere de un sitio estratégico
Fáciles de mover y de trasladar.	Necesitan de limpieza continua, sobre todo en las paredes de las jaulas
Se pueden manejar altas densidades de peces, mejorar las tasas de crecimiento y reducir el periodo de engorde.	En el caso de ruptura de las jaulas se puede perder la producción por el escape de los organismos.
Intercambio adecuado de agua para eliminar desechos y lograr alto contenido de Oxígeno Disuelto (O.D.).	Problemas con la calidad del agua, especialmente con la concentración del oxígeno disuelto.
Utilización óptima de alimentos comerciales y una mejor Factor de Conversión de Alimento.	Dependencia absoluta de alimento comercial y pérdida del alimento, lo que encarece los costos.
Facilidad de controlar competidores y depredadores.	Introducción de peces nativos, causando competencia por alimento
Los peces se pueden observar todo el día, controlando y detectando fácilmente las enfermedades y la tasa de crecimiento.	Los peces silvestres actúan como portadores potenciales de enfermedades y parásitos, aumenta la probabilidad de difundir enfermedades hacia nuevas especies
Se reduce el manejo de los peces y la tasa de mortalidad	Se debe tener un acceso fácil a los sitios donde se colocan las jaulas.
La cosecha es fácil y rápida	Se incrementan los robos

La cosecha puede ser realizada con menos mano de obra.	La producción es menor que en canales de corriente rápida.
Se facilita el almacenamiento y el transporte de los peces vivos	Las inversión del capital se amortiza en tiempos cortos.
El capital de inversión es relativamente bajo.	

Fuente: Beveridge (1987).

Respecto a la forma y tamaño de las jaulas, estas siempre deben diseñarse de acuerdo a los hábitos de los peces, pudiendo ser circulares para los peces que forman cardúmenes como los salmónidos y sabalotes que tienden a nadar en círculos cuando están en cautiverio, aunque las cuadradas han dado buenos resultados para el cultivo de trucha en agua dulce (Figura 45).

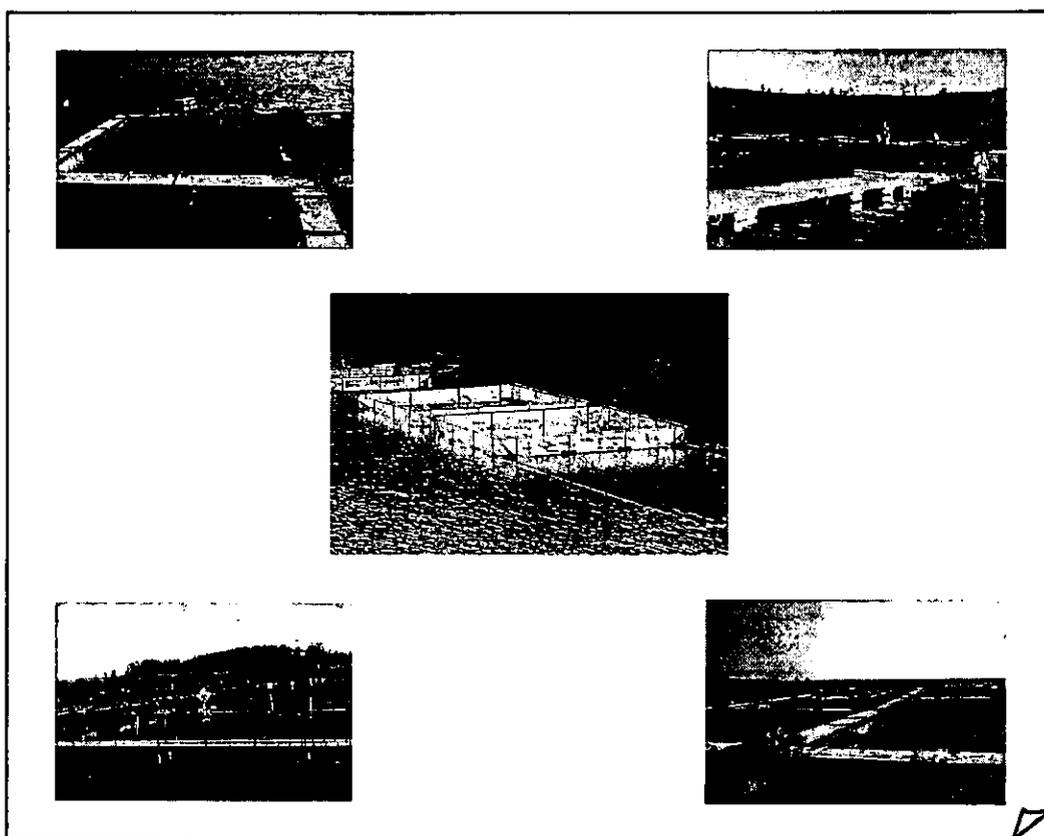


Figura 45. Diferentes tipos de jaulas utilizadas en el cultivo de trucha arco-iris.

Existen actualmente cuatro formas de colocar las jaulas:

- a) Fijas, sujetas al fondo por medio de estacas, y en áreas someras.
- b) Flotantes, suspendidas por medio de un marco o collar de diversos materiales sostenido por flotadores y fijas al fondo por medio de cuerdas ancladas.
- c) Sumergidas, que pueden estar fijas al fondo por cuerdas atadas a piedras u otro tipo de ancla, pudiendo estar a media agua o completamente sumergidas en sitios poco profundos.

d) Subsumergidas, que son instaladas en mar abierto y semejan una gran boya radial, cuyos radios o rayos son huecos y cumplen dos funciones, primero, dar forma a la jaula y segundo, mantener el nivel de flotación deseado cuando son llenados con aire a presión, que permita dejar en la superficie el área de trabajo, estas jaulas varían enormemente en cuanto a formas, dimensiones y materiales.

Las jaulas deben ser seleccionadas de acuerdo con los siguientes criterios:

1. La especie y etapa del desarrollo que se va a cultivar.
2. Condiciones prevalecientes en el medio ambiente.
3. Intensidad del cultivo (extensivo; semi-intensivo o intensivo).
4. Tenencia de la tierra.
5. Costos disponibles de materiales.
6. Experiencia del manejo de jaulas para peces del personal.

Por lo general las jaulas que se han construido en México son cuadradas o rectangulares, por ser más fácil la obtención de los materiales rectos que los curvos para estructuras circulares. Las dimensiones han sido diversas de acuerdo a la especie y volumen a cultivar, las dimensiones más frecuentes usadas para el cultivo de trucha en nuestro país son de 3 por 3 metros; 4 por 4 metros; 6 por 6 metros y hasta 12 por 6 por 2 metros.

La trucha arco-iris puede ser fácilmente cultivada en jaulas, debido a que existe un suministro adecuado de crías de esta especie, pero su cultivo debe realizarse en condiciones óptimas de calidad del agua, tal como fue mencionado con anterioridad. Generalmente, se introducen juveniles de 10 a 15 cm de longitud total, aprovechando cuando la temperatura del agua disminuye de los 18 °C y cosechando los peces cuando estos alcanzan entre 23 y 25 cm (con un peso entre 300 a 400 g). Esta estrategia puede cambiar cuando el cuerpo de agua mantiene a lo largo del año una temperatura por debajo de los 18 °C. El rendimiento es un poco mayor del que se logra en los estanques y está por debajo de los canales de corriente rápida. Si las condiciones de agua son adecuadas y las jaulas son bien operadas durante todo el ciclo de cultivo es posible obtener una producción de 15 a 20 kg/m³. Una jaula de 40 m³ puede producir más de 800 kg en un ciclo de cultivo (Beveridge, 1984).

d) Sistemas cerrados de recirculación y reacondicionamiento.

Estos sistemas de producción ofrecen una alternativa interesante, ya que utilizan menos del 10% del agua requerida por los estanques para obtener rendimientos similares. Generalmente esta tecnología es utilizada cuando no se dispone de grandes cantidades de agua, pero para mantener las condiciones de calidad de agua que requiere la trucha, ésta tiene que ser tratada para eliminar los metabolitos tóxicos como el amonio no ionizado (NH₃) y el nitrito (NO₂⁻), los sólidos disueltos y en suspensión y el dióxido de carbono (CO₂), además, de mantener el oxígeno disuelto en niveles cercanos a la saturación. El éxito de un sistema de recirculación y reacondicionamiento de agua para acuicultura depende de la efectividad del tratamiento de agua. Estos sistemas utilizan procesos biológicos, físicos, químicos y mecánicos para remover los sólidos disueltos, oxidar el amonio no ionizado y el nitrito y airear o oxigenar el agua (Losordo *et al.*, 1992).

Las experiencias realizadas en otros países con la producción de salmónidos (principalmente con el salmón y la trucha arco-iris), indican que es posible obtener rendimientos elevados de hasta 80 kg/m³. En los trabajos realizados durante más de cinco años en la Planta Experimental de Producción Acuícola, en la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, se ha podido demostrar que es factible el cultivo de trucha en estanques circulares de cinco metros cúbicos, lográndose producciones cercanas a los 20 kg/m³ utilizando un sistema cerrado de recirculación de bajo costo. A pesar de los altos costos de construcción y operación, es posible que sean rentables, sobre todo si se orientan a la producción de especies de elevado valor económico, como la trucha salmonada (Arredondo com. pers.).

Alimentación.

El alimento adecuado y que cubra los requerimientos nutricionales de la trucha es un punto fundamental para obtener una buena rentabilidad en el cultivo. El uso y el manejo inadecuado del alimento repercute en los rendimientos esperados, en la degradación de la calidad del agua y en problemas posibles de enfermedades. Existen al menos cuatro marcas de alimentos que cubren los requerimientos nutricionales de las truchas en las diferentes etapas de desarrollo, entre ellos podemos mencionar a las marcas comerciales de Purina, Silver Cup (El Pedregal), Malta Clayton y Aceitera La Junta, cuyos análisis químicos proximales, indican que para la etapa de crecimiento estos alimentos contienen entre 47 y 48% de proteína; de 12 a 17% de Extracto Etéreo; de 0.9 a 2% de fibra cruda y de 15 a 20% de carbohidratos. Al ser comparados estos alimentos en un experimento que duró 62 días, se demostró que no existen diferencias significativas entre ellos, llevando a los organismos de un peso promedio de 20 a 90 gramos en este tiempo, siendo la ganancia promedio de peso de 70 gramos es decir de más de un gramo al día (Bonilla, 1998). Estos resultados comprueban que es posible utilizar cualquiera de los alimentos mencionados sin menoscabo del crecimiento de esta especie.

A pesar de que existen en el mercado excelentes alimentos balanceados y que se tienen tablas de alimentación adaptadas a las condiciones del país, aún persisten los problemas con los productores, ya que muchos de ellos no aplican el alimento de la manera correcta y desperdician una gran cantidad, con lo que su costo de producción se incrementa notablemente. Las tablas de alimentación estándar pueden ser utilizadas para estimar la cantidad de alimento necesario para la trucha (Piper *et al.*, 1982). Estas tablas son una guía básica, sin embargo, el encargado de alimentación debe estar atento de los hábitos alimenticios de los peces. En ciertos periodos del año los niveles de alimentación pueden variar, requiriendo una mayor cantidad de alimento y en otra época estos pueden disminuir.

Otro aspecto que debe ser supervisado regularmente es de Factor de Conversión de Alimento (FCA), el cual generalmente debe variar entre 1.0 y 2.0 para que sea aceptable económica y financieramente. Si este factor fluctúa significativamente entonces la práctica de alimentación debe ser ajustada o bien puede obedecer a un problema de enfermedades o de estrés. Entre los productores mexicanos este problema es común, debido al desconocimiento que se tiene en el manejo del alimento y es un factor muy importante desde el punto de vista de la rentabilidad económica y financiera de un proyecto, ya que el

alimento representa entre un 40 y 50% de los costos totales de producción (Bonilla, 1998).

En la figura 46 se presentan algunos aspectos del cultivo de la trucha en México.

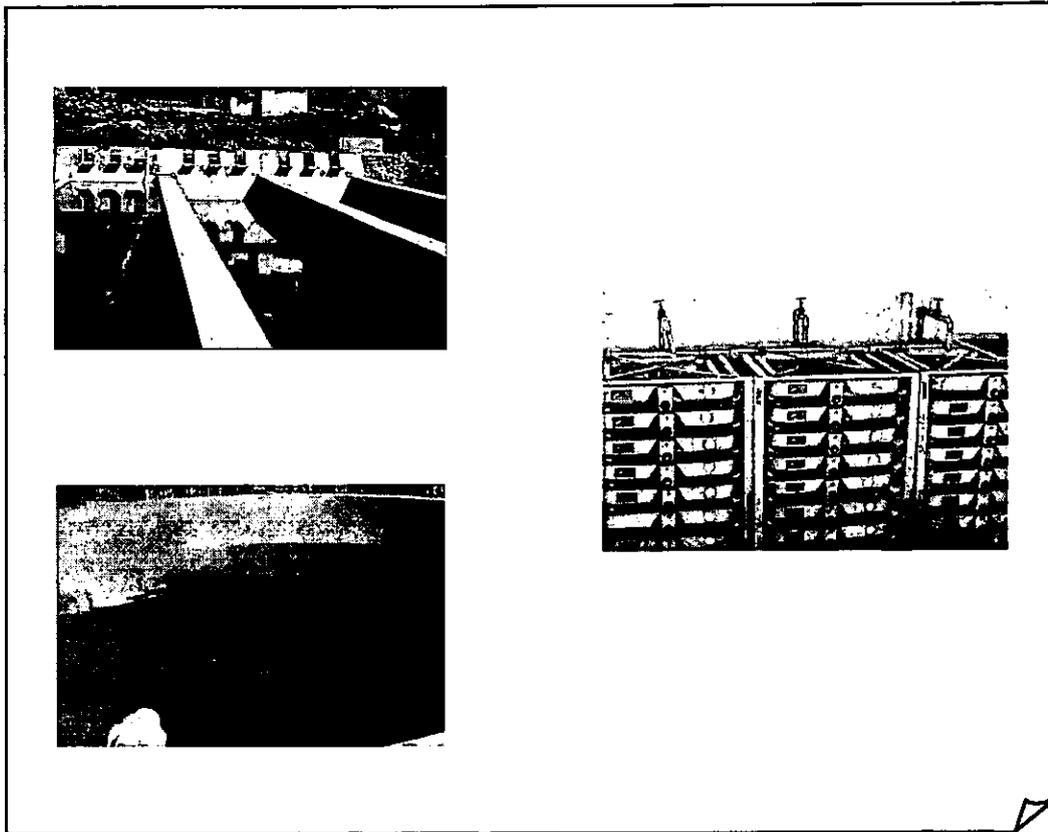


Figura 46. Algunos aspectos del cultivo intensivo de trucha. En la parte superior izquierda el cultivo en canales de corriente rápida; en el centro a la derecha una incubadora tipo California y en el fondo a la izquierda un estanque circular de fibra de vidrio para el cultivo de crías.

Carpas (familia Cyprinidae).

La familia Cyprinidae comprende a un grupo de peces conocidos como carpas, que habitan los ríos y los cuerpos de agua lacustres. Sus diferentes especies se encuentran repartidas en los Continentes de Africa, Europa, Asia y América. Comprende un total de 275 géneros y más de 1,500 especies y es considerada como la familia más grande de peces primitivos, a causa de su fuerte dependencia con el hábitat de agua dulce y su incapacidad para tolerar aguas salobres y marinas.

En México la familia Cyprinidae está representada por 20 géneros nativos, que corresponden a un grupo de peces de la provincia Neártica con una amplia distribución y diversificación en Norteamérica (Alvarez, 1970).

Aunque la mayoría de las carpas nativas son de pequeñas tallas, existen algunas especies introducidas que alcanzan hasta 150 cm de longitud. Entre sus características morfológicas, estas especies carecen de dientes en la cavidad bucal, sin embargo presentan dientes faríngeos bien desarrollados en la parte terminal del arco faríngeo, que varían de acuerdo a sus hábitos alimenticios; su boca puede ser pequeña o grande, en posición terminal, subterminal o inferior, con uno o dos pares de barbillas, algunas veces ausentes; membranas branquiales unidas, carecen de aleta adiposa, las escamas son cicloides y están presentes en todo en el cuerpo, excepto en las carpas seleccionadas como la carpa de Israel o Espejo y la carpa cuero y además presentan una línea lateral bien definida.

Dentro de este grupo se peces se encuentran varias especies que se cultivan en nuestro país que corresponden a un grupo de organismos que son conocidos como las carpas Europeas y Chinas, la mayoría de ellas provenientes de la República Popular China (Tabla 32).

Tabla 32. Especies de carpas que se cultivan en México.

Nombre Común	Nombre científico	Año de introducción
Carpa negra	<i>Mylopharyngodon piceus</i> (Richardson, 1846)	1979
Carpa herbívora	<i>Ctenopharyngodon idella</i> (Valenciennes in Cuvier and Valenciennes, 1844)	1966, 1968 y 1981
Carpa brema o Wuchan	<i>Megalobrama amblycephala</i> Yih, 1955	1979
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i> Linnaeus, 1785	Finales del siglo XIX
Carpa dorada o japonesa	<i>Carassius auratus auratus</i> (Linnaeus, 1758)	Finales del siglo XIX
Carpa plateada	<i>Hypophthalmichthys molitrix</i> (Valenciennes in Cuvier and Valenciennes, 1844)	1968, 1976 y 1981
Carpa cabezona	<i>Aristichthys nobilis</i> (Richardson), 1844	1976, 1979 y 1981
Acúmara *	<i>Algansea lacustris</i> Steindachner, 1895	Nativa

*Especie nativa cultivada en el Lago de Pátzcuaro, Michoacán.

Fuente: Arredondo y Juárez, (1986).

Dentro de las principales características que presentan estas especies de carpas, se puede destacar que la carpa común (*Cyprinus carpio*), presenta distintas variedades que han sido cultivadas en nuestro país, entre ellas podemos destacar a la carpa

escamuda, la carpa barrigona y la carpa espejo o de Israel, todas ellas corresponden a la variedad (*Cyprinus carpio carpio*), que son preferentemente omnívoras y bentófagas, ya que prefieren vivir en el fondo de los cuerpos de agua en la llamada interfase columna de agua-sedimento, removiendo los materiales de que se alimentan. De las especies cultivadas en México es la que mejor acepta alimentos balanceados (Figura 47).

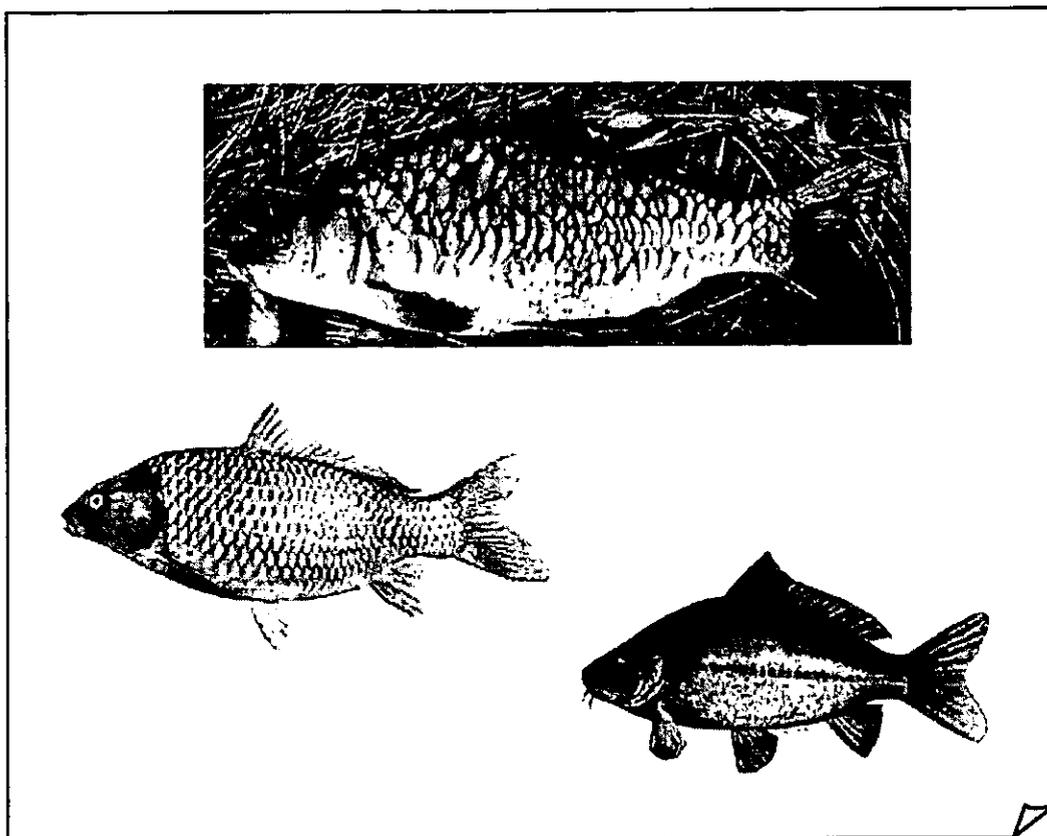


Figura 47. Diferentes variedades de carpa común (*Cyprinus carpio carpio*) que se cultivan en México. En la parte superior se muestra a la carpa escamuda; en la parte inferior izquierda a la carpa barrigona y a la derecha la llamada carpa espejo o de Israel.

También existe la variedad conocida como *Koi* (*Cyprinus carpio carpio*), que es una especie muy apreciada por los acuariófilos, debido a los colores atractivos que desarrolla, ya que es posible encontrar organismos que presentan un color blanco hasta aquellos que presentan coloraciones combinadas vistosas. Actualmente, esta variedad se cultiva por productores dedicados exclusivamente a la venta y comercialización de peces de ornato.

Otra especie que también es producida por los productores de peces de ornato, es la carpa dorada o Japonesa (*Carassius auratus auratus*), de la que se han logrado obtener variedades muy atractivas como la Cabeza de León, Perlado, Cola de Velo, Moro, etcétera, que alcanzan un valor elevado en los mercados tanto nacional como

internacional.

La carpa herbívora (*C. idellus*), prefiere consumir principalmente macrofitas acuáticas y terrestres de tallos y hojas suaves, así como desechos de hortalizas y árboles frutales. Ocupa la capa media de la columna de agua, y nada siempre cerca de la orillas en donde suele alimentarse del pasto que crece en los márgenes. Se ha observado que esta especie acepta bien el alimento balanceado.

La brema o pez Wuchan (*M. amblycephala*), prefiere desplazarse en la capa media de la columna de agua o bien en el fondo del cuerpo de agua. Es herbívora y consume principalmente macrofitas acuáticas o terrestres de tallos y hojas suaves como *Vallisneria* y *Potamogeton*. La diferencia con la especie anterior es el tamaño de la boca que es muy pequeña y que por esta razón consume primordialmente pequeñas macrofitas.

Las carpas plateada y cabezona (*H. molitrix* y *A. nobilis*) son especies filtradoras que se establecen en la superficie del cuerpo de agua. La primera se alimenta principalmente de fitoplancton y en menor grado de detritus orgánicos, se ha visto que en la etapa de cría (hasta los 10 cm) puede aceptar alimento balanceado. La segunda es zooplantófaga, aunque consume también importantes cantidades de fitoplancton y al igual que la especie anterior suele aceptar alimento balanceado a nivel de cría.

La carpa negra (*M. piceus*), es carnívora, vive en el fondo y su alimento preferido lo constituyen los caracoles (por lo que es considerada malacófaga), al igual que la herbívora suele aceptar alimentos balanceados, aunque en menor medida.

La acúmara (*A. lacustris*), es una especie endémica del Lago de Pátzcuaro, Michoacán, de hábitos omnívoros. Se cultiva desde hace muchos años y ha sido diseminada en varios cuerpos de agua cercanos a su estado de origen. Esta especie puede ser incluida en los policultivos sin mayor problema.

Antecedentes.

La historia del cultivo de las carpas asiáticas en México, se remonta a finales del siglo XIX y se inicia propiamente con la introducción de las primeras especies; la carpa común *Cyprinus carpio* y la dorada o japonesa *Carassius auratus*, que fueron importadas directamente de Europa. Desde el momento en que estos organismos se adaptaron a las condiciones de los lagos y presas, pasaron a formar parte de la dieta de los mexicanos, y hoy en día, un siglo después de su llegada, su consumo se ha generalizado sobre todo en la Meseta Central, donde ya se les reconoce como especies nativas.

Inicialmente el manejo de estas carpas resultó relativamente fácil, en virtud de la gran adaptabilidad que tienen a los sistemas rústicos de cultivo, ya que no presentan problemas en su reproducción. Por estos motivos fueron diseminadas en numerosos cuerpos de agua, por conducto de los primeros centros piscícolas dependientes de ese

entonces del Banco Nacional de Crédito Ejidal, S.A. de C.V., como Zacatepec, Morelos; Jaral de Berrio, Guanajuato y Antúnez, Michoacán (Obregón, 1961).

Sin lugar a dudas a partir de esta etapa da principio el desarrollo de una cigrinicultura más formal, en la que jugó un papel preponderante la carpa seleccionada de Israel *Cyprinus carpio specularis*, también conocida como carpa espejo, que se importó en 1956 y de la que una vez obtenidas las primeras crías, éstas fueron diseminadas en sitios apropiados para su crecimiento, demostrando al paso del tiempo un alto grado de adaptación y un elevado índice de reproducción, particularidades que la sitúan como una especie de gran futuro en los sistemas de cultivo intensivo o extensivo.

En 1963, la Comisión Nacional Consultiva de Pesca, inició la construcción de la Estación Piscícola de Tezontepec de Aldama, en el Valle del Mezquital, Estado de Hidalgo, con el objetivo de desarrollar el cultivo de ciprínidos asiáticos, preferentemente en las fases de reproducción, alevinaje y cría. Dos años después, las obras se concluyeron y a partir de ese año, se han generado las bases que tienden a culminar con la implantación de un sistema de policultivos tipo chino, con la utilización de las primeras carpas chinas, como la herbívora *Ctenopharyngodon idellus*, plateada *Hypophthalmichthys molitrix*, y la llamada carpa barrigona *Cyprinus carpio rubrofuscus*, todas ellas importadas directamente de la República Popular China (Juárez, 1979; Arredondo y Juárez, 1986).

El problema inmediato que se presentó con el manejo de estas especies (a excepción de la carpa barrigona), fue el hecho de que difícilmente se reproducen fuera de su ambiente natural, razón por la cual se realizaron las primeras experiencias encaminadas a lograr la reproducción inducida, utilizando extractos de pituitaria y hormonas heteroplásticas sintéticas.

De esta manera, en 1971 Francisco Vera, logró la primera reproducción inducida de la carpa herbívora; en 1975, Abelardo Rus obtiene la de la carpa plateada y posteriormente en 1980, Ricardo Juárez y Guadalupe Palomo perfeccionan las técnicas obteniéndose de esta forma un gran avance en la reproducción de estas especies.

En 1976, se confirmó la reproducción natural de la carpa herbívora, en los afluentes más importantes de la presa "El Infiernillo", ubicada entre los estados de Michoacán y Guerrero, hecho que permite suponer que esta especie se ha adaptado a las condiciones particulares de este embalse y que tal vez otras especies de carpas chinas puedan lograr también su reproducción en este lugar (Rosas, 1976; Cortés y Arredondo, 1976).

En Octubre de 1979, llegaron procedentes de la República Popular China (Ciudad de Shanghai), cinco parejas de ejemplares adultos de las especies básicas que integran el Policultivo chino, incluyendo la carpa brema o Wuchan y se reclutaron en Tezontepec de Aldama. Entre las especies importadas también se tuvo la carpa negra *Mylopharyngodon piceus* y cabezona *Aristichthys nobilis* (Juárez y Palomo 1985).

Un año después de su arribo, se obtuvo la reproducción de la carpa brema, por Guadalupe Palomo, especie que al parecer presentó pocos problemas para su manejo. En 1981, Hugo Ramírez, logró la reproducción inducida de la carpa cabezona, asegurando de esta manera su permanencia en el país.

Finalmente en Junio de 1985, después de dos años de intentos se obtuvo la reproducción de la carpa negra, Miguel Angel Gutiérrez y Jaime Flores Crespo, lográndose las primeras crías de esta especie y completando de esta manera, las técnicas de reproducción inducida de todas las carpas chinas presentes en México.

Recientes introducciones de carpas se realizaron en 1984 provenientes de Cuba, tratando de reforzar genéticamente a las especies y con esto, se espera aumentar la eficiencia en las cruzas y obtener consecuentemente mejores crías. De tal forma, que hasta el momento se han introducido un total de siete diferentes especies de carpas chinas, que representan cuatro subfamilias de la familia Cyprinidae y que conforman la base del Policultivo chino (Arredondo, 1990 b).

Actualmente se cuenta con 7 centros acuícolas en toda la República, que son propiedad de la SEMARNAP, que producen crías de carpas (5-7 cm) para crecimiento y engorde en cuerpos de agua y jaulas principalmente.

En los últimos años la producción de carpa se ha mantenido casi constante fluctuando entre las 16,000 y las 29,000 toneladas anuales.

La producción histórica de la carpa en México se presenta en la figura 48.

Ciclo biológico.

Dentro del ciclo biológico de las diferentes especies de carpas, es posible reconocer dos grupos de acuerdo al tipo de huevo que producen: a) las que presentan huevos adherentes que se fijan a un substrato típicamente herbáceo, como es el caso de la carpa común, la carpa dorada o japonesa y la brema Wuchan y b) las que tienen huevos pelágicos o flotantes como son las carpas herbívora, plateada, cabezona, negra y la acúmara.

Los datos sobre la biología de las distintas especies de carpas exóticas se presenta en la tabla 33 y en la figura 49 se muestra el ciclo biológico de la carpa (en particular la carpa barrigona)

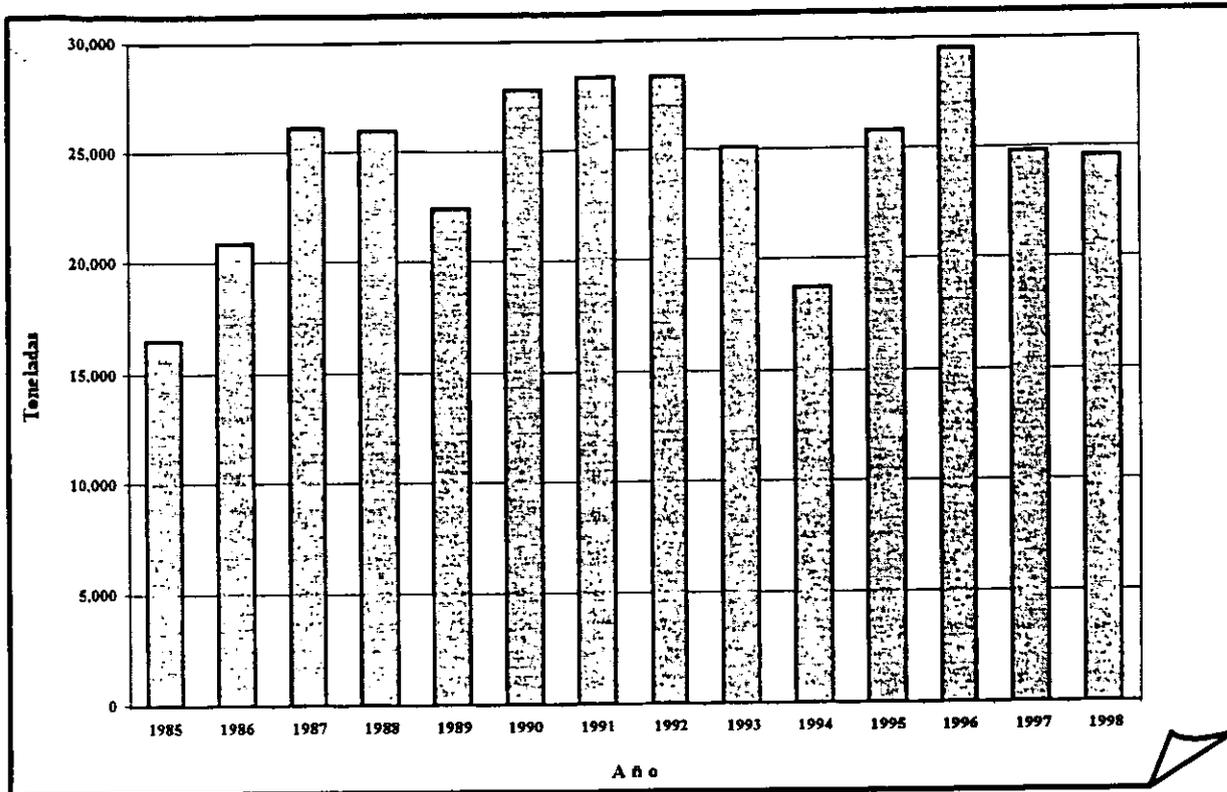


Figura 48. Producción total de carpa durante el periodo 1985-1998 (SEMARNAP, 1998).

Tabla 33. Datos de la Biología de la reproducción de los ciprinidos que se cultivan en México.

Datos	Carpa Negra	Carpa Herbívora	Brema	Carpa Común	Carpa Plateada	Carpa Cabezona
Edad en la que alcanzan la madurez sexual	Macho 3-4 años Hembra 4-5 años	Macho 2-3 años Hembra 3-4 años	Macho 2-3 años Hembra 3-4 años	Macho 1-2 años Hembra 2-3 años	Macho 2-3 años Hembra 3-4 años	Macho 2-3 años Hembra 3-4 años
Talla promedio de los adultos maduros sexualmente	Macho 74-88 cm Hembra 88 cm	Macho 50-80 cm Hembra 57-80 cm	Macho 25-40 cm Hembra 30-40 cm	Macho 25-30 cm Hembra 30-40 cm	Macho 60-70 cm Hembra 65-80 cm	Macho 70-80 cm Hembra 80-90 cm
Número de huevos promedio por peso	100,000 /kg de peso	90,000-120,000/kg	70,000-80,000 /kg.	80,000-100,000 /kg	60,000-80,000 /kg.	60,000-70,000 /kg
Tipo de huevo	Flotante	Flotante	Adherente	Adherente	Flotante	Flotante
Epoca de reproducción en México	Junio-Agosto	Mayo-Septiembre	Abril-Mayo	Febrero (natural) Enero-Octubre (inducida)	Mayo-Agosto	Mayo-Julio
Conducta social durante la reproducción	Agrupamiento de reproductores de varias edades y tallas	Agrupamiento de reproductores de varias edades y tallas	Agrupamiento de reproductores de varias edades y tallas	Agrupamiento de reproductores de varias edades y tallas	Agrupamiento de reproductores de varias edades y tallas.	Agrupamiento de reproductores de varias edades y tallas.
Características de las zonas de desove en el ambiente natural	Ríos y arroyos con fondo de grava y corrientes rápidas	Ríos y arroyos con fondo de grava y corrientes rápidas.	Ríos y arroyos con fondo de grava y corrientes rápidas	Ríos y arroyos con fondo de grava y corrientes rápidas.	Ríos y arroyos con fondo de grava y corrientes rápidas.	Ríos y arroyos con fondo de grava y corrientes rápidas.
Cuidado de los progenitores hacia sus crías	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Tamaño del huevo.	1.2 mm (recién fecundado) 3.7-5.3 mm (hidratado)	1.2 mm (recién fecundado) 5.3-7 mm (hidratado)	0.8-1.2 mm (recién fecundado) 4.5 mm (hidratado).	1-1.5 mm (recién fecundado) 1.5-2 mm (hidratado)	0.7-1.0 mm (recién fecundado) 3.7-5 mm (hidratado).	1-1.1 mm (recién fecundado) 3.7-3 mm (hidratado)
Número de huevos	10,000	90,000-120,000	70,000-80,000	80,000-100,000	60,000-80,000	60,000-70,000

recién fecundados por kg.						
Número de huevos hidratados en un litro.	16,000-18,000	16,000-18,000	7,000-8,000	80,000-120,000	18,000 22,000	12,000-16,000
Duración del desarrollo embrionario hasta la eclosión del alevín.	32 horas a 23 °C	30-36 horas a 21-27 °C	46-48 horas a 23 °C	44-46 horas a 23 °C	30-32 horas a 23 °C	30-32 horas a 23 °C
Duración del proceso de reabsorción del seco vitelino.	3-4 días, dependiendo de la temperatura del agua.	3-4 días, dependiendo de la temperatura del agua.	3-4 días, dependiendo de la temperatura del agua.	3-4 días, dependiendo de la temperatura del agua.	3-4 días, dependiendo de la temperatura del agua.	3-4 días, dependiendo de la temperatura del agua.
Talla en que alcanza los hábitos alimentarios propios de su especie.	30-40 mm.	40-50 mm.	40-50 mm.	50 mm.	30-35 mm.	30-50 mm.

Fuente: Arredondo y Juárez, (1986).

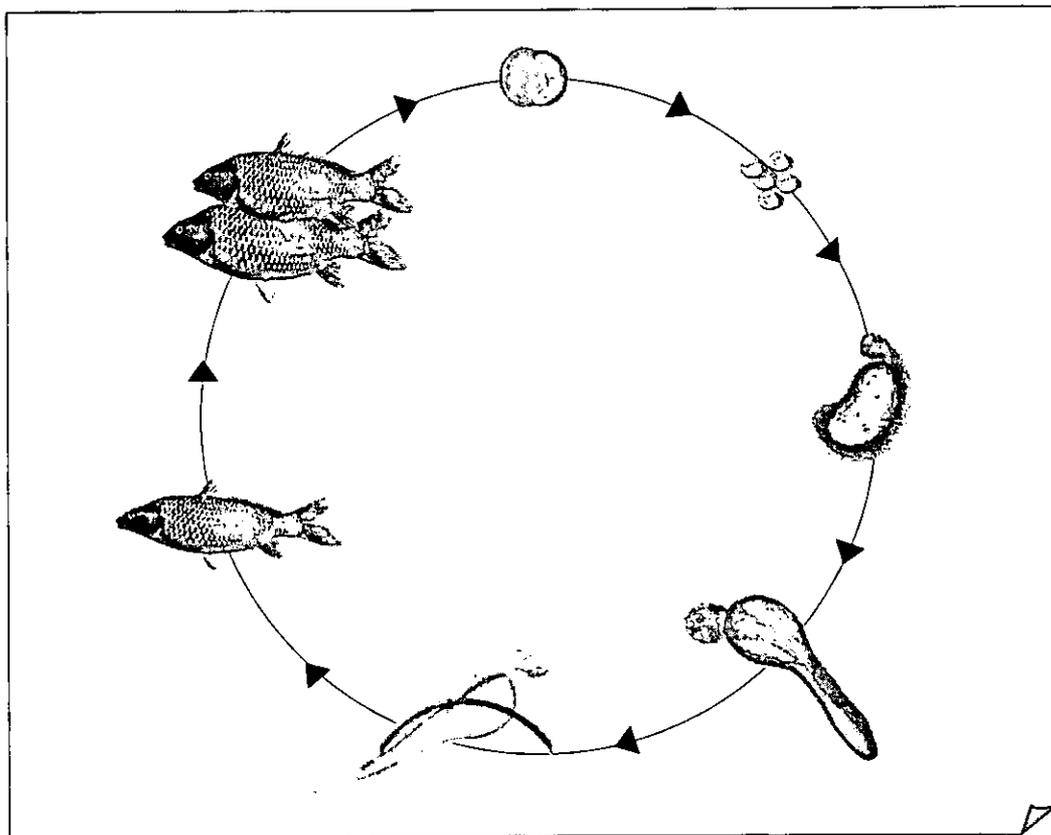


Figura 49. Ciclo biológico de la carpa.

Factores ambientales.

Las carpas son organismos resistentes a las condiciones ambientales desfavorables, tanto a bajas como elevadas temperaturas, a escasos niveles de oxígeno disuelto y a poca cantidad de alimento.

Los parámetros ambientales que se requieren controlar para que el cultivo se logre son: temperatura del agua, transparencia, oxígeno disuelto, pH, dióxido de carbono, amonio no ionizado (NH_3), ácido sulfhídrico, nitrito (NO_2), fosfatos, alcalinidad, dureza y cloruros (Tabla 34).

Tabla 34. Intervalos óptimo y crítico de los parámetros de calidad de agua para el cultivo de carpas.

Parámetros	Intervalo óptimo	Intervalo crítico
Temperatura °C	23 a 30	< 15 y > 32
Oxígeno disuelto (mg/l)	5 a 7	< 1
Dióxido de carbono (mg/l)	0 a 10	> 20
Alcalinidad total (mg/l)	50 a 400	< 50 y > 400
pH	7 a 8.5	< 6 y > 10
Amonio no ionizado (NH_3) mg/l	< 0.05	> 0.06
Acido sulfhídrico (mg/l)	0.0	> 0.006
Transparencia del agua (cm)	15 a 25	< 15
Nitrito (mg/l)	< 0.5	> 4.5 a 5
Dureza total (mg/l)	> 20	> 400

Fuente: NACA (1989).

A continuación se indican en forma separada cada uno de los parámetros.

1. Temperatura.

Aunque por lo general las carpas se adaptan a una gran variedad de climas y se desarrollan bien en ambientes lénticos y lóticos, la temperatura del agua incide directamente en su tasa metabólica. A menos de 15 °C el apetito disminuye y por debajo de los 8 o 10 °C, cesan de alimentarse y a menos de 5 °C la mayoría de los individuos mueren.

Se considera que las carpas están incluidas dentro del grupo de peces considerados de aguas cálidas, ya que son euritérmicas; y su intervalo óptimo oscila entre los 23 y 30 °C.

2. Oxígeno disuelto (O.D.).

Esta es probablemente la variable más crítica de la calidad del agua; sin embargo, las carpas son los de mayor resistencia a las bajas concentraciones. De este gas. Existen diferentes criterios acerca de las necesidades de los peces de aguas cálidas que permitan mantener buenas tasas de supervivencia y crecimiento. Swingle (1961), reporta menos de 1 mg/l el efecto es letal sobre los peces; de 1-5 mg/l en largos periodos de exposición, el pez sobrevive, pero su crecimiento es lento; más de 5 mg/l, el pez se reproduce y vive normalmente.

Las experiencias de cultivo en nuestro país bajo diferentes condiciones climáticas y geográficas, han demostrado que estas especies se desarrollan normalmente en aguas

que contienen una concentración de oxígeno disuelto de 2 mg/l y también, se ha determinado que el consumo de alimento es directamente proporcional a la concentración de este gas. Por debajo de 2 mg/l se presenta una pérdida de apetito y a 1 mg/l los organismos cesan de alimentarse y con una concentración menor mueren.

3. Dióxido de carbono (CO₂).

El CO₂ en el agua sólo se presenta en grandes concentraciones en aguas blandas y con un pH ácido. En la mayoría de los cuerpos de agua donde actualmente se desarrolla el cultivo de carpa las aguas son alcalinas y tienen un pH superior a 8.0 y por lo tanto presentan una elevada capacidad amortiguadora por lo cual los valores de dióxido de carbono no rebasan los 2 mg/l. Se estima que las carpas pueden tolerar altas concentraciones de este gas, pero se debe tener cuidado en que la concentración no rebase los 20 mg/l.

4. Alcalinidad total.

Se refiere a la concentración total de bases en el agua y se expresa como miligramos por litro equivalente de carbonato de calcio. En aguas naturales, estas bases se encuentran representadas principalmente por iones de carbonato y bicarbonato. La alcalinidad se puede expresar también en términos de basicidad y resistencia a cambios de pH en un volumen determinado de agua presenta en proporción directa a los niveles de alcalinidad total. La alcalinidad total recomendable para el cultivo de carpas se ubica entre 50 y 400 mg/l en forma de CaCO₃.

5. pH.

Un pH entre 6.5 y 9.0 es el más apropiado para la piscicultura. La reproducción disminuye en valores inferiores a 6.5 o mayores de 9.5; por debajo de 4.0 se presenta la muerte ácida, y por encima de 11.0 la muerte alcalina.

El pH afecta drásticamente el metabolismo de las carpas. Cuando los valores bajan hasta 5.5 este se reduce drásticamente, y por esto prefieren aguas ligeramente alcalinas (7 a 8.5).

6. Amonio no ionizado.

El amonio no ionizado es tóxico para los peces, no así el ionizado. El aporte de amonio en los estanques se realiza por medio de fertilizantes, las excretas de los peces y la actividad microbiana sobre los compuestos nitrogenados. Algunas organizaciones han establecido que los niveles tóxicos de NH₃, se encuentran entre 0.06 y 2.0 mg/l para la mayoría de las especies, y se considera que estos niveles letales disminuyen cuando decrece la concentración del oxígeno.

7. **Transparencia del agua.**

Este parámetro es un indicador de los materiales en suspensión que se mantienen en la columna de agua, los cuales interfieren el paso de la luz. La transparencia que resulta de organismos planctónicos o de materiales en suspensión es una característica deseable; sin embargo, algunas veces, partículas de arcilla en suspensión provocan una transparencia no deseada. El registro se realiza a través de la visión del disco de Sechii y se estima que un valor adecuado fluctúan entre 15 y 25 cm.

8. **Nitrito (NO_2^-).**

Una concentración elevada de nitrito tiene un efecto fisiológico negativo en los peces. La absorción continua de nitrito puede acarrear la muerte de organismos por hipoxia y cianosis. Usualmente los estanques contienen entre 0.5 y 3.0 mg/l, pero algunas ocasiones se han reportado valores que alcanzan de 4.6 a 5.0 mg/l lo cual puede resultar en problemas para las carpas en cultivo.

9. **Dureza total.**

Se expresa como la concentración total de iones de calcio y magnesio. Los valores de alcalinidad y dureza totales normalmente son similares en magnitud, debido a que los iones de calcio, magnesio, bicarbonato y carbono en el agua, son derivados en cantidades equivalentes de la disolución de calizas depositadas en el lecho del cuerpo de agua.

Los niveles adecuados de dureza y alcalinidad totales para el cultivo de carpas, se ubican dentro del intervalo de los 20 a los 300 mg/l. Como regla general, las aguas más productivas para el cultivo presentan valores de alcalinidad y dureza aproximadamente de la misma magnitud. Las experiencias de cultivo realizadas en nuestro país indican que las diferentes especies de carpas, se pueden adaptar perfectamente a intervalos amplios de dureza, ya que se les encuentra en cuerpos de agua que tienen desde aguas blandas a duras, excediendo en algunos casos hasta los 400 mg/l expresados como CaCO_3 (NACA, 1989).

Tecnologías de cultivo.

El éxito del cultivo de las diferentes especies de carpas tiene su base en la producción de crías de buena calidad genética y resistentes a las enfermedades. Por esta razón es importante asegurar el abasto suficiente de ellas. Hasta el momento las diferentes especies de carpas aquí mencionadas son producidas en los centros acuícolas pertenecientes a la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, y sólo en un centro se cuenta con la capacidad tecnológica para producir todas las especies de carpas exóticas, debido a que dispone de instalaciones apropiadas y personal con amplia experiencia para realizar esta actividad. De hecho el Centro Ciprinícola de Tezontepec de Aldama en el estado de Hidalgo, es el único centro que es capaz de reproducir a todas las carpas Chinas, utilizando técnicas de inducción a la

reproducción por medio de extractos pituitarios y hormonas heteroplásticas sintéticas.

Debido a la importancia y el alto grado de complejidad que han alcanzado las técnicas de reproducción inducida, se describen a continuación las principales técnicas y actividades, que se realizan en torno a la reproducción de las diferentes especies de carpas.

1. Cultivo de reproductores.

El cultivo de reproductores representa un aspecto esencial dentro del proceso de producción de crías, ya que a través de él, es factible lograr la integración de lotes de organismos de alta calidad genética, que permita obtener una producción adecuada de crías con características fenotípicas y genotípicas apropiadas y resistentes a las enfermedades. Estos aspectos solo pueden ser logrados mediante la implementación de técnicas de cultivo tendientes al mantenimiento de estos organismos bajo las mejores condiciones posibles. Entre los diferentes aspectos que deben cuidarse en el ciclo de cultivo de las especies tenemos a los siguientes:

- a) Seleccionar cuidadosamente a los futuros reproductores, de acuerdo con criterios fenotípicos y genotípicos y al comportamiento exhibido en los sistemas de cultivo, procurando separar aquellos que muestren una elevada tasa de crecimiento y una buena resistencia a las enfermedades.
- b) Procurar mantener una alimentación adecuada que cubra los requerimientos nutritivos de la especie. Para lograr esto será menester mantener en los estanques una buena fertilización (orgánica o química), alimentar a los organismos con harinas, germinados y balanceados para promover la vitelogénesis.
- c) Mantener las condiciones de calidad del agua favorables para promover el desarrollo gonadal, como por ejemplo la temperatura del agua, la concentración de oxígeno disuelto, el pH, el fotoperiodo y los flujos de agua en los estanques.
- d) Prevenir y controlar las enfermedades exógenas y endógenas, principalmente las de carácter infeccioso (hongos, virus o bacterias).
- e) Dar un seguimiento constante al desarrollo gonadal, utilizando técnicas que permitan conocer con precisión el momento adecuado en que se llevará a cabo la expulsión de los productos sexuales.

Los reproductores pueden ser cultivados bajo dos modalidades: a) en monocultivos y b) en policultivos. La primera consiste en la introducción en los estanques de una sola especie. El cultivo de carpa común, brema o carpa dorada o japonesa, generalmente se realiza en monocultivo debido a que su reproducción se desfasa con respecto a las carpas Chinas, por lo que, de incluirlas en el mismo estanque, el manejo de ellas sería

excesivo afectando su proceso de maduración (Arredondo, 1990 b).

En el sistema de monocultivo no es posible la utilización total de alimento disponible en toda la columna de agua; sin embargo, permite incrementar la densidad de carga en virtud de que se pueden manejar flujos continuos de agua y aplicar alimentos balanceados, aspectos que permiten contar con una mayor disponibilidad de estanquería para la producción de crías.

Por otra parte, el sistema de policultivo de reproductores en estanques, tiene grandes ventajas ya que las diferentes especies aprovechan al máximo el cuerpo de agua. El fundamento ecológico de esta técnica radica en el mejor aprovechamiento de los diferentes niveles tróficos del cuerpo de agua, ya que permite mejores relaciones inter e intraespecíficas entre los mismos (Juárez, 1979).

En México, las especies que se utilizan en policultivo de reproductores son: la carpa herbívora, la carpa plateada, la carpa cabezona y la carpa negra. Con el objeto de aprovechar el nicho omnívoro es conveniente incluir en estos estanques, crías o juveniles de *Cyprinus carpio*, las cuales, al remover el fondo, aceleran el reciclaje de los nutrimentos e impiden el establecimiento de vegetación acuática.

En la figura 50 se presentan las diferentes actividades que se llevan a cabo durante el cultivo de reproductores. Las actividades se inician a finales del año durante los meses fríos, cuando se preparan los estanques para los reproductores, se seleccionan los reproductores y se acondicionan para llevar a cabo las rutinas de reproducción dependiendo de las especies. En el Centro Ciprínicola de Tezontepec de Aldama, la temporada de reproducción inicia en febrero con la carpa común, continua en abril y mayo con la brema y posteriormente las carpas chinas, siendo las últimas la negra, la plateada y la cabezona. De esta manera sólo de octubre a enero de cada año no se llevan a cabo actividades de reproducción.

2. Actividades de reproducción.

Los procesos de reproducción de las carpas se pueden separar en dos grupos de acuerdo al tipo de huevo que presentan. Para las especies que presentan huevos adherentes (como las diferentes variedades de carpa, la carpa dorada y la brema), la reproducción se lleva a cabo de dos maneras: a) natural y b) inducida, utilizando diversos agentes inductores.

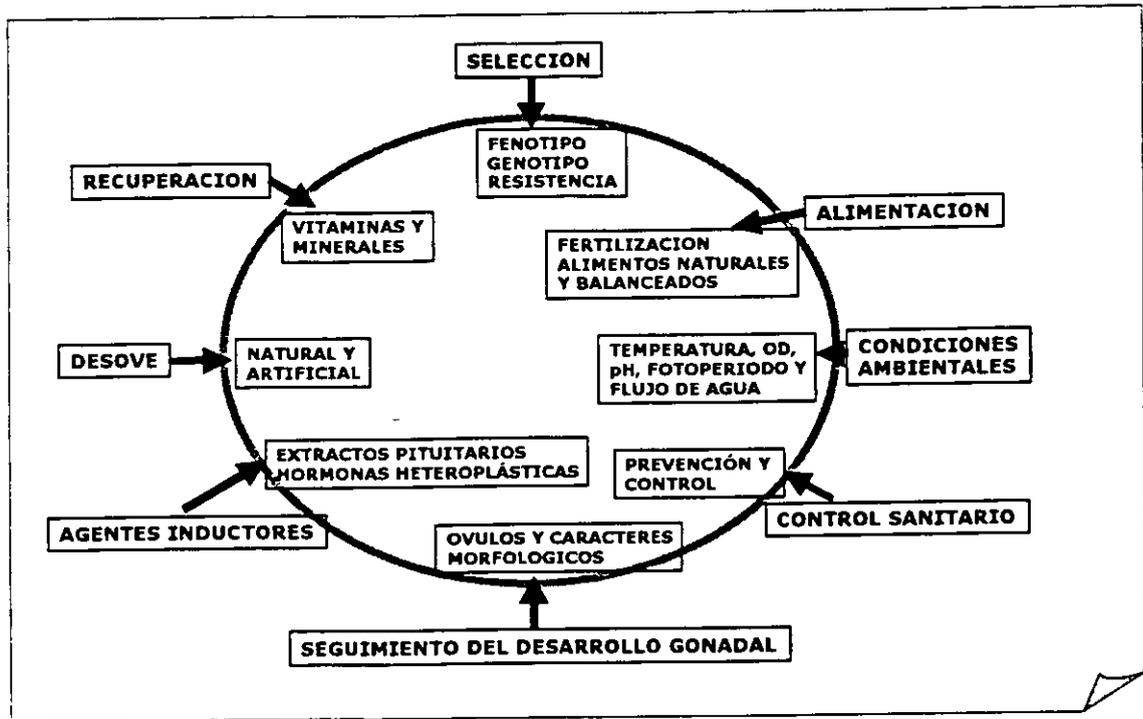


Figura 50. Procedimientos para la preparación de los reproductores.

Las técnicas de reproducción natural son procedimientos de propagación que no requieren de la aplicación de extractos pituitarios ni de hormonas para inducir el desove. Para lograrlo, simplemente se modifican algunos factores ambientales para que los reproductores disparen su propio mecanismo hormonal. El patrón más general de aplicación de esta técnica incluye el uso de pequeños estanques de desove, la inclusión de un substrato herbáceo como las ramas de casuarina y la transferencia de los huevos a una incubadora de canal circulante donde se obtienen los alevines, los cuales posteriormente son transportados a los estanques de crianza. Los factores ambientales más importantes que estimulan el desove, son en principio el incremento de la temperatura, el alargamiento del foto-periodo y el aumento en el nivel del agua; en relación con el primer factor será necesario contar con temperaturas de 18 a 22 °C. En la tecnología de estanque tipo Dubisch, se manejan tanto el incremento del nivel del agua como el de la temperatura (Woynarovich y Horváth, 1981) (Figura 51).

Otra forma de aplicación de esta técnica es la utilización de jaulas o corrales que pueden ser construidos con distintos materiales (tela mosquitera, malla alquitranada, malla de PVC, etcétera), estos reservorios se emplean como desovaderos y se disponen directamente en los estanques de producción de crías previamente preparados. Esta modalidad tiene la ventaja de que prácticamente todo el huevo obtenido permanezca en el estanque, además de que la exposición de éste al aire es mínima. Una vez ocurrido el desove se saca el substrato y se transfieren los reproductores a los estanques de recuperación.

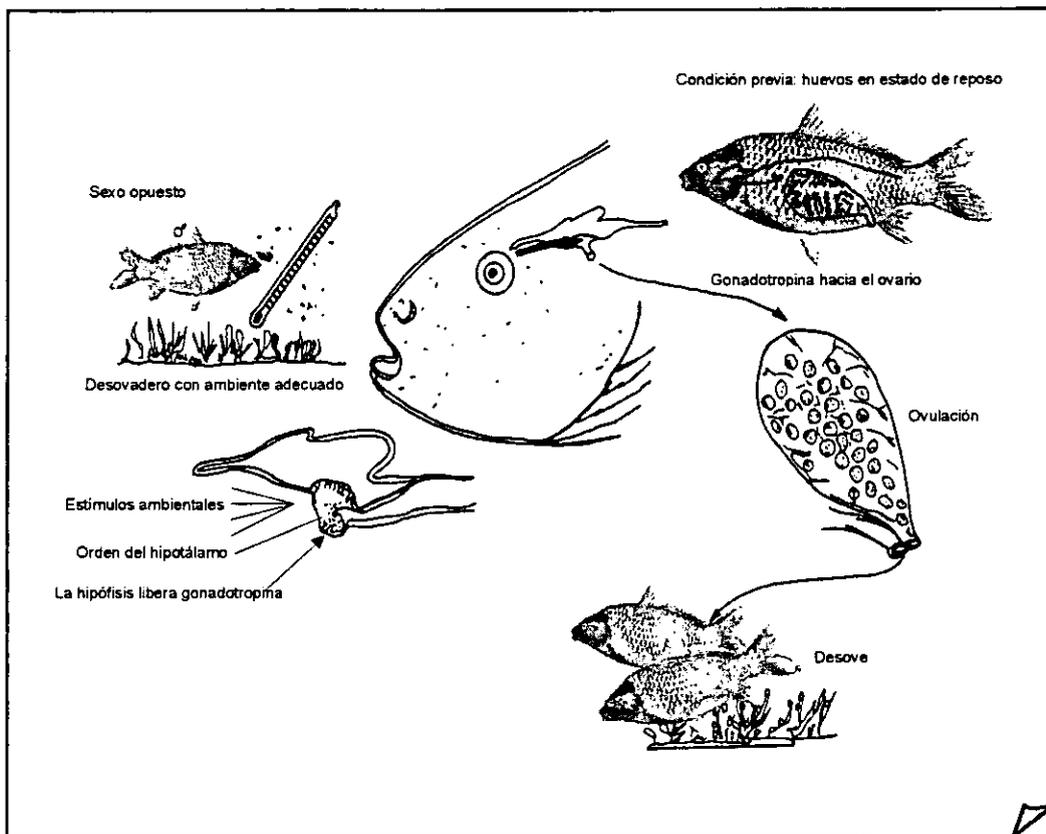


Figura 51. Mecanismos de inducción en el desove natural de las especies de huevos adherentes.

La técnica de inducción al desove, contempla la aplicación de extractos pituitarios o de hormonas gonadotrópicas. Esta alternativa se realiza con el propósito de lograr la ovulación de las hembras cuando las condiciones de temperatura aún no son las más adecuadas para que el desove ocurra de manera natural (Figura 52). Es conveniente precisar que la inducción deberá ser aplicada cuando la temperatura del agua presente un valor mínimo de 18 °C. Los reproductores así inducidos, se transfieren a las instalaciones de desove donde éste ocurre de manera natural. Las experiencias realizadas en el Centro Ciprinícola de Tezontepec de Aldama, muestran que se logran buenos resultados mediante la aplicación de extractos pituitarios de carpa y Prolan E oleoso (5,000 U.I. de GCH). En el caso de las hembras se prepara una dosis que contiene de 1 a 3.5 mg/kg de extracto pituitario, 5 ml de suero fisiológico y 0.5 ml de oxitin. Esta solución se inyecta en dos dosis; en la primera se utiliza del 10 al 15% de la solución y de 10 a 12 horas después el resto. En el caso de los machos se aplica una sola dosis al momento de aplicar la segunda inyección a las hembras, la cual contiene de 0 a 2 mg/kg de extracto pituitario y 0.25 ml de Prolan E Oleoso por kilogramo de peso. El desove ocurre entre las 10 y las 12 horas después. Los estanques donde son colocados los reproductores (generalmente dos machos por cada hembra), son acondicionados con ramas de casuarina donde se fijan los huevos y posteriormente al

igual que en el caso anterior son transportados a las incubadoras de canal circulante donde se obtienen los alevines.

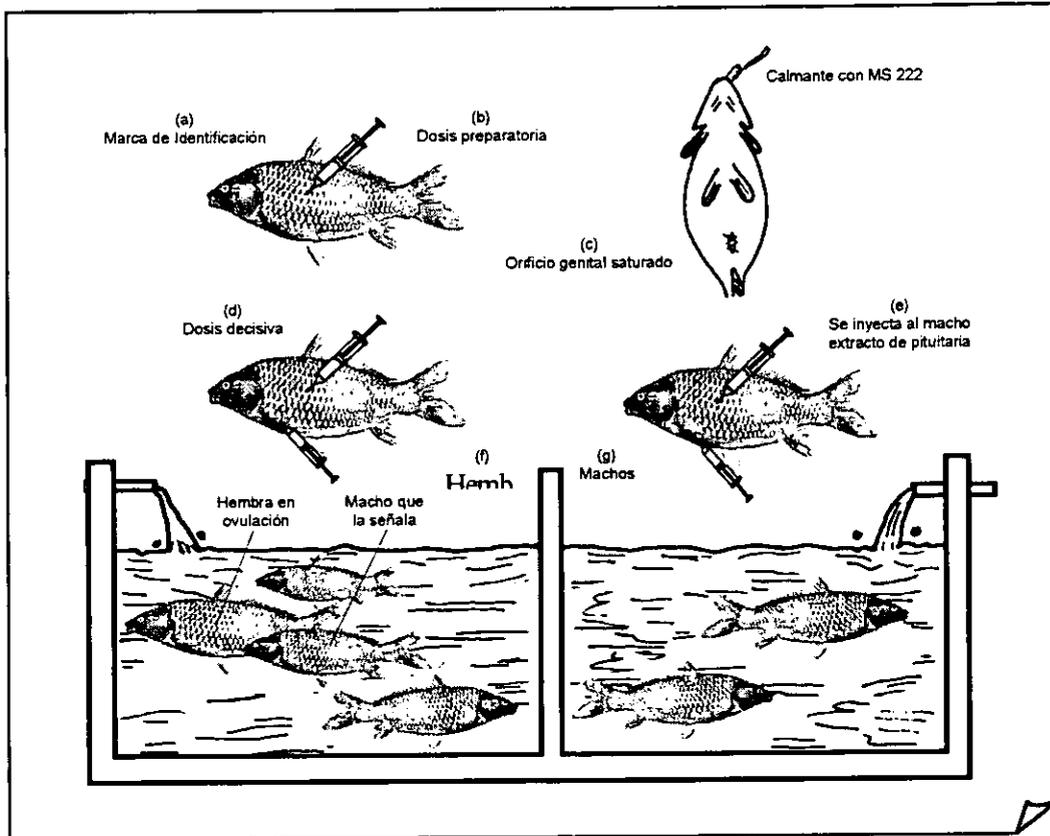


Figura 52. Técnica de inducción a la reproducción de carpa.

Esta técnica también ha sido utilizada para eliminar la adherencia de los huevos mediante otra técnica conocida como Woynarovich desarrollada en Hungría. Esta técnica tiene las ventajas de que permite una selección estricta de los reproductores y se obtiene una mayor tasa de fecundidad de los óvulos, además de que el huevo puede manejarse en incubadoras tipo Zoug, Weiss, Woynarovich y de canal circulante (Arredondo y Juárez, 1986).

Consiste en las siguientes rutinas:

- Al momento de aplicar la segunda dosis a las hembras, estas se anestesian con MS 222 o bien con xilocaina y carbonato de sodio (3.0 g + 1.0 g en 20 litros de agua), por dos o tres minutos hasta el estado de inconsciencia.
- En seguida se cose el poro genital con aguja e hilo para evitar el desove.
- Una vez realizada esta operación, las hembras son reanimadas y se colocan

en los estanques.

d) A las 10 horas se revisan las hembras palpando la parte ventral, cuando esta se siente suave, se toma a la hembra, se rompe con unas tijeras el hilo y se lleva a cabo por una presión ventral la expulsión y colecta de los huevos. En seguida, se agrega el esperma de dos machos y se inicia la fecundación.

e) Para eliminar la adherencia de los huevos se agrega al recipiente la solución A (3 gramos de urea, más cuatro gramos de cloruro de sodio en un litro de agua), moviendo los huevos durante 40 minutos y reemplazando la solución cada tres minutos.

f) Inmediatamente después se agrega la solución B (1 gramo de ácido tánico en un litro de agua) y se agitan los huevos por algunos segundos.

g) Finalmente, se agrega la solución C (la solución B diluida al doble) por otros segundos, hasta que se pierda la capa adhesiva de los huevos y no se aglomeren. Al terminar esta operación los huevos se lavan con agua corriente y se colocan en la incubadora.

Woynarovich y Woynarovich (1980), modificaron la técnica original introduciendo los siguientes cambios:

a) La solución A es la misma, sólo que el lavado de los huevos es más rápido y se realiza en sólo 3 o 4 minutos.

b) La solución B se prepara mezclando 4 gramos de cloruro de sodio (NaCl) y 20 g de urea en un litro de agua. Los huevos se lavan por 30 minutos y no es necesario agitarlos constantemente. La solución se reemplaza cada 10 o 15 minutos.

Para las especies que presentan huevos flotantes o pelágicos, las técnicas de inducción son similares. En este caso la preparación de los reproductores es la misma, excepto las dosis utilizadas. Las hembras reciben una dosis dividida en dos fracciones; la primera es del 10% y la segunda (90%) es aplicada 12 horas después. Los machos reciben una sola dosis inyectada cuando las hembras reciben la segunda. La dosis de las hembras consiste en una solución donde se mezclan de 3.5 a 5.0 mg/kg de extracto pituitario (EP), 5 ml de solución salina o suero fisiológico y 0.5 ml de oxitín. La dosis de los machos es preparada con 2 a 3 mg/kg de EP y 0.25 de Prolan E oleoso en 5 ml de solución salina.

De los estanques de reproductores se seleccionan los organismos que exhiban un estado de desarrollo gonadal en fase IV (cuando se inicia el desplazamiento del núcleo hacia la orilla del óvulo), cuando esto se comprueba se trasladan a los estanques de reproducción, se pesan, se prepara la dosis y se inyectan, dejándolos hasta que se lleva a cabo el desove y la fecundación de los huevos, los cuales una vez hidratados se colectan y se transportan a las incubadoras de canal circulante.

Otra opción es realizar la inseminación artificial, cuando se inicia el desove, las hembras son capturadas e inmediatamente los huevos son colectados en un recipiente y fecundados con el espermia de los machos, como se muestra en la figura 53.

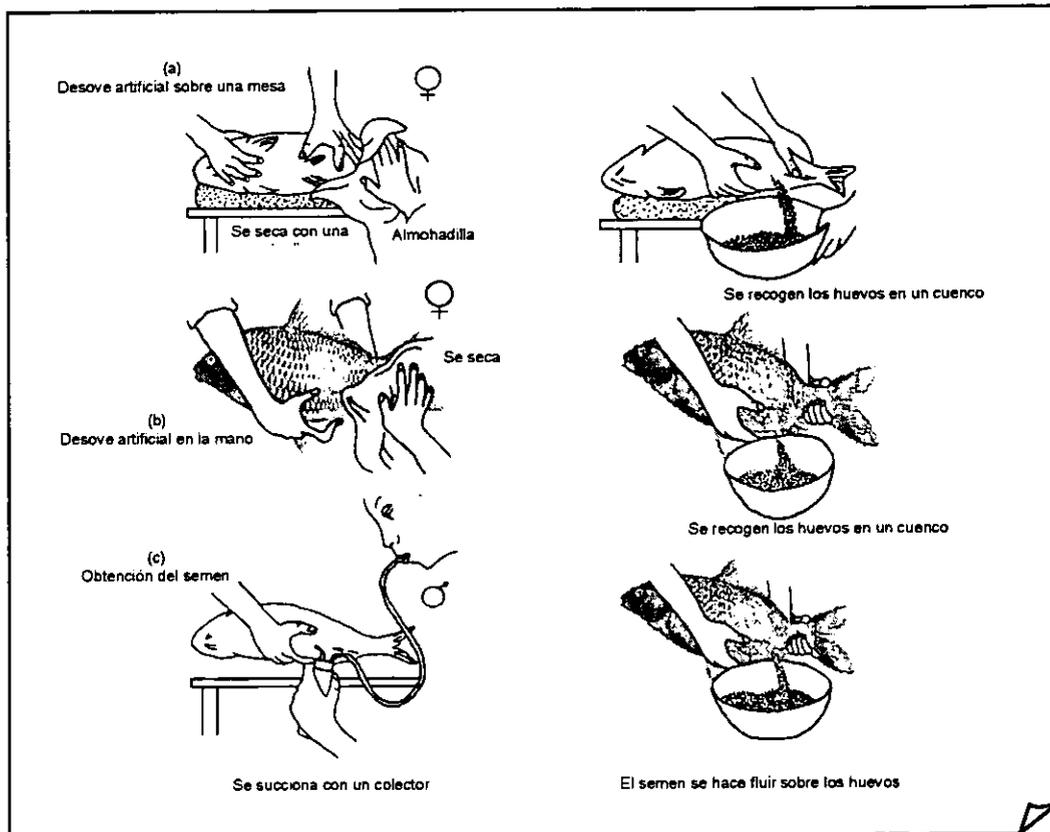


Figura 53. Rutinas de la inseminación artificial.

Al menos se reconocen tres técnicas de inseminación artificial que han sido utilizadas en México; a) en seco, b) semi-seco y c) superseco.

La técnica en seco consiste en colectar los huevos en un recipiente a palangana de plástico, obtener el espermia y mezclar suavemente los productos sexuales con una pluma de ganso por un lapso de un minuto y entonces agregar una pequeña cantidad de agua, agitar otra vez por un minuto, dejar reposar por otro minuto y finalmente agregar suficiente agua, dejar hidratar los huevos al menos 50 minutos y colocarlos en la incubadora.

La técnica semi-seca es similar a la anterior, solo que en este caso se agrega una solución salina o suero fisiológico a los productos sexuales al momento de la fecundación, se agitan por dos o tres minutos, se agrega agua, se dejan hidratar y se colocan en las incubadoras.

Finalmente la técnica super seca, trata de eliminar todos los fluidos internos y obtener huevos libres de una fase líquida, lo cual se logra colocando una fina malla o tela de organza para retener los huevos. Una vez realizada esta operación, se lleva a cabo la fecundación con el esperma, se agitan los huevos por 3 a 4 minutos, en seguida se hidratan y se colocan en la incubadora.

En el caso de las especies que presentan huevos flotantes o pelágicos, las técnicas de inducción al desove son prácticamente las mismas, sólo que en los tiempos y las dosis son variables. La preparación de los reproductores es similar aunque en este caso en particular se prefiere en policultivo. Las hembras reciben dos dosis; 10% en la primera y 90% después de 12 horas. Los machos reciben solo una dosis cuando se aplica la segunda a las hembras. La dosis para las hembras que mejores resultados ha dado consiste en una mezcla de 3.5 a 5.0 mg/kg de extracto pituitario (EP), con 0.5 ml de oxitín y 5 ml de solución salina (7%) o suero fisiológico. Para los machos se acostumbra una dosis preparada con 2 a 3 mg/kg de EP y 0.25 ml de Prolan E Oleoso (HGH) (Arredondo y Juárez, 1986; Arredondo, 1990 b).

El desove se puede llevar a cabo de dos maneras:

a) Desove natural. Que consiste en que después de inyectadas las dosis, los reproductores (2 machos por cada hembra) se introducen a un estanque de reproducción. El cual es circular y simula las condiciones naturales de las fosas de los ríos, con una fuerte corriente y cambios en el nivel del agua, lo cual estimula el estro y facilita la reproducción. En este mismo estanque se lleva a cabo la liberación de los productos sexuales y la fecundación, cuando el huevo se hidrata se puede coleccionar mediante una red de organza o bien adaptar un mecanismo para la colecta del huevo hidratado, el cual es transportado a las incubadoras, donde se llevará a cabo el desarrollo embrionario y se obtendrán los alevines.

b) Inseminación artificial. Este se puede llevar a cabo en el mismo estanque y se realiza durante el estro y cuando se inicia el desove, las hembras son capturadas inmediatamente y a través de una presión abdominal se coleccionan los huevos en un recipiente de plástico e inmediatamente se toman dos machos y se realiza la misma actividad para obtener el esperma y fecundar los huevos. Se mezclan los productos sexuales, se hidrata el huevo y se coloca en las incubadoras.

3. Incubadoras.

Existen diferentes tipos de incubadoras que han sido utilizadas en nuestro país. En 1970 se utilizaron las incubadoras tipo Zoug, con una capacidad de 20 litros. En 1975 el Gobierno Cubano donó 50 incubadoras de acrílico tipo Weiss con una capacidad de 40 litros, que no fueron suficientes para resolver el problema de producción masiva de huevos sobre todo con las carpas Chinas, por lo cual en 1979, un grupo de técnicos mexicanos después de una visita a la República Popular China, construyeron la primera incubadora de canal circulante, que representó un avance significativo para la producción intensiva de las carpas en general (Arredondo y Juárez, 1986).

4. Producción a tallas comerciales.

En el cultivo de estas especies se reconocen dos modelos de producción: a) la llamada acuicultura de repoblación y b) la semi-intensiva.

La primera consiste al igual que en las otras especies antes mencionadas, en la introducción de crías de carpas a los diversos cuerpos de agua lacustres del país. Esta actividad se ha venido realizando a lo largo de más de un siglo, desde que se introdujeron las primeras especies (carpa común y carpa dorada o Japonesa). Actualmente, la distribución de la carpa es la más amplia de todas las especies introducidas ya que es posible encontrarla en cuerpos de agua del Norte hasta el Sudeste de la República Mexicana, especialmente la carpa común (*Cyprinus carpio*).

Las reiteradas introducciones y su adaptación a las condiciones naturales del país, ha permitido que se establezcan importantes pesquerías principalmente en las grandes presas (mayores de 10,000 hectáreas) y en los grandes lagos como Chapala y Pátzcuaro entre otros.

En el caso de las carpas Chinas, su distribución ha estado más delimitada sobre todo por el hecho de que no se reproducen de manera natural cuando son introducidas en los cuerpos de agua. No obstante, Cortés y Arredondo (1976), reportaron la reproducción natural de la carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idellus*) en la Presa El Infiernillo, en el estado de Michoacán y es posible que las otras especies de carpas Chinas también lo puedan hacer, aunque este aspecto realmente ha sido poco estudiado.

Los rendimientos de la carpa son variables e inciertos sobre todo en las grandes presas y difícilmente superan los 20 kg/ha. En los pequeños cuerpos de agua como los embalses temporales y permanentes se han obtenido producciones mayores que llegan a superar más de una tonelada por hectárea mediante el uso de policultivos.

En el caso de la segunda, se lleva a cabo principalmente en estanques, bordos, jagüeyes y jaulas. El cultivo más practicado en nuestro país es en estanques y pequeños cuerpos de agua.

Las estrategias utilizadas en los últimos años ha tenido como base el policultivo. El policultivo se define como una práctica de cultivo donde participan más de una especie en el mismo cuerpo de agua. El principio se basa en el aprovechamiento adecuado de los diferentes hábitos alimentarios de las especies, dando como resultado la mejor utilización del alimento natural disponible en el cuerpo de agua. Esta técnica fue desarrollada en la República Popular China hace más de 1,000 años y actualmente es practicada en varios países del mundo.

Para obtener buenos resultados, los cuerpos de agua son fertilizados con abonos químicos u orgánicos (de origen animal o vegetal) para propiciar un abundante alimento natural. Los organismos son seleccionados de acuerdo a sus hábitos alimenticios, de tal manera que se pueden combinar especies que son herbívoras,

fitoplanctófagas, zooplanctófagas, insectívoras, omnívoras y carnívoras. Como resultado de esta estrategia en zonas tropicales es posible producir hasta 8 toneladas por hectárea. En nuestro país utilizando cinco especies de carpas (herbívora, plateada, cabezona, carpa común y langostino) se lograron obtener hasta 4 toneladas por hectárea sin la utilización de alimentos balanceados (Arredondo y Juárez, 1986).

En la figuras 54 y 55 se ilustran algunos aspectos de la ciprinicultura Mexicana.



Figura 54. En las fotografías es posible apreciar en la parte superior izquierda, la colecta de crías; a la derecha un estanque de reproducción y en la parte inferior izquierda un ejemplar de carpa negra.

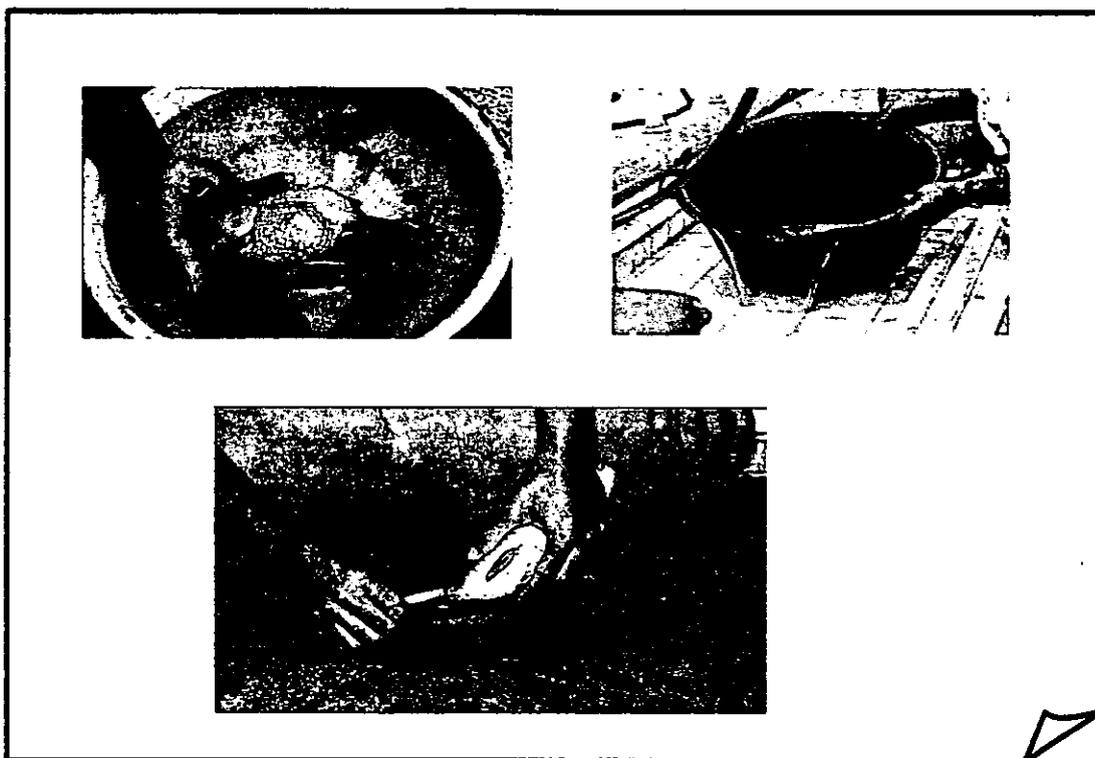


Figura 55. Algunos aspectos sobre la producción de carpas. En la parte superior izquierda un reproductor de carpa kingyo cabeza de león; a la derecha el proceso de hidratación del huevo flotante previo a colocarse en la incubadora de canal circulante y en la parte inferior, identificación de una hembra madura de carpa barrigona.

VIII. LA ACUICULTURA SUSTENTABLE

Después de haber analizado los capítulos anteriores y disponer de una visión retrospectiva del estado que guarda la acuicultura mexicana hasta nuestros días, es importante hacer varias consideraciones y reflexiones acerca del futuro de esta actividad, tomando en cuenta los factores económicos, políticos, sociales y técnicos que circunscriben e influyen sobre el desarrollo de esta importante actividad económica.

Hasta este punto se han evaluado las diversas tecnologías que se utilizan en los cultivos de organismos acuáticos de importancia económica y se ha precisado que algunas de ellas han alcanzado en los últimos años un desarrollo considerable. Sin embargo, este desarrollo que como en el caso del cultivo del camarón ha sido explosivo, ha rebasado en gran medida la capacidad de respuesta de los gobiernos federal, estatal y municipal y cada día cuesta más trabajo aplicar medidas de control y regulación que normen y administren el futuro desarrollo de esta actividad. Si bien la inversión privada en estos últimos años ha fluido en cantidades considerables, logrando en algunos casos una importante rentabilidad económica, el sector social cada vez se encuentra en una mayor desventaja y a pesar de que existen granjas en este sector que actualmente son exitosas, aún persisten serios problemas que frenan y limitan su rentabilidad y es común encontrar algunas granjas abandonadas por diferentes razones.

En este momento cabe hacer una pregunta en torno a cuál o cuáles son las mejores estrategias a seguir, para procurar un sano equilibrio entre los sectores participantes en la actividad acuícola nacional. Si bien las políticas económicas que ha aplicado el Gobierno Federal y la integración de nuestro país al Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), promueven la inversión en proyectos productivos principalmente de acuicultura industrial, con una tecnología de vanguardia y una adecuada rentabilidad económica y financiera, otros sectores se ven impedidos a participar en este proceso debido principalmente a la falta de recursos económicos, capacitación y conocimiento de la tecnología apropiada, además, de los graves problemas ambientales que tal desarrollo implica. Estos factores tienen que ser analizados con una seriedad absoluta y asumiendo que cada una de los sectores involucrados en el ciclo de la cadena productiva acepte su responsabilidad dentro del mismo, estableciendo un canal de comunicación constante y haciendo propuestas que impliquen a toda la sociedad en su conjunto. El desarrollo de la acuicultura no debe ser responsabilidad exclusiva de una parte de la sociedad, preferentemente privilegiada, sino que debe considerar a todos los autores que participan en la cadena productiva, debido a las implicaciones globales que supone este desarrollo y se debe asumir el compromiso por cuidar, mantener, preservar los recursos naturales del país, evitar su degradación y su posible deterioro.

Nuestro país no puede continuar cometiendo los errores del pasado y ya es tiempo de tomar una actitud diferente ante el inicio del nuevo milenio, lo que implica un cambio de paradigma y una manera distinta de enfrentar el futuro, esto sólo es posible lograrlo a través de lo que se conoce como la acuicultura sustentable, que ha sido considerada como una estrategia productiva que satisface las necesidades de la generación presente, sin

comprometer la capacidad de las generaciones futuras. Este concepto considera las necesidades esenciales de los pobres y brinda justicia y oportunidades a todos los individuos, además, evita la destrucción de los recursos naturales y la capacidad de sustento finito del mundo (Aguilar y Meza, 1993 a).

Si se analiza el concepto de sustentabilidad, este se refiere a que el ambiente y el desarrollo alcancen un mismo plano como integrantes de una misma realidad. Gligo (1990), indica que hay cinco factores para construir este concepto:

- a) Coherencia ecológica (es decir el uso de los recursos naturales en función de su aptitud).
- b) Estabilidad sociocultural (es decir las formas sociales de usufructo y posesión de la tierra).
- c) Complejidad de infraestructura (flujos de entrada y de salida de las transformaciones del medio).
- d) Estabilidad económica-financiera (condiciones macroeconómicas al manejo de los recursos).
- e) Incertidumbre y los riesgos (conocimiento y capacidad para el control de las perturbaciones) (*fide*: Aguilar y Meza, 1993 b).

Si bien estos factores son fundamentales para poder lograr un desarrollo sustentable, en el caso particular de la acuicultura esto se puede lograr mediante lo que se conoce como los sistemas integrados de acuicultura (SIA), cuya característica fundamental es que vinculan dos o más actividades económicas, que normalmente son sistemas separados de producción y que se transforman en subsistemas de producción, donde los residuos o subproductos de cada sistema o módulo de producción son utilizados en el otro, de forma tal que mejoran sensiblemente la productividad y disminuyen el costo de producción de los diferentes componentes. Este sistema por su propia naturaleza procura una mejor utilización del espacio y del uso de la tierra, de forma tal que los subsistemas pueden incluso ocupar el mismo espacio y por otra parte se aprovecha la compatibilidad de los diferentes componentes y los beneficios de su interacción.

El desarrollo de un sistema integral sustentable comprende diversos aspectos, tales como la tecnología de producción, la productividad, el entorno social y económico y la conservación del medio ambiente (Figura 56), de forma tal que un sistema integral sustentable debe ser técnicamente apropiado, económicamente viable, socialmente benéfico y además, no debe causar daño al ambiente (Domínguez, 1997).

Para poder aplicar este concepto es necesario cambiar la forma de pensar y actuar de la sociedad mexicana en su conjunto, lo que lleva implícito la aplicación de una tecnología humanista que lleve a lograr una ecología integrativa y constructiva con una comunidad equilibrada y una sociedad descentralizada, es decir adoptar una ecología que nos lleve a un progreso humanístico-ecológico, es decir no ver solamente a cada entidad de manera separada e independiente, sino considerarla como un todo, tratando de desterrar la mentalidad de un mercado libre indiscriminado, cambiar los patrones de consumo y estilos de vida y procurar mantener la salud de los ecosistemas, tomando de ellos los beneficios materiales y económicos, pero respetando su integridad y permanencia, es decir explorar

modelos alternos de consumo y desarrollo que sean menos derrochadores, más sanos desde el punto de vista ambiental y socialmente responsables.

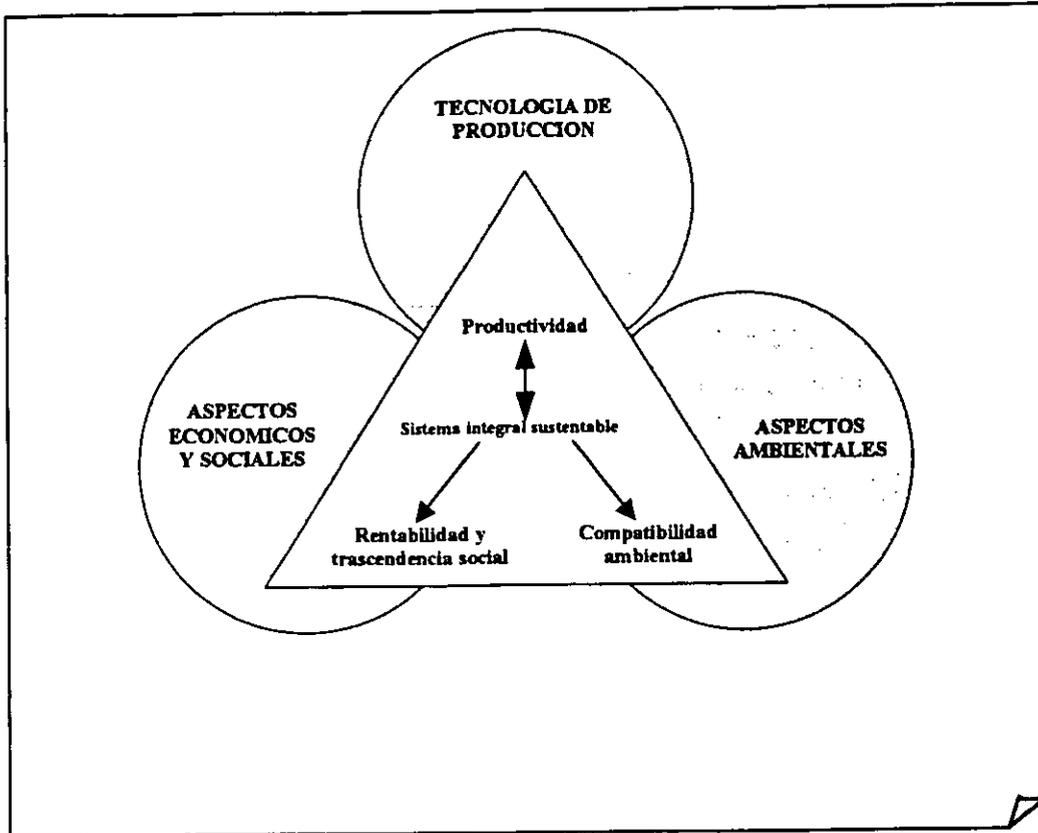


Figura 56. Aspectos que definen a un sistema de acuicultura sustentable, de acuerdo con Domínguez (1997).

Existen varios ejemplos exitosos de modelos que han sido utilizados en otros países y que nos muestran una manera de como aplicarlos y manejarlos en condiciones similares a las de nuestro país. Uno de estos modelos son las llamadas Granjas Integrales de Acuicultura (GIA) y el otro la llamada Valicultura. El primero ha operado durante muchos años en algunos países Asiáticos y Europeos y el segundo principalmente en las costas del Mar Adriático en Italia.

En el caso de las GIA el llamado policultivo constituye la base de una importante producción y brinda las ventajas siguientes: *a)* se aprovecha al máximo los recursos naturales para generar alimentos de elevado valor nutricional y comercial; *b)* se aprovecha mejor el espacio disponible; *c)* se aprovecha la compatibilidad de las diferentes especies y los beneficios de su interacción; *d)* en cada fase del proceso productivo se utilizan los desechos para beneficio de los subsecuentes niveles tróficos y *e)* se generan mayores empleos y beneficios sociales y económicos para los población rural, lo que fomenta su arraigo al campo. En el segundo caso, aparte de las ventajas anteriormente señaladas, se aprovecha la disponibilidad de las lagunas costeras para mantener los flujos de energía y las

redes tróficas de las especies que las habitan, mejorando la dinámica hidrológica de los sistemas lagunares a través de obras de dragado y construcción de esclusas, se propicia el cultivo de especies del propio sistema lagunar, preservando las condiciones naturales y manteniendo una estrecha armonía con la naturaleza (Arredondo, 1997).

Estos modelos tienen una amplia posibilidad de ser adoptados en nuestro país, debido en principio a las grandes ventajas que representan, y a que México tiene una amplia gama de recursos hídricos que pueden ser aprovechados mediante estas estrategias de desarrollo. Actualmente la mayoría de las aguas epicontinentales y costeras están de alguna manera contaminadas y debido a los cambios climáticos globales se tiene cada día una mayor limitación del recurso agua en algunas zonas de nuestro país y si no se toman medidas adecuadas de uso, manejo, administración y mitigación de la contaminación, las próximas generaciones de mexicanos podrían enfrentar severos problemas con este importante recurso.

Al referirse a la acuicultura sustentable no es posible hacer de lado algunos conceptos que están implícitos en su propia definición y que constituyen un soporte para su aplicación y que recientemente están siendo discutidos con gran interés en diversos foros en distintas partes del mundo. Entre ellos se tienen: a) la seguridad alimentaria y la pesca responsable; b) el papel que desempeñan en esta actividad los sectores público, privado y social, c) el impacto de la tecnología y la tecnología apropiada, d) el impacto al medio ambiente y e) los factores sociales, económicos y políticos, que por su propia dinámica circunscriben el concepto mismo y su aplicación.

A continuación se presenta un desglose de cada uno de estos conceptos:

La seguridad alimentaria y la pesca responsable.

Una población creciente como la de nuestro país (con casi 100 millones de habitantes para el año 2000) requiere de contar con una seguridad alimentaria. Algunos datos indican que cerca de 26 millones de mexicanos (26%) viven en condiciones de pobreza extrema y por lo tanto consumen una dieta deficiente y poco balanceada, con niveles de desnutrición elevados. El 75% de esta población vive en las zonas rurales (Arredondo, inédito). El modelo económico neoliberal aplicado en los últimos sexenios en nuestro país ha propiciado un incremento gradual de la pobreza extrema en los últimos veinte años, lo cual atenta contra la seguridad alimentaria de los mexicanos. También existe la idea aceptada de que la acuicultura y la pesca tienen un gran potencial para reducir la carencia de alimentos y obtener recursos con un elevado valor proteínico. No obstante, en la mayoría de los países considerados del tercer mundo, la pesca se encuentra en su máximo esfuerzo pesquero sostenible, y en algunos casos las pesquerías han empezado a declinar debido a la sobrepesca y a la degradación del medio ambiente. En nuestro país la producción pesquera en los últimos 10 años ha fluctuado entre 1.1 y 1.5 millones de toneladas métricas, y sólo seis grupos de especies representan el 60% de esta captura (atún, sardina, anchoveta, camarón, ostión, tilapia y carpa) y al parecer a pesar del potencial que exhiben otras especies, se ve difícil incrementar la producción pesquera para los próximos años. Para poder mantener los volúmenes de producción actuales, es necesario cuidar y preservar los

recursos pesqueros, tratando de hacer una explotación racional que permita darle sustentabilidad a los mismos, además, de asumir una actitud responsable y aplicar el Código de Conducta para la Pesca Responsable (FAO, 1995), que evite conflictos sociales o económicos, como lo que sucedió en el reciente pasado con el embargo de atún impuesto a nuestro país por nueve años y que fue levantado el 29 de abril de 1999, supuestamente atribuido a la muerte incidental de delfines en las redes de cerco. Cosa que pudiera suceder con otras especies de importancia económica como el camarón debido a la captura en las redes de arrastre de tortugas marinas.

Es por esta razón que la acuicultura se perfila en el próximo milenio como una alternativa obligada para incrementar la oferta de proteínas de origen animal, y así disminuir los niveles de desnutrición de la población, cuyo efecto se ha demostrado se da en mayor medida en las madres embarazadas, en infantes y preescolares, los que no pueden obtener una adecuada nutrición a través de una alimentación rica fundamentalmente en cereales como el maíz, el arroz y el trigo. La carne de pescado contiene cantidades importantes de proteína con un balance apropiado de aminoácidos, rica en vitaminas y minerales y también de ácidos grasos polinsaturados que son esenciales para el desarrollo del cerebro, además de que proporcionan grasas que provén energía conocida como "densa" que pueden derivar suficiente energía de la dieta basada en el consumo de cereales. Es indiscutible que el futuro de un país se encuentra en la buena alimentación de las futuras madres, los infantes y los preescolares, por lo que la atención de esta población debe constituir una prioridad nacional y la acuicultura como se menciono anteriormente es una oportunidad única para mejorar esta situación y brindar una seguridad alimentaria a la población de escasos recursos económicos.

Las estadísticas oficiales revelan que existe una insuficiencia de alimentos derivados de la acuicultura, (160,000 toneladas anuales) sobre todo de peces y crustáceos que se consumen en los platillos típicos o tradicionales. El consumo *per capita* de pescado se ha duplicado de 5 a 13 kg en las últimas tres décadas, debido al crecimiento y contribución de la acuicultura. Sin embargo, estas cifras están por debajo de los requerimientos mínimos que son de 20 kg *per capita* al año. En algunos países asiáticos como Camboya y Laos el consumo se ha reducido a la mitad en las últimas tres décadas y se ha mantenido constante en Vietnam, debido a la sobrepesca, la degradación del medio ambiente, la guerra y a los movimientos sociales (Edwards, 1997).

En nuestro país, la población que vive en niveles de pobreza extrema tiene problemas para contar con una canasta básica que les asegure una nutrición balanceada. La situación económica familiar, debida a la falta de empleos, el subempleo, la carencia de oportunidades para obtener recursos económicos y otros factores han contribuido en gran medida a que una población creciente enfrente problemas de desnutrición y salud cotidianos y en algunos casos agudos. A pesar de que la aportación de la pesca y la acuicultura en su conjunto alcanza anualmente un promedio que fluctúa entre 1.1 y 1.5 millones de toneladas, la mayoría de estos productos no están al alcance de las clases desprotegidas y la acuicultura comercial e industrial se orienta básicamente a la exportación de sus productos a los Estados Unidos de Norteamérica o Canadá y a los mercados de lujo de las grandes urbes. Algunas especies como la carpa, la tilapia, la sardina y el atún, a pesar de que son más accesibles en precio a la población de bajos ingresos, sin embargo, no son suficientes. En este sentido, se

debe hacer un gran esfuerzo para que la acuicultura cubra a todos los segmentos de la población y asegure un abasto suficiente para mejorar la dieta de la población.

Es importante reducir los déficits de proteína de origen animal, sin tener que separar a los productores en dos categorías: los ricos y los pobres, utilizando de una manera racional los recursos naturales y el potencial de cuerpos de agua que dispone nuestro país y aplicando tecnologías apropiadas, además diversificando la producción y asociándola a otras actividades económicas.

Hay que tener en mente que algunas tecnologías modernas de carácter intensivo tienen un impacto negativo en la seguridad alimentaria, ya que dependen de dietas balanceadas comerciales, con un manejo de alta densidad, por lo que estas actividades de producción están estrechamente asociadas a la disponibilidad de insumos caros que no favorecen la rentabilidad económica, siendo un esquema de producción dependiente que atenta contra el ambiente, aún cuando se utilicen recursos naturales, así por ejemplo el cultivo de 1 kilogramo de peces carnívoros (como el cultivo de la trucha arco iris), requiere de 5 o 6 kilogramos de desperdicios de pescado o de especies silvestres, que ha menudo se utilizan para el consumo por la población de escasos recursos económicos. No obstante, existen muchos ejemplos en varios países del mundo del uso apropiado de los recursos naturales como en el Noreste de Tailandia, donde la producción de crías de peces se realiza con un alimento preparado a base de una mezcla de cáscara de arroz y alimento para pato, y en el engorde se utiliza el excremento del búfalo de agua, junto con fertilizantes inorgánicos, teniendo como base el llamado policultivo, que es una técnica que permite el mejor aprovechamiento de la columna de agua y donde es posible utilizar diferentes especies que tienen hábitos alimentarios diferentes, por lo que se hace un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles (Edwards, 1997).

El papel que desempeñan los sectores público, privado y social.

Dado el importante papel que tiene la acuicultura como una actividad que genera alimentos, produce empleos y capta divisas para fortalecer la economía nacional, el Gobierno deberá estar atento al desarrollo de esta actividad, impidiendo que el propio sector por su misma dinámica lo rebase. Por lo tanto debe desarrollar, introducir e imponer regulaciones y legislaciones adecuadas, que en principio no lesionen, ni impidan el desarrollo normal de la actividad. Sin políticas claras y definidas no se puede atender la problemática del desarrollo acuícola nacional, y es necesario resolver acerca de las relaciones intersectoriales, la tenencia y seguridad del terreno, la inversión nacional y extranjera, la promoción de las exportaciones y la transferencia de paquetes tecnológicos apropiados y adecuados a las condiciones regionales del país.

De acuerdo con los principios que señala el Capítulo 14 de la Agenda 21, que fue suscrita por nuestro país en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, en Río de Janeiro, Brasil en Junio de 1992, los gobiernos se comprometieron a tomar medidas de frente al nuevo milenio, que sin lugar a dudas también impactan a la acuicultura y que se pueden sintetizar en lo siguiente:

1. Establecer y poner en marcha políticas coherentes que impulsen en el ámbito nacional el desarrollo sustentable. Estas políticas deberán incluir no sólo normas específicas, sino un conjunto de leyes y reglamentos que influyan en la actividad, como aquellas relacionadas con la tenencia de la tierra, el uso del agua, la disponibilidad de los cuerpos de agua epicontinentales y las lagunas costeras. Además, la Ley deberá marcar los límites con respecto a otras ordenaciones de carácter jurídico como son el impacto sobre el ambiente, y los nuevos enfoques sobre el manejo integral de los recursos naturales. En este sentido se deben elaborar estrategias que impulsen la cabal comprensión de los beneficios potenciales y los impactos negativos que genera el desarrollo de la acuicultura, esto incluye entre otras, el ordenamiento del territorio nacional, sobre todo en la zona costera, para delimitar la vocación de las áreas sin comprometer otras actividades económicas; el análisis de imágenes de satélite o técnicas de percepción remota; la fotointerpretación; los sistemas de información geográfica y otras herramientas que permitan el reconocimiento del territorio nacional y promuevan el uso y administración adecuada de los recursos acuáticos dentro del concepto del desarrollo sustentable.
2. Evaluar el impacto de las políticas sobre el sector en su conjunto, la seguridad alimentaria, el bienestar rural y las relaciones comerciales internacionales. Con relación a este último punto será necesario revisar los precios y los impuestos para establecer un nivel de competencia adecuado.
3. Incrementar la productividad de manera sostenible, mejorando la capacidad de los productores para adquirir infraestructura, hacer accesible los conocimientos tecnológicos y empresariales y facilitar la transferencia de tecnologías productivas, apropiadas y ambientalmente adecuadas.
4. Establecer un sistema de cooperación intraregional que acreciente los beneficios con el intercambio de tecnologías y experiencias en la producción de especies comunes. En este sentido es necesario mejorar el manejo y administración de los recursos económicos que se aplican en la región por las distintas agencias multinacionales de desarrollo y compartir las experiencias de aquellas que operan o han operado en la región latinoamericana como la FAO, UNESCO, PNUD, CYTED y OLDEPESCA entre otras. La cooperación multinacional horizontal deberá hacerse a través de redes o sistemas de cooperación entre los distintos grupos que desarrollan Ciencia y Tecnología en la Región.
5. Apoyar el desarrollo de tecnologías que permitan un uso reducido de insumos externos y el reciclamiento de esquilmos agrícolas y otros subproductos. Los modelos tecnológicos utilizados tradicionalmente en nuestro país son "adaptados" o "adecuados" a las condiciones regionales y utilizan básicamente especies exóticas, razón por la cual se deberá prestar más atención a la investigación básica y aplicada, con el fin de optimar el uso y manejo de los recursos naturales existentes. Es importante coordinar los esfuerzos en el ámbito nacional para evitar sobreposiciones y repeticiones en las temáticas de investigación y desarrollo tecnológico entre los grupos de investigadores que laboran en las Instituciones de Educación Superior del país y lograr la innovación tecnológica necesaria para sustentar el desarrollo. La orientación hacia los problemas socioeconómicos, ambientales y de sistemas integrales constituye una opción deseable para el mejor aprovechamiento de nuestros recursos naturales.

Además de estos compromisos, es necesario establecer mecanismos que permitan acercar a los diversos sectores y actores que participan en el ciclo de la cadena productiva, es decir la vinculación entre el sector social (SS), la iniciativa privada (IP), el Gobierno (GOB) y las Instituciones de Educación Media y Superior (IEMS), ya que hasta el momento esta relación no se lleva a cabo de manera constante y permanente, ni existen instancias o mecanismos que ayuden o promuevan estos vínculos, a pesar de que cada uno de los participantes reconoce su función dentro del proceso. Un ejemplo de ello se presenta en la figura 57 donde se explica la participación de los diversos sectores en la cadena productiva, sus interacciones, los puntos de contacto y su función teniendo cuatro ejes fundamentales: la producción, la transformación, la comercialización y los aspectos legislativos.

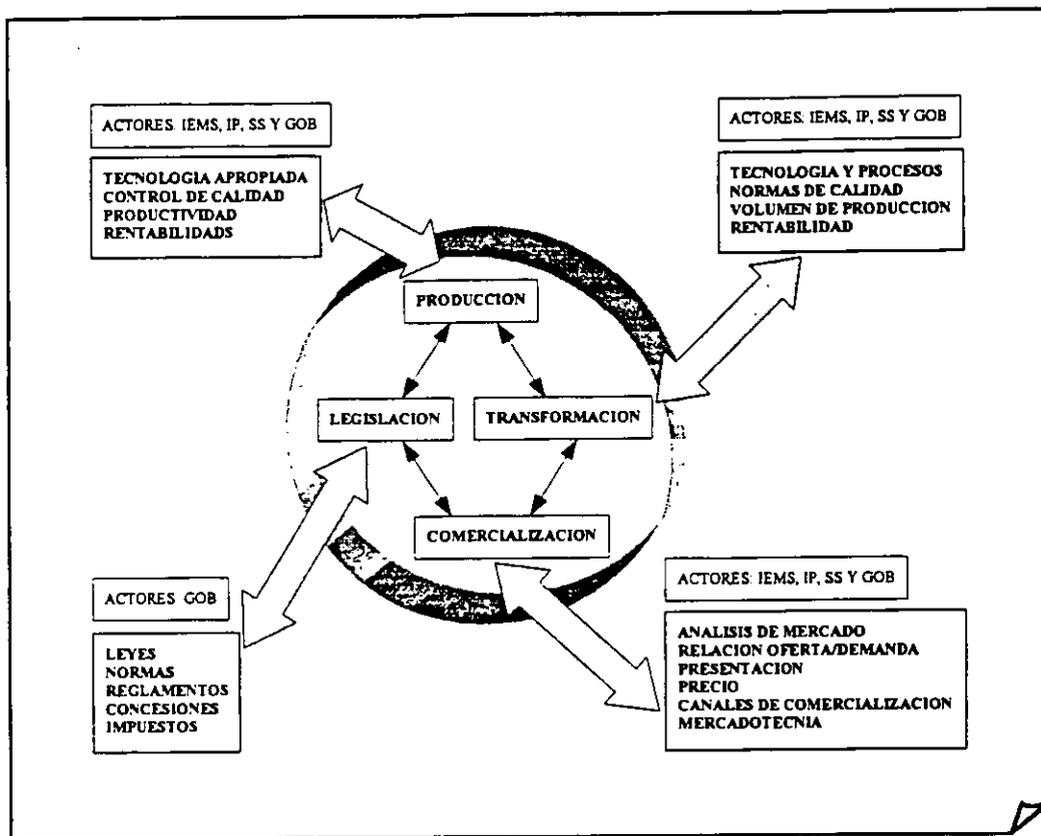


Figura 57. Responsabilidades y actores involucrados en la cadena productiva.

El impacto de la tecnología y la tecnología apropiada.

El uso apropiado de la tecnología permite obtener mayores rendimientos en espacios reducidos. El cultivo intensivo requiere de contar con insumos de la más alta calidad, entre ellos alimentos balanceados que cubran los requerimientos nutricionales de las especies, con un contenido de proteína suficiente para mantener elevadas tasas de crecimiento y por otra parte suficientes aionomorfos (huevos, alevines, larvas u ostrillas) de buena calidad genética que presenten, que sean resistentes a las enfermedades y que se adapten a las condiciones

regionales. Esta situación ha propiciado la creación de empresas dentro de la cadena productiva que puedan sostener una producción en cantidad y calidad suficiente y además, mantener la rentabilidad a niveles aceptables.

La producción de estos insumos básicos se sostiene en la investigación científica y en el desarrollo tecnológico, que permita una mejora constantemente de la calidad de los productos. En la industria de alimentos balanceados se requieren componentes de alta calidad como son las harinas de soya, trigo, maíz y otros granos básicos que pueden servir como alimento para el consumo humano. También, estos balanceados requieren de harina de pescado que se obtiene de poblaciones de especies marinas que son abundantes, como por ejemplo la anchoveta que es el caso de Perú, Chile y México. Para atender las necesidades de la industria de alimentos balanceados, se requieren miles de toneladas de estas especies que son "quemadas" para obtener harina, y se cierra la posibilidad de que estos organismos puedan ser derivados para el consumo humano. En este sentido existe una acepción acerca de lo que significa el uso y manejo de una tecnología de punta como la que se utiliza en los países desarrollados o bien el uso de tecnologías apropiadas que puedan aplicarse en los países en vías de desarrollo, donde existen otras necesidades fundamentales y donde se requiere de un gran esfuerzo para cubrir las necesidades y la seguridad alimentaria de la población.

Esto supone en principio aplicar un modelo que rebasa el contexto social y económico de una nación en vías de desarrollo como el nuestro y que se basa fundamentalmente en la compra o transferencia de tecnologías desarrolladas en otros países y continentes. Por otra parte se tiene como otra alternativa, el contar o disponer de un desarrollo tecnológico propio y apropiado a las condiciones fisicogeográficas y geoeconómicas de nuestro país, utilizando una metodología adecuada que genere beneficios a toda la población en su conjunto, aprovechando al máximo los recursos naturales, sin atentar contra su permanencia y respetando al máximo el equilibrio de los ecosistemas, especialmente de aquellos que son considerados como "frágiles". Es decir ponderar en un plano y en perspectiva cuál de las alternativas es la más adecuada para nuestro país.

En la figura 58 es posible apreciar estas dos alternativas de modelos de desarrollo acuícola: por una parte están los sistemas intensivos que se caracterizan por el uso de alimentos balanceados, el uso de los monocultivos, una menor rentabilidad económica, una producción a mayor costo y una mayor cantidad de residuos, y por otra parte está el modelo de manejo integrado y multitrófico que no requiere necesariamente del uso de alimentos balanceados, se aprovechan los desechos locales tales como las excretas y esquilmos agrícolas, se utiliza el policultivo, se tiene una mayor rentabilidad económica, una producción a bajo costo y una reducida cantidad de residuos.

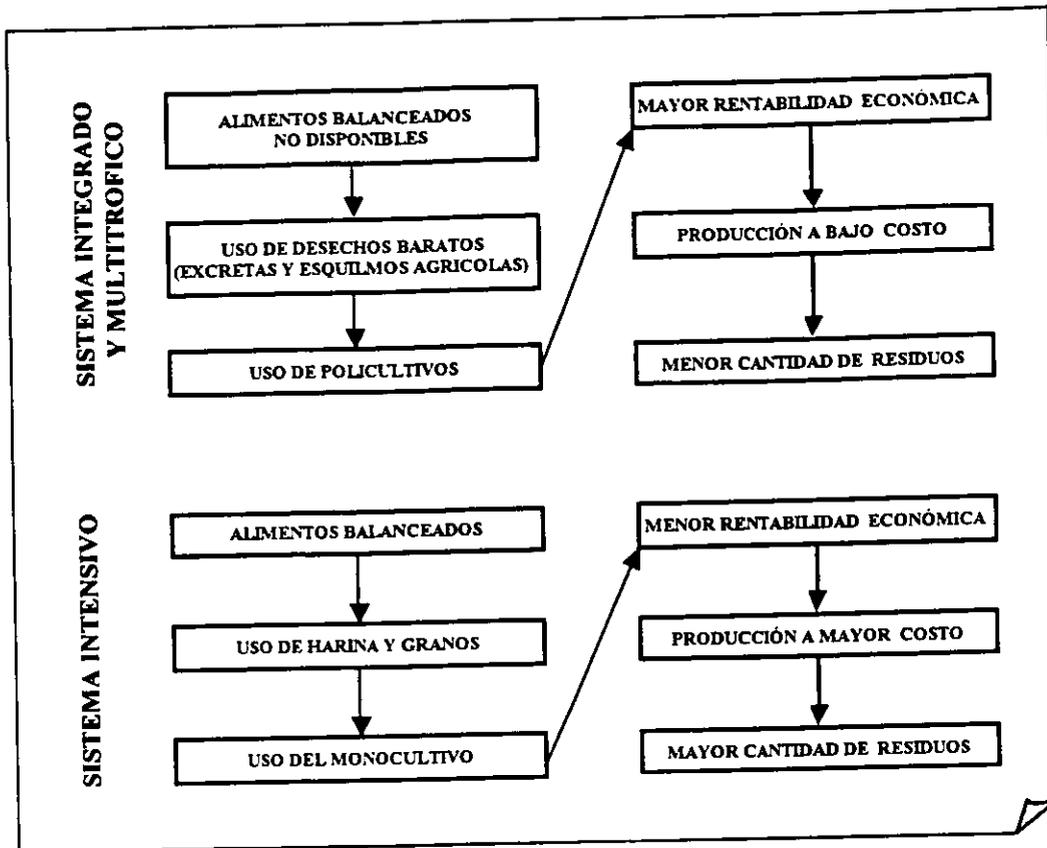


Figura 58. Contraste entre un sistema de producción intensivo y un manejo integrado y multitrofico.

Por otra parte, si contrastamos algunas de las características principales de estos dos modelos, los sistemas integrales multitroficos y multiespecificos (conocidos como SIMM) presentan ventajas comparativas las cuales se presentan en la tabla 30.

Tabla 35. Comparación de los modelos tecnológicos aplicados a la acuicultura.

Características	SIMM	Monoespecifico
Sistema de cultivo	Estanques semi intensivos	Canales de corriente rápida
Insumos	Crias y semillas	Crias y alimentos balanceados
Costos	Bajos	Elevados
Tipo de cosecha	Policultivo	Monocultivo
Desechos	Escasos	Si hay
Rendimientos/hectárea	10-15 toneladas	25 a 30 toneladas
Productos	Varios	Uno
Impacto ambiental	Escaso	Agresivo
Densidad	4 org/m ²	8-10 org/ m ²
Cadena productiva	Compleja	Simple

Los SIMM son modelos de producción de bajo costo de operación, no generan residuos ni desechos orgánicos, ya que éstos son reciclados en cada fase del proceso productivo, su

producción es de carácter multiespecífica y multitrófica ya que se pueden generar diversos productos agropecuarios tales como hortalizas, frutas, flores, miel de abeja, huevo, leche y sus derivados, carne, etcétera, por lo que su cadena de producción es compleja y armónica con la naturaleza. Otras características que identifican a estos sistemas son: a) las necesidades de espacio son reducidas, b) el uso del agua es más apropiado, c) requieren de poca energía externa, d) los desechos se reciclan en las diferentes etapas de producción y e) la productividad es alta y diversa (Flores-Nava, 1996).

El impacto al medio ambiente.

La actividad acuícola genera diversos impactos o efectos sobre el ambiente, que pueden ser resumidos de la manera siguiente: a) aquellos producidos o generados por la construcción de las granjas, b) aquellos que se refieren a la elaboración de insumos como los alimentos balanceados, los fertilizantes químicos y la extracción de organismos ya sean reproductores o estadios jóvenes del medio y c) los derivados de las descargas de aguas residuales provenientes de las granjas de cultivo.

En el primer caso se ha reconocido el impacto causado por la construcción indiscriminada de granjas, y como ejemplo podemos citar el caso del cultivo de camarón, que ha ocasionado severos daños al ambiente sobre todo a la zona costera en donde se pueden incluir los efectos al bosque de manglar, a los ecotonos o zonas de transición anexas a las granjas y el efecto sobre los humedales o tierras inundadas (conocidas en el idioma Inglés como "wetlands"). Estos impactos han generado cambios notables en los ecosistemas antes mencionados, que desde el punto de vista ecológico son considerados como "ecosistemas frágiles" y cuya importancia radica en que son zonas que cuentan con una rica biodiversidad y constituyen una fuente de alimento y refugio de organismos en toda o una parte del ciclo biológico de muchas especies de importancia comercial (moluscos, peces y crustáceos entre otros). Además, constituyen una zona de depuración y reciclamiento de nutrientes, donde los procesos biogeoquímicos de los materiales orgánicos permite su reincorporación al ciclo biológico de las especies, estableciendo relaciones intra e interespecíficas complejas con los sistemas costeros aledaños. La construcción de granjas cercanas a estos ecosistemas causan efectos sobre el hábitat, en las migraciones de organismos acuáticos y aves, en general en la biodiversidad y en los patrones de circulación.

En el segundo caso, la falta de planeación y el crecimiento desmedido de granjas orientadas al cultivo de camarón, ha propiciado un desarrollo desbalanceado que requiere de fuertes cantidades de insumos para atender la demanda creciente de las granjas. Entre estos insumos se tiene a los alimentos balanceados, los fertilizantes químicos y la dotación de postlarvas de camarón y de reproductores del medio natural. Debido a la superficie tan grande de hectáreas de estanques que actualmente existen en nuestro país (más de 12,000), para cubrir las necesidades de producción se requiere de millones de postlarvas y dado que no existen suficientes laboratorios productores, se ha tenido que recurrir a la captura de postlarvas silvestres tanto en frentes de playa como en esteros y lagunas costeras. Esta situación ha ocasionado que a pesar de las regulaciones existentes, se tenga un manejo indiscriminado de las poblaciones de las especies de camarones Peneidos, con diversas consecuencias como son el efecto sobre el reclutamiento natural, que a la larga pudiera afectar las pesquerías de

aguas protegidas y de alta mar y la transmisión de enfermedades infecciosas como producto de los traslados indiscriminado de las postlarvas silvestres de una zona a otra, con las consecuencias de la transmisión de enfermedades infecciosas que actualmente atacan a las poblaciones en cultivo provocadas principalmente por virus y bacterias.

Aunado a esto, los laboratorios productores de postlarvas para su operación requieren de reproductores del ambiente natural, para asegurar la producción constante de postlarvas. Esta situación ha propiciado el manejo y explotación indiscriminada de organismos adultos de camarones Peneidos, que son capturados en el Mar abierto y que al ser transportados a condiciones de cautiverio y sometidos a un estrés constante pueden presentar síntomas de enfermedades infecciosas o bien ser portadores de enfermedades virales que afectan severamente la producción.

Realmente en este sentido existen pocos estudios que permitan contar con una base científica para sustentar las decisiones de Gobierno, y la presión constante para mantener los niveles de la producción y la rentabilidad económica y financiera de las granjas, hace que se cometan una serie de errores que pueden tener efectos irreversibles sobre este recurso natural y afectar de manera severa y permanente a esta industria, que actualmente representa una fuerte inversión estimada en varios miles de millones de pesos. Además, indirectamente los efectos de esta extracción altera la biodiversidad y las prácticas de captura tienen un efecto directo sobre el hábitat natural donde se desarrollan las poblaciones de camarones Peneidos.

Con respecto al tercer punto, existen numerosos estudios que mencionan el impacto que causa la actividad acuícola sobre el ambiente, principalmente sobre los recursos acuáticos aledaños a las granjas de producción. Los estudios indican que el impacto más importante que genera esta actividad básicamente se encuentra limitado a la enorme cantidad de sólidos suspendidos y a los altos niveles de fósforo total y posiblemente de nitrógeno total que contienen las aguas de desecho de las granjas. Estos impactos en principio son de carácter estacional y de acuerdo con datos precisos analizados durante varios años en los EUA, éstos se pueden reducir hasta en un 90% aplicando estrategias sencillas y de bajo costo, así por ejemplo, en el cultivo de camarón el intercambio diario de agua en los estanques puede ser reducido o aun eliminado de manera drástica, sin sacrificar las tasas de crecimiento y sobrevivencia del camarón, evitando o disminuyendo la enorme cantidad de nutrientes, sólidos en suspensión y materia orgánica que es descargada a la zona adyacente. Estas descargas sin duda alteran el estado trófico de los cuerpos de agua aledaños propiciando la eutroficación, alterando la biodiversidad y provocando problemas de carácter sanitario. Un estanque o cuerpo de agua donde se practique la acuicultura produce básicamente dos tipos de desechos o descargas; por un lado los sólidos en suspensión y por otro el agua. El uso de estos dos desechos se sintetiza en la figura 59, donde es posible confirmar que mediante la aplicación de prácticas integrales, estos desechos pueden ser aprovechados para mejorar la productividad de otros módulos así por ejemplo, los sedimentos pueden ser aprovechados para reparar bordos, acondicionar suelos, elaborar camas para la agricultura orgánica, en el cultivo de la lombriz de tierra y su uso como fertilizante.

El agua a su vez puede ser utilizada para el riego de cultivos agrícolas, el consumo de

animales de granja, la elaboración de compostas y bioabonos líquidos y otras actividades propias de este sistema.

De la práctica común en las granjas acuícolas, se deriva que el impacto al medio puede ser reducido si se siguen prácticas de manejo adecuadas (Tucker, 1998), tal como se indica a continuación:

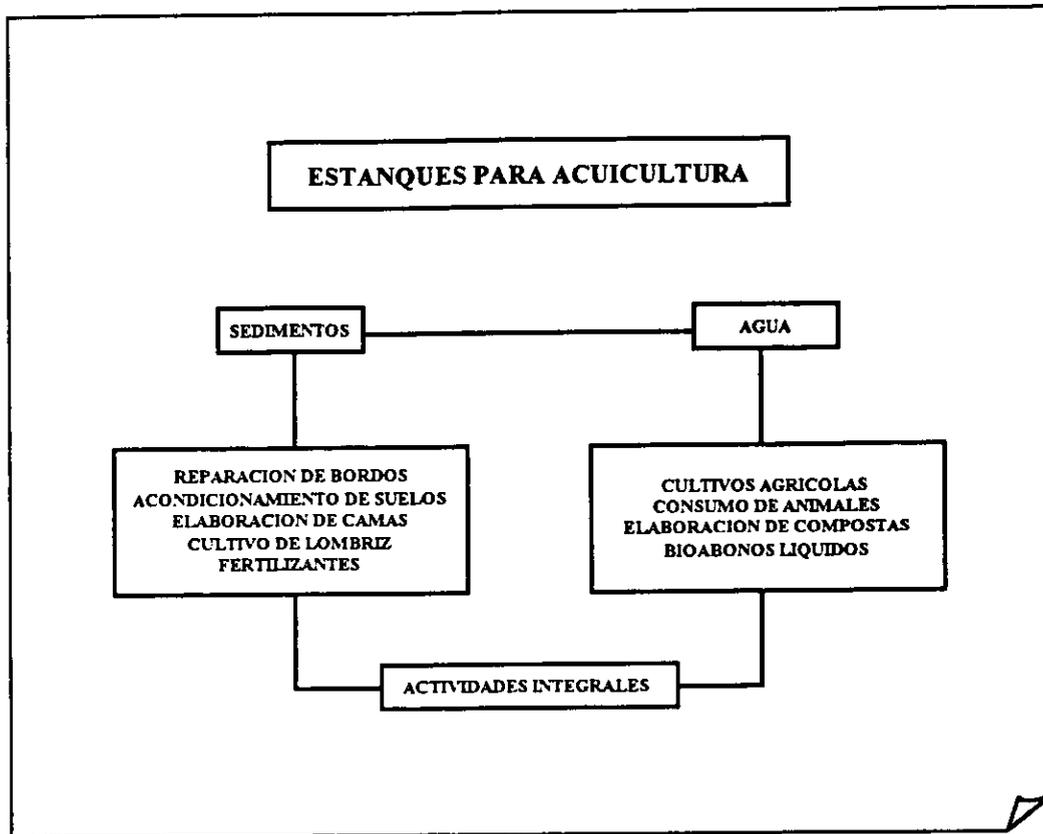


Figura 59. Manejo y aprovechamiento de los residuos generados en la actividad acuícola.

1. Los alimentos comerciales constituyen la principal fuente de contaminación de los efluentes de las granjas, por lo que cada día se hace necesario utilizar alimentos de alta calidad que mejoren la eficiencia del Factor de Conversión de Alimento (FCA), reduzcan la cantidad de desechos metabólicos en la columna de agua, y su aumento en los sedimentos y del alimento no consumido por los organismos bajo cultivo. En la medida en que se mejoren los alimentos comerciales y se apliquen prácticas de alimentación más sanas, no sólo se obtendrá un ahorro en los costos de producción, sino también se contaminará menos.

2. Es necesario mantener una concentración de oxígeno disuelto en el agua de los estanques por arriba de 4 o 5 mg/l, lo cual permite mantener el apetito de los organismos en cultivo y lograr una mejor eficiencia del FCA. Esto puede lograrse a través de una buena circulación que previene la estratificación del cuerpo de agua y propicia la mejor degradación de la materia orgánica en el fondo del cuerpo de agua, lo que disminuye

marcadamente la cantidad de agua que es eliminada en los afluentes.

3. Se debe reducir el recambio de agua para evitar elevadas concentraciones de amonio no-ionizado y otros metabolitos tóxicos en las aguas de los afluentes, sobre todo si se descargan elevados volúmenes de agua como sucede en el cultivo de camarón. Recientemente se ha cuestionado la efectividad del recambio constante de agua para mantener una mejor calidad del agua y se ha demostrado que tiene poco efecto sobre las tasas de crecimiento y supervivencia del camarón.
4. El mantener operando los estanques durante varios años continuos sin drenarlos ha demostrado que no tiene un efecto significativo sobre la calidad del agua, ya que es posible realizar varias cosechas sin drenar el estanque o el cuerpo de agua. Es recomendable el uso del agua para otras actividades como las agrícolas, lo cual reduce notablemente las necesidades de bombeo. Cuando es necesario vaciar los estanques para reparar los bordes o bien para ajustar los inventarios de organismos en cultivo, al menos del 10 al 20% del volumen del agua debe ser dejado en el estanque por al menos dos o tres días antes de vaciarlo, lo cual disminuye en forma significativa la cantidad de contaminantes, los cuales quedan retenidos en el sedimento.
5. Es recomendable realizar prácticas para captar el escurrimiento superficial para mantener los niveles de profundidad de los estanques o cuerpos de agua, lo cual permite ahorrar en el bombeo.
6. Los estanques o cuerpos de agua que han sido parcialmente drenados, facilitan la cosecha, minimizan la mano de obra y evitan la resuspensión de los sedimentos. El mantener un volumen de agua entre el 10 y 20% durante tres días permite a los sólidos en suspensión depositarse en el sedimento antes de drenarlo totalmente. Un mejor método es no descargar esta última porción y solamente rellenar con agua hasta su nivel normal.
7. En vez de drenar los estanques para propósitos de cosecha, el agua puede ser bombeada a estanques adyacentes y ser reciclada en el sistema. Los estanques de producción pueden ser construidos con una mayor altura de los bordos para mantener mayores volúmenes de agua y esta puede ser transferida a otros construidos en la parte de abajo y aprovechar la gravedad para realizar la recirculación del agua.
8. La construcción de humedales es una manera eficiente de tratar el agua con tiempos mínimos de retención (en promedio dos días). Estos humedales también conocidos como "wetlands" o tierras inundadas deben tener un máximo de 50 cm de profundidad y deben tener en su base plantas emergentes y enraizadas que permiten un tratamiento eficiente de los contaminantes. Estos humedales deben ser construidos en el drenaje de salida de los estanques de tal manera que el agua fluya por gravedad asegurando un tiempo de retención entre dos y cuatro días. Algunos datos indican que este tratamiento requiere de una fuerte inversión adicional, lo que puede poner en riesgo la rentabilidad económica de un proyecto productivo.
9. Bajo ciertas circunstancias el agua descargada de los sistemas de cultivo puede tener un valor como agua de irrigación en la agricultura. Aunque la cantidad y calidad de los

fertilizantes no son suficientes para mantener un elevado nivel de producción si se puede lograr un ahorro importante utilizando el agua de los estanques para propósitos de agricultura.

No obstante los impactos causados por la actividad acuícola, pueden ser reducidos de manera significativa aplicando el concepto de Granjas Integrales de Acuicultura (GIA), por lo cual este modelo de desarrollo se considera más conveniente para aplicar en un país como el nuestro, donde las condiciones sociales, políticas y económicas son diferentes a los países considerados del primer mundo o industrializados.

Los factores sociales, económicos y políticos.

La acuicultura sustentable requiere contar con una plataforma política, social y económica adecuada para establecerse en nuestro país, sobre todo considerando los cambios que se han dado a escala mundial en los últimos años.

Las estructuras económicas políticas y sociales en el mundo se han transformado radicalmente. El orden mundial que se mantuvo durante la llamada "guerra fría" entre las principales potencias mundiales se ha modificado drásticamente y en poco tiempo. El rumbo que han tomado los países industrializados señala una clara tendencia a adoptar la ideología liberal y la economía libre de mercado como un modelo a seguir en la política y en la economía.

México no ha sido ajeno a estos cambios y desde hace varios sexenios (específicamente a partir del sexenio del Presidente Miguel de la Madrid Hurtado), la política económica nacional se ha orientado a seguir un modelo de corte liberal o como lo han señalado prestigiados economistas a mantener rasgos invariantes de carácter neoliberal, que apuntan a la desaparición de la economía mixta, a la modificación general del papel del Estado sobre la economía nacional y al propósito de reactivar el crecimiento económico sostenido sobre nuevas bases.

Esta nueva política económica que tiene las características de ser abierta, globalizadora y de libre mercado, esta propiciando una transformación en la estructura económica interna del país y afecta al sector productivo de bienes y servicios, en donde no escapan las diversas actividades económicas como la acuicultura, la cual ahora se encuentra inmersa en la apertura comercial, el auge de los flujos de capital y la conformación y consolidación de bloques económicos en el mundo, como es el caso del TLCAN (Tratado de Libre Comercio de América del Norte) al cual pertenece nuestro país.

Si bien, todo esto parece apuntar al predominio de una política neoliberal para los próximos años, que procura fortalecer a los grandes consorcios, incrementar la tendencia a la concentración de flujos de capital y aumentar su poder, una gran parte de la población no ha recibido ni recibirá a corto o mediano plazo los beneficios de esta política, ya que se orienta principalmente a la desincorporación de las empresas del Estado, la reprivatización, el rescate financiero de la banca, la reducción general del gasto público y en general la disminución de la intervención del Estado, que delinean una política orientada a fortalecer a

la empresa privada bajo criterios de eficiencia y rentabilidad, dictados por el mercado libre, quien en última instancia será el que asigne recursos y determine los precios y salarios.

Esto significa una inevitable sanción a todas las actividades económicas, ya que para poder salir con éxito al libre mercado, las empresas mexicanas requerirán de invertir grandes capitales para modernizar su infraestructura, capacitar a sus empleados y trabajadores, aplicar nuevas tecnologías y bajar los costos de producción para alcanzar o mantener una competitividad internacional ofreciendo bienes y servicios de calidad y accesibles al consumidor a escala mundial. También, esto repercute en la modificación de la estructura económica y social que durante los últimos años ha propiciado la formación de dos México, el de los pobres que representan más del 80% de la población y el de los ricos que conforman el resto. Esta situación desigual trae consigo grandes dificultades para poder atender a una población creciente que requiere el apoyo del Estado para asegurar su alimentación, servicios de salud, empleos y en general el bienestar social de esta población deprimida.

Si bien los indicadores macroeconómicos muestran que esta política ha tenido buenos resultados, los beneficios no han llegado al bolsillo de los trabajadores y la tasa de desempleo, el subempleo, la inseguridad, el alto costo de la vida y otros factores han aumentado severamente en los últimos años. En cambio las grandes empresas (generalmente las transnacionales) han prosperado y se han enriquecido, mientras las pequeñas, medianas y microempresas han sido afectadas seriamente, a tal grado que muchas de ellas han desaparecido.

Generalmente, las unidades de producción acuícola funcionan como empresas pequeñas y microempresas y desde luego están sometidas a los vaivenes de la economía nacional, siendo afectadas fundamentalmente por la falta de créditos adecuados a la actividad, elevados intereses bancarios, incremento en el costo de los insumos básicos (alimentos, fertilizantes, aionomorfos y electricidad), la falta de capacitación y asesoría, así como de incentivos fiscales. A pesar de ello, algunas granjas operan con un nivel de rentabilidad aceptable, pero cotidianamente enfrentan problemas de carácter técnico, económico y financiero. La incertidumbre, las escasas perspectivas de desarrollo y la presencia de un mercado nacional e internacional inestable y variante, hacen que los inversionistas presten una mayor atención a los cambios económicos, que a la aplicación de recursos para el desarrollo de esta actividad.

Bajo este contexto la acuicultura sustentable puede jugar un papel importante en el desarrollo económico del país, ya que se dispone de recursos naturales importantes, condiciones fisicogeográficas únicas, desarrollos tecnológicos adecuados y apropiados y una experiencia de más de 40 años, que constituye un sustento para establecer proyectos productivos rentables. En este sentido cabe reflexionar si este modelo de desarrollo se puede insertar en un sentido estricto dentro de las políticas neoliberales de libre mercado y al parecer la respuesta es simple, ya que la acuicultura sustentable genera productos de elevado valor económico que pueden ser comercializados tanto en el país como en el extranjero, algunos ejemplos de ello son producción de frutas y hortalizas a través de la agricultura orgánica, libres de agentes químicos y conservadores; la producción de flores para la exportación; producción de hongos comestibles; maderas preciosas, plantas medicinales,

carne de ganado menor, carne de pescado, crustáceos y moluscos, algas comestibles e industriales y un sinnúmero de productos que tienen una elevada competitividad en los mercados nacionales e internacionales.

Durante años la entonces Secretaría de Pesca (ahora SEMARNAP) ha desarrollado el Programa de Acuicultura Rural, que se practica en algunas entidades federativas al nivel de subsistencia o semicomercial. El modelo tiene bases en la acuicultura sustentable y se soporta principalmente en el cultivo de especies de peces exóticos cuya tecnología ya está total o parcialmente desarrollada. Esta actividad depende básicamente de los insumos y la asistencia técnica que brinda el sector oficial o de gobierno y en ella se tratan de aplicar conceptos de manejo integral o agroacuicultura que incluya otro tipo de actividades tales como la agricultura y la ganadería en razón de obtener una mayor disposición de productos alimenticios.

Las unidades de producción rural, por esta razón tienen amplias posibilidades de desarrollo si se logran insertar en el modelo de aprovechamiento integral mutitrófico y multiespecífico de los recursos naturales. Esto permite en primer lugar, que los productores rurales dispongan de una diversidad de organismos que contribuyan en principio al enriquecimiento de su dieta alimentaria y en segundo lugar, a la venta de excedentes de la producción. Este modelo puede adaptarse a las condiciones de cada región, dando la pauta para el aprovechamiento de los desechos en los diferentes niveles de producción y evitando los impactos a los ecosistemas. El desarrollo de este modelo implica un esfuerzo de investigación que hay que aplicar bajo diferentes climas y situaciones ambientales, que induzca la adopción de tecnologías de acuerdo con la actitud y la aptitud de los pobladores rurales, sin imponer modelos desarrollados en otros países y bajo otras condiciones sociales, tomando en cuenta la situación económica en que estos se desenvuelven.

Este modelo puede ser aplicado en las zonas de menor desarrollo económico y donde los niveles de pobreza extrema son altos, ya que el esfuerzo que se requiere sobre todo en la fase inicial se ve recompensado por los beneficios que produce ya sea en alimentos como en ingresos. Las limitaciones para desarrollar un modelo de esta naturaleza no son de carácter técnico, ya que se puede enfocar hacia el cultivo de especies con demanda local o bien modificar las tecnologías con el fin de lograr bajar el costo unitario de los productos que generan. En este sentido la rentabilidad puede ser elevada.

Con un número importante de micro y pequeñas empresas de acuicultura, será posible establecer consorcios que permitan bajar los costos en la adquisición de los insumos básicos para la producción y poder formar empresas exportadoras ofreciendo una calidad de producto aceptable en los mercados internacionales.

Las experiencias registradas en el ámbito Latinoamericano ponen de manifiesto la necesidad de aplicar tecnologías de extensionismo que sean acordes con la realidad socioeconómica de las zonas o regiones. La introducción de las diversas tecnologías han tropezado con problemas de asimilación, por no tomar en cuenta las características culturales de los usuarios potenciales. La ignorancia de este hecho explica los numerosos casos de deserción que se han observado en los proyectos de este tipo, una vez que desaparece la asistencia técnica directa. En los resultados obtenidos en los pocos análisis que se han realizado al

respecto se manifiesta una definida tendencia por parte de los usuarios que permanecen en la actividad, a pasar de la modalidad de cultivo que se ha llamado de subsistencia, a formas de orientación total o parcialmente comercial. Resulta que es más atractivo para un productor obtener ingresos económicos para adquirir otros productos de la canasta básica y balancear su economía familiar (Loria y Martínez, 1990).

El enfoque tradicional que se le ha dado en nuestro país es una orientación a la acuicultura de la "pobreza", es decir a la llamada acuicultura de traspatio, más que considerarla como una empresa rentable que pueda favorecer el bienestar familiar (Martínez, 1995). Esto se puede lograr mediante una orientación adecuada que permita a los productores cultivar especies de elevado valor económico y de alta demanda en el mercado, sustituyendo las especies consideradas como "baratas", algunas de las especies que tienen un gran potencial económico a nivel nacional o internacional, son el camarón, la langosta de quelas rojas, la trucha arco-iris, el bagre de canal y otras. En los países Asiáticos y Europeos se ha desarrollado esta tecnología como una actividad empresarial y se han logrado asociar a la producción, la exportación de productos de excelente calidad, la industria y el turismo, logrando así abrir perspectivas más amplias para las comunidades rurales e insertándolas en la globalización de los mercados.

Es por lo tanto necesario aplicar un programa agresivo que fomente esta tecnología, rompiendo las ataduras de la visión del pasado y manejar un nuevo paradigma con cambios de mentalidad y de visión que resuelvan en forma definitiva la problemática social y económica de las poblaciones rurales marginadas. Para lograr esto se necesita el compromiso de los diferentes sectores que participan en la cadena productiva e invertir recursos económicos suficientes para promover y desarrollar los Sistemas Integrales Multitróficos y Multiespecíficos.

IX. BIBLIOGRAFIA

- Abbott, R.T. 1968. *A guide to field identification of seashells of North America*. Golden Press. N.Y. Western Publ. Co. Inc. 280 p.
- Acosta, R.M. y Chávez de Nishikawa, G.A. 1986. *Desarrollo Histórico de la Acuicultura en Baja California*. p. 50-62 En: Memorias del Primer Simposio Nacional sobre Desarrollo Histórico de las Investigaciones Oceanográficas en México, México, D.F. del 26 al 28 de Noviembre, SEP, UNAM, CONACYT, INP.
- Adiyodi, K.G. and R.G. Adiyodi. 1970. Endocrine control of reproduction in decapod Crustacea *Biol. Rev.*, 45: 121-165.
- Aguilar, R.M. y Meza, A.L. 1993 a. *Medio ambiente y desarrollo*. Cuadernos para una sociedad sustentable. Fundación Fiedrich Ebert. SALDEBAS y Grupo de Estudios Ambientales, A.C. México, D.F. 66 p.
- Aguilar, R.M. y Meza, A.L. 1993 b. *¿Que es la agricultura sustentable?*. Cuadernos para una sociedad sustentable. Fundación Fiedrich Ebert. SALDEBAS y Grupo de Estudios Ambientales, A.C. México, D.F. 58 p.
- Aguilera, J.G. 1896. *Sinopsis de Geología Mexicana. Segunda parte del trabajo "Bosquejo Geológico Mexicano"*. Instituto de Geología de México.
- Aguilera, H.P. y Noriega, C.P. 1986. *La Tilapia y su cultivo*. FONDEPESCA, Secretaria de Pesca, México, D.F. 59 p.
- Alcaráz, Z.G. 1993. *Alteraciones producidas por el nitrito en la carpa herbívora Ctenopharyngodon idella*. Tesis de Doctor en Ciencias (Biología), de la Facultad de Ciencias, UNAM. 114 p
- Alvarado, T.H. 1980. *Crónica Mexicana. Códice Ramírez*, Biblioteca Porrúa, Núm. 6. México. 721 p.
- Alvarez, J., Avila, P., Calderón, G. y Chapa, H. 1961. Los recursos naturales de México. Estado actual de las Investigaciones de Hidrología y Pesca. *Inst. Mex. Rec. Nat. Ren.* México 3: 421 p.
- Alvarez del Villar, J. 1970. *Peces mexicanos (claves)*. Secretaria de Industria y Comercio, Dirección General de Pesca e Industrias Conexas, Comisión Nacional Consultiva de Pesca, México, D.F. 166 p.
- Amaya, C. R. y Anzola, E. E. 1988. Generalidades sobre el cultivo de trucha. *Inst. Nat. de los Rec. Naturales y del Ambiente*. INDERENA. Bucaramanga, Colombia, Bogotá 61 p.
- Anónimo. 1988 a. *Manual de cría de camarones peneidos en estanques de aguas salobres. Centro de Documentación e Información de Acuicultura*. CEDIA-Santiago de Veraguas, Panamá, Dirección Nacional de Acuicultura. 54 p.
- Anónimo. 1988 b. *Manual de cultivo del camarón de río Gigante de Malasia. Centro de Documentación e Información de Acuicultura*. CEDIA-Santiago de Veraguas, Panamá, Dirección Nacional de Acuicultura. 29 p.

- Anónimo. 1988 c. *Manual técnico para la operación de centros acuícolas productores de ostión*. Secretaría de Pesca. México, D.F. 324 p.
- Anónimo. 1988 d. *Manual técnico para el cultivo de trucha*. Secretaría de Pesca. México, D.F. 115 p.
- Anónimo. 1991. *Programa de modernización de los centros acuícolas 1990-1994*. Secretaría de Pesca, Dirección General de Acuicultura. México, D.F. 23 p.
- Arai, E.G. 1948. *Investigaciones ostrícolas en la Laguna Tampamachoco, Ver.* Secretaría de Marina. México. D.F. p. 15-22
- Arellano, E. 1985. *Desarrollo del laboratorio de camarones del proyecto piloto de la ESPOL*. ESPOL, 1: 1-17.
- Arredondo, F.J.L. 1976. *Especies acuáticas de valor alimenticio en México*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM. México. 94 p.
- Arredondo, F.J.L. 1983. Especies acuáticas de importancia nutricional introducidas en México. *BIOTICA* 8(2):175-199
- Arredondo, F.J.L. 1990 a. Análisis del cultivo de camarón en México, al término de 1989. p. 77-104. En: De la Lanza E.G. y Arredondo F.J.L. (Comps). *La Acuicultura en México: de los conceptos a la producción*. Instituto de Biología, UNAM. México, D.F.
- Arredondo, F.J.L. 1990 b. Estado actual de la Reproducción inducida en Ciprinidos. p. 55-66 En: De la Lanza, E.G. y Arredondo, F.J.L. (Comps). *La Acuicultura en México: de los conceptos a la producción*. Instituto de Biología, UNAM. México, D.F.
- Arredondo, F.J.L. 1993. Fertilización y Fertilizantes: su uso y manejo en la acuicultura. UAM Iztapalapa, México, D.F. 202 p.
- Arredondo-Figueroa, J.L. 1996. Estado actual y perspectivas de la acuicultura en México. *ContactoS* 14: 28-38.
- Arredondo, F.J.L. 1997. Los sistemas integrales de acuicultura; un punto de vista sobre el aprovechamiento multiespecífico y multitrófico. p. 1-14 En: Arredondo F.J.L., Domínguez G.P.L. y Grande C. M. (Compiladores). *Sistemas integrales de acuicultura para el desarrollo sustentable*. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, México, D.F.
- Arredondo, F.J.L. y Aguilar D.C. 1983. Bosquejo histórico de las investigaciones limnológicas realizadas en lagos mexicanos, con especial énfasis en su ictiofauna. p. 91-133. En: Gómez A.S. y Arenas F.V. (Comps). *Contribuciones en Hidrobiología*. Instituto de Biología, UNAM, México, D.F.
- Arredondo, F.J.L. y Flores, N.A. 1992. Características limnológicas de pequeños embalses epicontinentales. Su uso y manejo en la acuicultura. *Hidrobiológica* (3-4): 1-10.
- Arredondo- Figueroa, J.L. y Guzmán-Arroyo. M. 1986. Actual situación taxonómica de las especies de la Tribu Tilapiini (Pisces: Cichlidae) introducidas en México. *An. Inst. Biol. Ser. Zool.* UNAM. 56 (2): 555-572.
- Arredondo, F.J.L. y Juárez P.R. 1986. *Manual de Ciprinicultura (Cultivo de carpa)*. Parte I. Antecedentes, sistemática, biología, reproducción inducida, incubadoras y desarrollo

- embrionario. Dirección General de Acuicultura, Secretaría de Pesca, Dirección General de Acuicultura, México, 140 p.
- Arredondo, F.J.L. y Lozano-Gracia, S.D. 1996. *El cultivo de la Tilapia en México*. p. 7-18. En: Primer Curso Internacional de producción de Tilapia. Facultad de Medicina, Veterinaria y Zootecnia UNAM, SEMARNAP. México, D.F.
- Arredondo, F.J.L. (inédito). *La acuicultura en México y particularmente en Querétaro*. Documento mimeografiado 16 p.
- Arriaga, B. R. y Rangel, C.D. 1988. *Diagnóstico de la situación actual y perspectivas del cultivo del ostión en México*. Secretaría de Pesca, Dirección General de Acuicultura, México, D.F. 95 p.
- Avilés, Q. S. y García, S. A. 1987. *Situación actual del cultivo del langostino en México*. Dirección General de Acuicultura, Secretaría de Pesca. México, Pachuca Hidalgo. Documento mimeografiado. 75 p.
- Bardach, J., Ryther, J. y Mc Lamey, W. 1982. *Acuicultura. Crianza y cultivo de organismos marinos y de agua dulce*. AGT Editor, S.A. México, D.F. 718 p.
- Baqueiro, C.E. 1984. Status of molluscan aquaculture in the Pacific coast of Mexico. *Aquaculture* 39:83-93.
- Bartlett, P. and Enkerlin, E. 1983. Some results of rearing giant prawn *Macrobrachium rosenbergii* in asbestos asphalt ponds in hard water and on a low protein diet. *Aquaculture* 30 (1-4): 353-356.
- Bassols, B. A. 1979. *México: Formación de las regiones geoeconómicas*. UNAM. México. 625 p.
- Beltrán, E. 1935. *Apuntes de Zoología Cinegética e Hidrobiología*. Escuela Nal. de Agric. Chapingo. México (documento mimeografiado). V-142
- Bocek, A. 1996. *Introduction to tilapia culture*. Water Harvesting and Aquaculture for Rural Development. International Center for Aquaculture and Aquatic Environment, Auburn University, Alabama, USA. p. 30-38.
- Boujard, T. 1987. a. La production pisciaire continentale au Mexique: état actuel et place de la recherche, 1re partie. *Aqua Revue* (12): 27-32
- Boujard, T. 1987. b. La production pisciaire continentale au Mexique: état actuel et place de la recherche, 2da partie. *Aqua Revue* (13): 29-34.
- Bastardo, H. y Coché, Z. 1988. *Manual Técnico para el cultivo de Truchas en Venezuela*. FONAIAP. Venezuela. 79 p.
- Beveridge, M.C.M. 1987. *Cage aquaculture*. Fishing News Books. Ltd. England. 352 p.
- Beveridge, M.C.M. 1984. *Cage and pen fish farming. Carrying capacity models and environmental impact*. FAO Fish. Tech. Pap., (255): 131 p.
- Blanco, C.M. 1995. *La trucha, cría industrial*. De. Mundi-Prensa. España. 503 p.

- Bonilla, P. A. D. 1998. *Comparación del crecimiento de la trucha Arcoiris (Oncorhynchus mykiss) en la fase de cría, con cuatro alimentos comerciales*. Servicio Social, Licenciatura Hidrobiología. U.A.M. Unidad Iztapalapa. México, D.F. 30 p.
- Boshi, E.E. 1961. Sobre el primer estadio larval de dos especies de camarones de agua dulce (Crustacea, Palaemonidae). *Actas Prim. Congr. Sudam. Zool.* 2: 67-69.
- Cabañas, L.P. 1995. *Diseño y operación de un sistema de cultivo de crías de tilapia (Oreochromis spp.)*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México, D.F. 76 p.
- Cabrera, C. M. 1978. *Método para el cultivo comercial rentable del camarón prieto o langostino manos de carrizo M. acanthurus (Wiegmann, 1936)*. p. 720-766 En: Memorias del Segundo Simposium de la Asociación Latinoamericana de Acuicultura, Tomo I, Departamento de Pesca, México, D.F.
- Cabrera, J., Chávez, C. y Martínez, C. 1979. Fecundidad y cultivo de *Macrobrachium tenellum* (Smith) en el laboratorio. *An. Inst. Biol. Serie Zoología UNAM.* (1): 127-152.
- Cabrera, J.J.L. y García, C.J.L. 1982. 9. *El estado de la acuicultura en México al término de 1982*. p. 42-65. En: Informes Nacionales sobre el desarrollo de la Acuicultura en América latina. FAO. Inf. Pesca, (294 Supl.)1:138 p.
- Cabrera, J.J.A y García C.J.L. 1986. Estado de la acuicultura en México al término de 1982. p. 721-741. En: Bardach, J., Ryther J. y McLaren, W. *Acuicultura. Crianza y cultivo de organismos marinos y de agua dulce*. AGT Editor, S.A. México, D.F.
- Cabrera, C.M.G. 1988. *Factibilidad económica del cultivo del langostino de agua dulce. Macrobrachium acanthurus*. p. 74-84 En: Memorias. Seminario Nacional de Cultivo y Comercialización de Langostino. Secretaría de Pesca. Acapulco, Gro.
- Cadena, I., Martínez, J. y Peña, E., Inédito. *III avance del inventario nacional de cuerpos de agua epicontinentales. rendimiento potencial e importancia para la acuicultura*. Departamento de Pesca, Dirección General de Acuicultura. Oficinas Sistemas de Referencia. Laboratorio Central "El Zarco". Sección del Hábitat y Recursos Bióticos en aguas Continentales. Area Geográfica e Inventario Nacional de Cuerpos de Agua Lénticos (1979).
- Cahn, R.A. 1950. Oyster culture in Japan. General Headquarters Supreme Commander for the Allied Powers, Natural Resources Section (134): 82 p.
- Camiro, M.G. 1939. El abulón en la costa occidental de la Baja California. *Rev. Litoral* 1 (3) 35 p.
- Cariño, O. M. M. y Cáceres, M. C. 1990. *La perlicultura en la Península de Baja California a principios de siglo*. p. 1-3 En: Serie Científica. U.A.B.C.S. México. 1. (Número especial 1 AMAC):1-6
- Carranza, J. 1953. *Historia de la piscicultura en México*. Memorias del Congreso Científico Mexicano. UNAM. México. 159-174 p.
- Carrasco, L.M.B. y Fabian, P.G. 1989. *Ensayo de un cultivo de langostino Macrobrachium acanthurus (Weigmann). para evaluar el crecimiento con fertilización inorgánica y dos*

- alimentos complementarios diferentes*. Tesis profesional del Instituto Tecnológico del Mar, SEP, Boca de Rio, Veracruz 61 p.
- Carriedo J. B. 1949. *Estudios históricos y estadísticos del estado de Oaxaca*. Tomo 1. Talleres de Juan Morales S. 273 p.
- Castillo, R.Z. G. 1977. *Contribución al estudio taxonómico de algunas especies mexicanas de la familia Ostreidae*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM 108 p.
- Ceballos, O.M. y Velázquez, E.M. 1988. *Perfiles de la alimentación de peces y crustáceos en los Centros y Unidades de Producción Acuicola en México*. Dirección general de Acuicultura, Secretaría de Pesca, Pachuca, Hgo., México. 139 p.
- Chamberlain, G. W, and Gervais, N.F. 1984. Comparison of unilateral eyestalk ablation with environmental control for ovarian maturation of *Penaeus stylirostris*. *J. World Maricul. Soc.* 15: 29-30.
- Chapa, S.H. 1956. *La distribución comercial del camarón del NO de México y el problema de artes fijas*. Tesis de Licenciatura de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, México, D.F. 57 p.
- Cházari, E. 1884. *Piscicultura en agua dulce*. Secretaría de Fomento. México. D.F. 828 p.
- Cházari, E. 1887. Ideas sobre la importancia de impulsar vigorosamente la piscicultura y la agricultura en el país. *Memoria de Fomento* 4: 303-315 . (anexo 39).
- Chen, F.Y. 1969. Preliminary studies on the sex-determining mechanism of *Tilapia mossambica* Peters and *T. hornorum* Trewavas. *Verh. Int. Ver. Limnol.* 17: 719-724.
- Chimits, P. 1955. Tilapia and its culture. A preliminary bibliography. *FAO Fisheries Bull.* 8 (1):1-33.
- Ciudad Real, A. de. 1976. *Tratado curioso y docto de las grandezas de la Nueva España*. UNAM. Instituto de Investigaciones Históricas, México.
- Córdoba, CH. J. 1994. *Proyecto Parque Trutícola de Chihuahua*. Contrato No. DGA-EP-32-93 Informe final. Tomo 2. Chihuahua; Chih. 458 pp.
- Contreras, F. 1924. Datos para el estudio de los ostiones mexicanos. *Bol. Of. Sria. Agric. Fomento.* 8: 600- 603.
- Colt, J. 1994. Modeling production capacity of aquatic culture systems under freshwater condition. *Bulletin of National Research Institute of Aquaculture* (Supplement 1): 153-156
- Colt, J. and Orwiez, K. 1991. Modeling production capacity of aquatic culture systems under freshwater condition. *Aquaculture Engineering* 10: 1-29.
- Cortés, H. 1987. *Cartas de relación de la conquista de México*. Colección Austral. Espasa-Calpe Mexicana 300 p.
- Cortés, A.R. y Arredondo, F.J.L. 1976. Contribución al estudio limnológico de la presa "El Infiernillo". Michoacán. Guerrero. Serie Técnica. No. 2 FIDEFA. 21 p.
- Costello, T.J. and Allen, D.M. 1970. Synopsis of biological data on the pink shrimp *Penaeus duorarum duorarum* Burkenroad, 1939. *FAO Fish. Rep.*, 57 (4): 1499-1537.

- Cuesta, T. C. 1919. Estudio particular sobre la pesca del robalo. *Boletín de la Dirección de Estudios Biológicos* 2:394-397 p.
- Cuesta, T.C. 1925. La fauna ictiológica y malacológica comestibles del Lago de Chapala, Jal. y su pesca. *Mem. Soc. Cient. Antonio Alzate* 44: 39-67.
- Cuesta, T.C. 1932. Lista de los peces de las costas de Baja California. *An. Inst. Biol. UNAM* 3: 75-80.
- Cuesta, T.C. 1934. Las lisas. *México Forestal* 12 (7-8): 143-146.
- De Buen, F. 1944. Debe emprenderse en México la ostricultura. *Rev. Gral. Marina. Ep. III* (3): 22-23.
- De Buen, F. 1957. *Crisis ostrícola en México y su recuperación*. Secretaría de Marina. Dirección General de Pesca e Industrias Conexas 47 p.
- De la Garza, M.C. 1988. El agua en el cultivo del langostino. p. 105-118. En: Memorias. Seminario Nacional de cultivo y comercialización de Langostino. Secretaría de Pesca Acapulco, Gro.
- Decenio Hidrológico Internacional. 1981. Memoria 1968-1969. México, D.F. p. 21-27.
- Departamento de Pesca. 1981. *Programa Nacional de Acuicultura*. Departamento de Pesca, Dirección General de Acuicultura, México, D.F. 45 p.
- Diario Oficial de la Federación. 1946. 31-XII-1946
- Diario Oficial de la Federación. 1950. 16-I-1950
- Diario Oficial de la Federación. 1986. 26 -XII- 1986.
- Diario Oficial de la Federación. 1992. 25 -VI- 1992.
- Díaz de León, J. 1910. Catálogo de los moluscos terrestres, fluviales y marinos que se encuentran en el territorio de la República Mexicana. *La Naturaleza*. 3a.I: 16-24.
- Díaz de León, J. 1912. Mollusca Catalogus Mulluscatum Mexicanae Republicae hucusque descripta. *La Naturaleza* 3a.I: 93-143.
- Díaz del Castillo, B.C. 1977. *Historia verdadera de la conquista de la Nueva España*. Biblioteca Porrúa No.7. 517 p.
- Dominguez, P. L. 1997. Sistemas Integrados. p. 15-24. En: Arredondo F. Dominguez Guarde, P y Grande Cano, D. (Compiladores). *Sistemas Integrales de Acuicultura para el Desarrollo Sustentable*. UAM. Iztapalapa, D.F. México.
- Edwards, P. 1997. Sustainable food production through aquaculture. *Aquaculture Asia* 2(1): 4.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United States). 1989. Aquaculture production statistics (1984-1986). *FAO Fisheries Circular* No. 815. Statistical Tables 106p.
- FAO 1991. *Diagnóstico integral de las granjas camaroneras en el estado de Sinaloa*. Secretaría de Pesca, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. FI:MEX/87/018 Documento de Campo, Mazatlán, Sinaloa, 240 p.

- FAO. 1995. Código de Conducta para la Pesca Responsable. FAO Fisheries Department, 34 p. (<http://www.fao.org/filagreem/codecond/ficonds.asp>).
- FAO. 1997. El estado mundial de la Pesca y Acuicultura. Departamento de la pesca de la FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. Roma. 125 p.
- Fernández, L. M. 1897. Piscicultura. Memoria presentada al Congreso de la Unión, 1892-96. *Mem. Fomento* p.107-112.
- Ferré, D.A. 1982. *Acuicultura 2000. Memorias y perspectivas*. Secretaría de Pesca. México. 11-16 p.
- Flores-Nava, A. 1996. Integrated aquaculture-agriculture. *Jaina*. Boletín Informativo. 7(1):1-2.
- Galtsoff, P. S. 1964. The American Oyster *C. virginica* Gmelin. *Fishery Bulletin of the Fish and Wildlife Service*. Volumen 64, Washington, D.C. USA 354 p.
- Gómez, E.P. y De la Lanza, E.G. 1992. *Análisis del estado de la camaricultura en México, hasta el año de 1991*. 1a. Edición. México. 48 p.
- García, A.G. 1939. La pesca del camarón en la costa del Pacífico. *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat.* I: 54-59.
- García, E. 1988. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía UNAM. (Impreso por sistemas de información geográfica 1989).
- García, C.J.L. y Cabrera J.J.A. 1990. 1. La acuicultura, definición y límites. P. 3-14. En: De la Lanza, E.G. y Arredondo, F.J.L. (Comps). *La acuicultura en México: de los conceptos a la producción*. Instituto de Biología, UNAM., México, D.F.
- García, C.J.L., Arredondo F.J.L., De la Lanza E.G. y Ponce P.J.T. (inédito). La Limnología en México. (1992). Documento mimeografiado 24 p
- García, M.E. y Falcón Z. 1974. *Nuevo Atlas Porrúa de la República Mexicana*. 2da. Edición. Porrúa S.A., México. 197 p.
- Guevara, E.S., 1993. *Los cultivos marinos a media agua, una tecnología alternativa: consideraciones técnicas y económicas*. Primer encuentro para el cultivo comercial de almeja catarina (*Argopecten circularis*). Guaymas, Sonora. 93 p.
- Gortari, E de. 1963. *El desarrollo de la ciencia indígena*. México: 89-90 p.
- Guzmán, M., Cabrera, J. and Kensler, C. 1977. Notes on *Macrobrachium* species in México. p. 207-209 In: Hanson and Goodwin. *Shrimp and Prawn farming in the western hemisphere state of the art reviews and status assessment*. Dowden, Hutchinson & Ross, Inc. E.U.A.
- Hernández-Avilés, J.S. y García-Calderón, J.L. 1990. 2. La acuicultura. Hacia el manejo integrado de los recursos. p. 15-37. De la Lanza E.G. y Arredondo, F.J.L. (comps). *La acuicultura en México: de los conceptos a la producción*. Instituto de Biología, UNAM, México.
- Hernández, L. y Marín, M. 1978. *Fertilización orgánica y alimentación suplementaria en el cultivo monosexual de Macrobrachium acanthurus (Weigmann, 1836) en piletas de*

- concreto en Boca del río, Ver.* Tesis profesional del Instituto Tecnológico del Mar, SEP, Boca del río, Veracruz.
- Hernández, M. A., Chávez y H. Bourges, 1987; Valor nutritivos de los alimentos mexicanos. *Publi. Div. Nutrición L-12*. Instituto Nacional de la Nutrición. México.
- Herrera, L.A. 1892. Nota sobre la conchas de agua dulce que podrían aprovecharse para la explotación de nácar y perlas. *Bol. Agric. Minería e Inds.* 1(8): 1-36.
- Holtschmit, K. H. 1988. *Manual técnico para el cultivo y engorda del Langostino Malayo*. FONDEPESCA. México. 132 p.
- Hudinaga, M., 1942. Reproduction, development and rearing of *Penaeus japonicus* Bate. *Jap. J. Zool.* 10:305-393.
- Imaki, A. 1987. *Introducción a la crianza de la Trucha Arco-iris*. JICA, Japón 79 p.
- INEGI. 1990. Resultados preliminares XI Censo general de Población y Vivienda, 1990. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 8-15 p.
- INEGI. 1990. Resultados preliminares XI Censo general de Población y Vivienda, 1990. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 8-15 p.
- INEGI. 1992. Estados Unidos Mexicanos Perfil Sociodemográfico XI Censo general de Población y Vivienda, 1990. Instituto Nacional de Estadística e Informática. 1-3 p.
- INEGI. 1995. Estados Unidos Mexicanos Perfil Sociodemográfico XI Censo general de Población y Vivienda, 1990. Instituto Nacional de Estadística e Informática. 1-3 p.
- INEGI. 1997. Estados Unidos Mexicanos Perfil Sociodemográfico XI Censo general de Población y Vivienda, 1990. Instituto Nacional de Estadística e Informática. 1-3 p.
- Instituto Nacional del Consumidor (INCO). 1987 Revista del Consumidor. Número 128-129. México D.F.
- Iturribarria, J. F. 1969. *La alianza Mixteco-Zapoteca*. Lecturas Históricas Mexicanas, Tomo IV. Empresas Editoriales: 447-455 p.
- Joyce, E.A., 1965. The comercial shrimps of the Northeast Coast of Florida. *Prof. Pap. Fla. Board Conserv.* (6): 1-224
- Juárez, P.J.R. 1979. *La piscicultura en la República Popular China*. Secretaría de Pesca, México, D.F. 105 p.
- Juárez, P.J.R. 1987 a. *Acuicultura 1983-1987*. Secretaría de Pesca, México. 253-261 p.
- Juárez, P.J.R. 1987 b. La acuicultura en México. Importancia social y económica. P. 219-229. *Desarrollo Pesquero Mexicano 1986-1987*. Secretaría de Pesca. Tomo III. México, D.F.
- Juárez, P.J.R. y Palomo, M.G. 1985. *Acuicultura. Bases Biológicas del cultivo de Organismos Acuáticos*. C.N.E.B. Ed. Continental, S.A. de C.V. México. 95 p.
- Juárez, P.J.R. y Palomo, M.G. 1987. La acuicultura en México: Antecedentes y desarrollo alcanzado hasta 1982. p. 37-89. En: Gómez A.S. y Arenas F.V. (Comps). *Contribuciones en Hidrobiología*. Instituto de Biología, UNAM, México, D.F.

- Klontz, W.G. 1991. Fish for the future: Concepts and Methods of Intensive Aquaculture. Text Number 5, College of Forestry, Wildlife and Range Sciences, University of Idaho. 192 p.
- Lawrence, L. A., McVey, P. J., Huner V. J. 1985. Penaeid shrimp culture. p.127-155 In: J. V. Huner and E. E. Brown (Edits), *Crustacean and Mollusk Aquaculture in the United States*. An aviBook Published by Van Nostrand Reinhold, New York, S.A.
- Lee, D.O.C. and Wickins, J.F. 1992. *Crustacean Farming*. Halsted Press and Imprint of John Wiley & Sons, Inc. New York, Toronto. 385 p
- Ley Federal de Pesca y su Reglamento. 1991. Secretaria de Pesca. México, D. F
- Ley Federal de Pesca y su Reglamento. 1992. Secretaria de Pesca. México, D. F.
- Ley del 13 de mayo de 1891. Oficina de Piscicultura. México, D.F.
- Linder, M. J. and Cook, S. 1970. Synopsis of Biological Data on White Shrimp *Penaeus setiferus* (Linnaeus) 1767. *FAO Fish. Rep.* 57(4): 1439-1469.
- Ling, S.M. 1967. Methods of rearing and culturing *Macrobrachium rosenbergii* (de Man) FAO.BCSP/67/E/31. 15 p.
- Loria, L. y Martínez, E. M. 1990. Una estrategia para el desarrollo de la acuicultura. El caso de América Latina. *COPESCAL. Documento Ocasional* No. 6: 46 p.
- Losordo, M.T., Masser, M. and Rakocy, J. 1992. Recirculation Aquaculture Tank Production Systems. *Southern Regional Aquaculture Center. SRAC. Publicación No. 451*. 6 p.
- Loosanoff, V. L. y Davis, H. C. 1963. Rearing of bivalve molluscs. p. 1-136. In: F. S. Russel (Ed.). *Advances in Marine Biology*. Vol. 1. Academic Press. London.
- Lozano, V.M.L. y Contreras B.S. 1987. Lista zoogeográfica y ecológica de la ictiofauna continental de Chiapas, México. *The Southwestern Naturalist* 32 (2). 223-236 .
- Lumare, F. 1988. *Penaeus japonicus: Biología e Allevamento*. In: *Penaeus japonicus: Biología e Sperimentazione* (Alessandra G. Coordinadora). E.S.A.V. entre Suilupo Agricolo veneto. Italy. 267 p.
- Maeda-Martínez, N.A. 1990. *Problemas y perspectivas del cultivo de moluscos en el Pacífico Mexicano*. Serie Científica, UABCS, México (número especial 1 AMAC): 7-12.
- Martínez, E. M. 1995. Development of type II rural aquaculture in Latin America. *FAO Aquaculture Newsletter* 11: 6-10.
- Mazzotti, L. y Luque, E.E. 1938. Informe General sobre las condiciones sanitarias de la industria ostionera en el estado de Sonora. *Bol. Dept. Fial. de Caza y Pesca*. 3(10): 123-151.
- Matsui, Y. y Yamashita, I. 1936. Informe de los doctores Matsui y Yamashita acerca del mismo asunto. *Bol. Depart. Forest. y de Casa y Pesca*. I(3): 166-172.
- Medina, J.A. Vera, F.R. y Sánchez, R. 1976. *La Acuicultura en la Planeación Hidráulica*. Secretaria de Recursos Hidráulicos. México 92 p.
- Meek, S.E. 1904. The fresh-water fishes of Mexico North of the isthmus of Tehuantepec. *Field Col. Mus. Chicago Zool. Ser.*, 5: 1-252.

- Meyer, F.B., Sneed, K.E., and Eschmeyer, P.T. (eds). 1973. Second Report to the Fish Farmers. *U.S. Fish and Wildl. Ser., Resource Publ.* 113. 123 pp.
- Morales, D.A. 1975. *Breve historia sobre la piscicultura mundial y nacional*. Subsecretaría de Pesca. México. 20 p.
- Morales, D.A. 1991. *La tilapia en México, biología, cultivo y pesquerías*. AGT Editores, México, D.F. 190 p.
- Morales, D.A., Castañeda C.A., De la Paz O.C., Olmedo H.S., Galván U.J.R., Montoya M.J.M., Pérez Galicia R.M. y Cabañas P.L. 1988. *Manual técnico para el cultivo de la tilapia en los centros acuícolas de la Secretaría de Pesca*. Secretaría de Pesca, México, D.F. 202 p.
- NACA. 1989. Integrated Fish Farming in China. NACA Technical Manual. A World Food Day Publication of the Network of Aquaculture Centres in Asia and the Pacific, Bangkok, Thailand. 278 p.
- New, M.B. and Singholka, S. 1982. Freshwater prawn farming. A manual for the culture of *Macrobrachium rosenbergii*. *FAO Fish. Tech. Pap.* (225): 116 p.
- New, M.B. 1988. Freshwater prawns: status of global aquaculture. *NACA Technical Manual 6. World Food Day 1988*. Publication of the Network of Aquacultural Centres in Asia, Bangkok, Thailand.
- Noriega, C.P. y Noriega, C. C. 1988. *Investigación sobre el estado de la planificación de la acuicultura en México*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Secretaría de Pesca Dirección General de Acuicultura. México. 297 p.
- Obregón, F. 1961. *Cultivo de la carpa seleccionada en México*. Secretaría de Agricultura y Ganadería, Banco nacional de Crédito Ejidal. México, D.F. Tercera edición. 85 p.
- OCDE. 1997. *Examen de las políticas agrícolas de México*. Políticas Nacionales y Comercio Agrícola, Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos. 234 p.
- Olmos, T.E.M. y Tejeda S.M. 1990. *Inventario Nacional de Unidades de producción acuícola*. Secretaría de Pesca. México, D.F. 66 p.
- Osorio, M.I. y De la Lanza E.G. 1990. El uso de biodigestores en acuicultura. p. 291-309. En: De la Lanza E.G. y Arredondo F.J.L. (Compiladores). *La Acuicultura en México: de los conceptos a la producción*. Instituto de Biología, UNAM, México, D.F.
- Osorio-Tafall, B.C. 1946. Anotaciones sobre algunos aspectos de la hidrología mexicana. *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat.* 7: 139-165
- Palomo, M.G.G. y Arriaga B.R. 1988. *Atlas de ubicación de productos agropecuarios utilizables en la Planificación y Desarrollo de la Acuicultura en México (Anexo 2)*. Secretaría de Pesca, Dirección General de Acuicultura, México. D.F. 101 p.
- Pérez-Farfante, I and Kensley, B, 1997. Penaeoid and Sergestoid shrimps and prawns of the world. Keys and diagnosis for the families and genera *Memoires du Museum d'Historie Naturelle* 175: 9-233.
- Pineda, L.R., y Utrilla, M.E. 1989. *Primer Seminario sobre Acuicultura PEMEX-UJAT*. Villahermosa, Tabasco. México, D.F. 88 p.

- Ponce, P.J.T. 1988. *Avances del semi-cultivo del langostino Macrobrachium tenellum (Smith 1871)*. p. 59-71 En: Memorias. Seminario Nacional de Cultivo y Comercialización de Langostino. Secretaría de Pesca. Acapulco, Gro.
- Ponce, P.J.T. y Fitz I. M. 1990. Estrategias para el aprovechamiento de las hidrofitas en el cultivo de la tilapia y carpa. p. 251-273. En: De la Lanza E.G. y Arredondo F.J.L. (Compiladores). *La Acuicultura en México: de los conceptos a la producción*. Instituto de Biología, UNAM, México, D.F.
- Primavera, J. H., 1984. Seed production and the prawn industry in Philippines. p. 33-35. In: *Prawn industry development in the Philippines*. SEAFDEC Aquaculture Department, Philippines.
- Pulido, G.L.A. y Olmos, T.E.M. (inédito). *Situación actual de las unidades de producción en México (avance a septiembre de 1990)*. Secretaría de Pesca, documento mimeografiado (1991).
- Pullin, R.S.V. 1983. *Choice of tilapia species for aquaculture*. p. 64-67. In: Fishelson L. And Yaron Z. (Compilers). *Proceedings of the First International Symposium on Tilapia in Aquaculture*. Tel Aviv University, Tel Aviv, Israel.
- Ramírez, G. R. y Sevilla, M. L. 1965. *Las ostras de México, datos biológicos de planeación de su cultivo*. Instituto Nacional de Investigaciones Biológicas-Pesqueras, Secretaría de Industria y Comercio, Publicación 7: 1-100 p.
- Rangel, C.D. 1988 a. *Propuesta de la acción para el desarrollo del cultivo de moluscos en la Península de Baja California*. SEPESCA. Dirección General de Acuicultura, México. 31 p.
- Rangel, C.D. 1988 b. *Perfil para la realización del estudio básico del distrito de Acuicultura San Quintín, Baja California*. SEPESCA, Dirección General de Acuicultura, México. 41 p.
- Rangel, C.D. 1990. El cultivo de moluscos marinos en México. p. 107-138. En: De la Lanza y Arredondo, F.J.L. (Comps.). *La Acuicultura en México; de los conceptos a la producción*. Instituto de Biología, UNAM. México, D.F,
- Richards, T., Green, J. and Singh, T. 1978. *Pond culture of the giant malaysian freshwater prawn, Macrobrachium rosenbergii*. Regional Conference Technology for Rural Development, Kuala, Lampur.
- Rivera, L.H. 1990. *Investigación de una tecnología de cultivo para acómara. Algansea lacustris Steindachner, 1985, del Lago de Pátzcuaro, Michoacán*. Tesis profesional de la Facultad de Biología, Universidad Veracruzana. 52 p.
- Rodríguez de la Cruz, M.C. 1988. *Manual de técnicas para la operación de granjas camarónicas*. Secretaría de Pesca, México, D.F. 85 p.
- Rodríguez, M.F. y Reprieto, G.J.F. 1984. *El cultivo del camarón Azul Penaeus stylirostris Stimpson*. CICTUS, Sonora. 126 p.
- Rodríguez, T.H., Aceves, O.L., Alonso, P.C., Tagle, B.J., Vázquez, G.A., y Vázquez, H.M. 1986. *Testimonios de los pescadores indígenas, desarrollo y perspectivas*. Secretaría de Pesca, Instituto Nacional Indigenista, México, D.F. 91 p.

- Rodríguez, N.R. (Inédito). *El panorama ostrícola en México. avances limitantes y posibilidades de desarrollo*. Dirección General de Acuicultura. Pachuca, Hgo. 31 p.
- Rojas, R.T. 1985. *La cosecha del agua en la Cuenca de México*. Cuadernos de la casa Chata No. 116. Centro de investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, Museo Nacional de Culturas Populares. 112 p.
- Rosas, C. y Sánchez A. 1987. *Acuicultura*. Enciclopedia de México. SEP.I:102-105 p.
- Rosas, M.M. 1976. *Peces dulceacuícolas que se explotan en México y datos sobre su cultivo*. Div. Publ. Unidad de Comunicación. Centro de Estudios Económicos y Sociales del Tercer Mundo, México No. 2. 135 p.
- Rothbard, S.E., Solnik S. Shabbath R. Amado and Grabie I. 1983. *The technology of mass production of hormonally sex-inversed all-male tilapias*. p. 424-434. In: Proceedings of the First International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Tel Aviv University, Tel Aviv, Israel.
- Ruiz-Campos, G. 1989. Repoblación natural trucha arco-iris (*Salmo gairdneri nelsoni*) en un transecto del arroyo San Rafael, Noroeste de la Sierra San Pedro Mártir, Baja California, México. *The Southwestern Naturalist*. 34:552-556.
- Ruiz-Campos, G. y Gómez R. 1991. Age and growth of San Pedro Martir Rainbow trout *Oncorhynchus mykiss nelsoni* Everman, from Arroyo San Rafael, Baja California, México. *Proc. Desert fishes Council*. 21:141-161.
- Ruiz-Campos, G. y Cota-Serrano, P. 1992. Ecología alimenticia de la trucha arco-iris (*Oncorhynchus mykiss nelsoni*) del Arroyo San Rafael, Sierra San Pedro Mártir, Baja California, México. *The Southwestern Naturalist*. 37:552-556
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Ed. Limusa. México. 151-158 p.
- Salvadores, B.M.L. 1989. *Propuesta para la explotación de peces del sistema lagunar Carmen-Pajonal-Machona, Tabasco, mediante la acuicultura*. p. 33-34. En: Pineda L.R. y Mandujano U.E. (Comps). Primer Seminario sobre acuicultura en el estado de Tabasco, Pemex-UJAT-Gobierno del Estado. Villahermosa, Tabasco, México.
- Sánchez, A.G. y Quevedo S.A. 1987. *Guía práctica para la fertilización de los estanques utilizados en la acuicultura*. Secretaría de Pesca, Dirección General de Acuicultura, México, D.F. 20 p.
- Sánchez, C. 1976. *Desarrollo larval de M. tenellum en el Salvador*. p. 311-314. En: Conferencia Técnica de la FAO sobre acuicultura, Kyoto, Japón.
- Sandifer, P.A., Hopkins, J.S. and Smith, T.L.L. 1975. Observations on salinity tolerance and osmoregulation in laboratory-reared *Macrobrachium rosenbergii* postlarvae (Crustacea: Caridae). *Aquaculture* 6: 103-114.
- SARH. 1976. *Atlas del agua de la República Mexicana*. Cincuentenario de la creación de la Comisión Nacional de irrigación, precursora de la Secretaría de Recursos Hidráulicos. Año del XII Congreso Internacional de grandes presas. 30 láminas
- SEMARNAP (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca). 1995. Anuario Estadístico de Pesca 1995.

- SEMARNAP (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca). 1996. Anuario Estadístico de Pesca 1996.
- SEMARNAP (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca). 1997. Anuario Estadístico de Pesca 1997.
- SEMARNAP (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca). 1998. Anuario Estadístico de Pesca 1998.
- SEPESCA (Secretaría de Pesca). 1986. Anuarios estadísticos de Pesca 1986.
- SEPESCA (Secretaría de Pesca) 1987. Anuario Estadístico de Pesca 1987.
- SEPESCA (Secretaría de Pesca) 1988. Anuario Estadístico de Pesca 1988
- SEPESCA (Secretaría de Pesca) 1989. Anuario Estadístico de Pesca 1989.
- SEPESCA (Secretaría de Pesca) 1990. Anuario Estadístico de Pesca 1990.
- SEPESCA (Secretaría de Pesca) 1991. Anuario Estadístico de Pesca 1991.
- SEPESCA (Secretaría de Pesca) 1992. Anuario Estadístico de Pesca 1992.
- SEPESCA (Secretaría de Pesca) 1993. Anuario Estadístico de Pesca 1993.
- SEPESCA (Secretaría de Pesca) 1994. Anuario Estadístico de Pesca 1994.
- SEPESCA-INI. 1986. *Testimonios de los pescadores indígenas, desarrollo y perspectivas*. Edición Conmemorativa del Día Mundial de la Alimentación. 91 p.
- SEPESCA. 1982. Información de la Dirección General de Acuicultura. México.
- SEPESCA. 1988. Información de la Dirección General de Acuicultura. México.
- Sevilla, M. L. 1958. *Datos biológicos para el cultivo del ostión de Guaymas, Son. (Crassostrea chilensis) (Philippi, 1845)*. Tesis profesional de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, México. 108 p.
- Shokita, S. 1970. A note on the development of eggs and larvae of *P. latisulcatus* Kishinouye reared in aquarium. *Biol. Mag. Okinawa*, 6: 34-36 (in Japanese with English summary).
- Sierra, C.J. 1973. *Historia de la navegación en la Ciudad de México*. Colección Popular Ciudad de México (4). Departamento del D.F. 91 p.
- Síntesis Ejecutiva del Programa Estratégico de Acuicultura 1989-1994*. Abril de 1989. Secretaría de Pesca. Pachuca, Hgo. México.
- Solis, A. de. 1973. *Historia de la conquista de México*. Ed. Porrúa. Colección "Sepan Cuantos".
- Swingle, H.S. 1961. Relationships of pH of Pond Waters to Their Suitability for Fish Culture. *Proc. Pacific Sci. Congress 9 (1957)*, Vol. 10, Fisheries. 72-75
- Tamayo, J.L. 1962. *Geografía General de México*. Tomo II. Instituto mexicano de Investigaciones Económicas, México. 648 p.
- Tamayo, J.L. 1974. *Geografía Moderna de México*. Ed. Trillas. México. 398 p.

- Tinoco, J.R. y Atanacio D.L. (inédito). *Inventario Nacional de Cuerpos de Agua*. Informe Secretaría de Pesca, Dirección General de Acuicultura Pachuca. Hidalgo, México (1988).
- Toledo, V.M. 1990. Ecología e Indianidad. *Rev. México Indígena* (13): 16-22.
- Toro, A. 1985. *Historia de México*. Tomo I. Ed. Patria. 415 p.
- Torquemada, J. de Fray. 1975. *Monarquía indiana*. Vol. 1: 405-422.
- Tórres, D.A. 1991. *Manual práctico de cultivo de camarón en Honduras*. FPX No. 1: 44 p.
- Tucker, S.C. 1998. Characterization and management of effluents from aquaculture ponds in the Southeastern United States. *Southern Regional Aquaculture Center, SRAC*. Final Project No. 600: 42 p.
- Turok, M. S.M.A., Hernández, C.E., Acevedo, G.J., Lara, C. R. y Turcott, V. 1988. *El caracol púrpura panza, una tradición milenaria en Oaxaca*. SEP. Dirección General de Culturas Populares. 164 p.
- Uchida, R.N. and King, J.E. 1962. Tank culture of tilapia. *USA Fish. Wildl. Ser. Fish. Bull.* 62:21-52.
- Vázquez, G.A. y Vázquez H.M. 1991. *La Acuicultura Prehispánica en México*. p. 83-88. En: Memoria del Primer Simposio sobre Origen, Desarrollo y Actualidad de la Agricultura y Agronomía en México. Universidad Autónoma de Chapingo, Estado de México.
- Vilchis, A.R. 1978. *La pesca en la Crónica*. Departamento de Pesca. México. 156 p.
- Villalobos-Figueroa, A., Zamora-Sánchez, M.E., Correa-López, J.J., Espinoza-Aranda, J.L. y Nieto Applebaum, M.L. 1982. *Evaluación de la disponibilidad de Macrobrachium tenellum (Smith) y determinación de sus posibilidades de semicultivo en las microrregiones PIDER, Costa Grande y Atoyac del Estado de Guerrero*. Informe Final. Delegación Estatal de Pesca, Programa PIDER. México. 121 p.
- Wedemeyer, G., and Wood, E. 1974. Stress as a predisposing factor in fish disease. *F. D. L. U.S. Fish Wild Life Service, U. S.A.* 38 p.
- Wickins, J. F. 1985. Ammonia production and oxidation during the production of marine prawns and lobster in laboratory recirculation systems. *Aquacultural Engineering* 4(3): 155-174.
- Woynarovich, E. and Horvath, L. 1981. *Propagación artificial de peces de aguas templadas: manual para extensionistas*. FAO Doc. Téc. Pesca, (201): 187 p.
- Woynarovich, E. and Woynarovich, A. 1980. Modified technology for elimination of stickness of common carp *Cyprinus carpio* eggs. *Acuaculture Hungarica* 2: 19-21.

DEDICÓ ESTE TRABAJO:

A LA MEMORIA DE MI PADRE GILBERTO LOZANO, HOMBRE DE GRAN FORTALEZA DE ESPÍRITU, QUE SUPO INCULCAR EN MÍ BASES DE JUSTICIA, TRABAJO Y AMOR.

A MI MADRE IVONNE GRACIA, QUE TODAVÍA ME SIGUE DANDO LECCIONES DE VIDA, DE BUENOS PRINCIPIOS, DE LIBERTAD Y DE AMOR.

A MIS TÍAS CARMEN Y ESTHER GRACIA, ATENTAS Y CARIÑOSAS, QUE ME BRINDAN SU APOYO EN TODOS LOS MOMENTOS DE MI VIDA.

A MIS HERMANOS EMMA Y ANTONIO LOZANO, QUE CON CARIÑO E INTELIGENCIA, SIEMPRE ME HAN AYUDADO EN MOMENTOS DIFÍCILES PARA SALIR ADELANTE Y LOGRAR MIS METAS.

A MIS QUERIDOS HIJOS ANTONIO Y CESAR, LES HAGO PARTICIPE DE ESTE LOGRO QUE NO PAGA LA GRAN COMPRENSIÓN QUE RECIBI DE ELLOS, POR EL TIEMPO QUE NOS PRIVAMOS DE NUESTRA MUTUA PRESENCIA , Y POR SUS TIERNAS Y AGRADABLES SONRISAS CON LAS QUE SIEMPRE ME RECIBÍAN Y ME IMPULSARON A SEGUIR ADELANTE ¡LOS AMO! , GRACIAS.

A MI ESPOSO Y COMPAÑERO DE VIDA, JULIO ALBERTO, POR SU APOYO, COMPRENSIÓN Y AMOR QUE SIEMPRE ME HA BRINDADO.

DEDICO MI TRABAJO:

CON TODO RESPETO Y ADMIRACIÓN AL DR. JOSÉ LUIS ARREDONDO FIGUEROA, AMIGO Y GUÍA DURANTE TODA LA REALIZACIÓN DE LA TESIS, SU APOYO Y SUS CONSEJOS FUERON INVALUABLES, ASÍ COMO SU EJEMPLO DE ESTUDIO, RESPONSABILIDAD Y SUPERACIÓN.

AGRADEZCO:

A MI COMITÉ TUTORIAL INTEGRADO POR EL DR. JUAN LUIS CIFUENTES LEMUS Y AL DR. CARLOS ROSAS VÁZQUEZ, SIEMPRE ATENTOS A LA ELABORACIÓN DE ESTE TRABAJO, APORTANDO SUS CONOCIMIENTOS Y BRINDANDO OPINIONES RELEVANTES, PRODUCTO DE SU GRAN EXPERIENCIA EN EL CAMPO DE LA BIOLOGÍA.

A MI JURADO INTEGRADO POR, LA DRA. CECILIA VANEGAS PÉREZ, DR. MANUEL URIBE ALCOCER, DR. PORFIRIO ALVAREZ TORRES Y LA DRA. ELBA BRIONES ESCOBAR, POR SUS ACERTADOS COMENTARIOS VERTIDOS EN LA REVISIÓN DE LA TESIS, LOS CUALES SE VIERON REFLEJADOS EN LA CALIDAD DE LA MISMA.