

## Biotechnología aplicada a la acuicultura

Lic. Cintia Acuña  
 INTA - CONICET

### La acuicultura: una antigua práctica

La producción de peces en estanques es una práctica antigua. Se cree que fue desarrollada por los primeros agricultores como otra herramienta para la producción primaria de alimentos. Las referencias más antiguas sobre esta práctica datan de hace aproximadamente 4.000 años, en China, y de 3500 años, en la Mesopotamia. En la China antigua, durante la dinastía de Han Oriental (25 a 250 d.C.) fue documentada la producción combinada de arroz y de peces.

La acuicultura en realidad está mucho más relacionada con la agricultura y la ganadería que con la pesca, ya que implica la cría y el manejo de los recursos acuáticos vivos en un medio ambiente restringido.

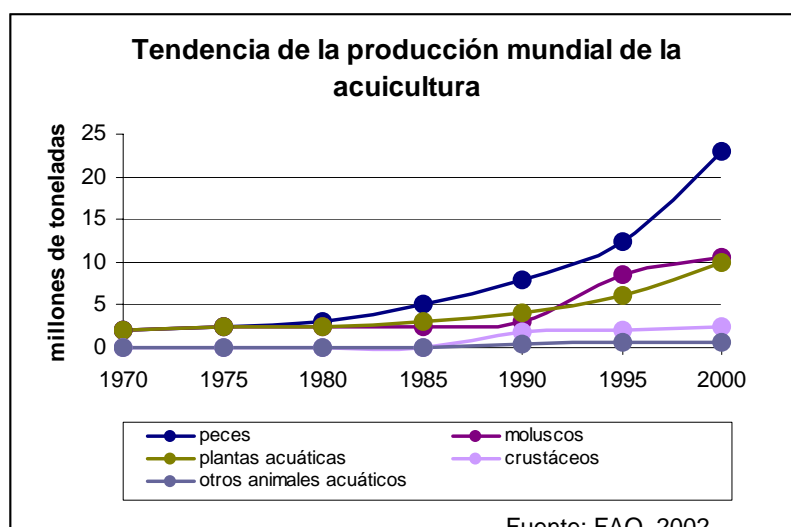
A diferencia de la pesca y de la caza, donde se colectan animales a partir de recursos de acceso común o libre, la acuicultura implica la existencia de derechos de tenencia y de propiedad de dichos recursos. La posesión de los medios de producción y los derechos de propiedad sobre la producción son tan importantes para el éxito de la acuicultura, como la tenencia de la tierra lo es para la agricultura.

En la actualidad, la acuicultura implica algo más que la cría de peces en estanques. La FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) define a la acuicultura como *la explotación de organismos acuáticos, incluyendo peces, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas*. El término "explotación" implica cierta forma de intervención en el proceso de cría con la finalidad de mejorar la producción, y presupone que las personas o asociaciones que la realizan son propietarios de la población bajo cultivo.

La acuicultura industrializada moderna es una actividad con un fuerte componente científico-técnico y se encuentra asociada a diversas disciplinas tales como la biología, la ingeniería y la economía. Las ramas de la biología más directamente implicadas en la producción acuícola son la fisiología, la etología, la genética, la ecología, la patología y la biotecnología.

### Técnicas modernas en acuicultura

En 2000, la producción total notificada de la acuicultura (incluidas plantas acuáticas) fue de 45,7 millones de toneladas. Según los informes, China produjo el 71 % del volumen total y casi el 50 % del valor total de la acuicultura. También en 2000, más de la mitad de la producción total de la acuicultura consistió en peces, y continúa hasta la fecha el aumento de la producción de los principales grupos de especies sin que se registre ningún descenso aparente (ver figura). La producción mundial de plantas acuáticas ascendió a 10,1 millones de toneladas.



Las estadísticas de la FAO del año 2000 indicaban que la producción de alimentos provenientes del medio acuático era cercana a 137 millones de toneladas, de las cuales casi el 31% provenían de actividades de cultivo. La FAO también proyectó que, para satisfacer las necesidades de la población humana del 2025, la producción total debería aumentar a 165 millones de toneladas métricas. Este aumento significativo no puede provenir de las capturas de especies silvestres sin causar serios daños a los ecosistemas marinos, lagos y ríos. En consecuencia, el aumento en la producción de alimentos de origen acuático debe necesariamente provenir de un aumento en la eficiencia en la producción de estas especies cultivadas.

Para satisfacer las necesidades futuras, es necesario expandir la capacidad productiva a un amplio rango de recursos acuáticos incluyendo algas, peces, moluscos y crustáceos. Esto sólo se puede lograr a través de amplios esfuerzos en investigación en acuicultura en el ámbito mundial, basados en un sólido conocimiento de la biología reproductiva, del crecimiento y de la genética de las especies cultivadas.

Entre las áreas de investigación en desarrollo se encuentran: la maduración de reproductores, manejo de gametas, manipulaciones cromosómicas, control del sexo, incubación y desarrollo larvario, desarrollo embrionario y metamorfosis, nutrición, crecimiento, salud, genética, bancos de genes y transgénesis (obtención de organismos genéticamente modificados).



### Inducción de maduración

La mayoría de las especies acuáticas no maduran normalmente en condiciones de cautiverio, especialmente cuando las variables ambientales que determinan el desarrollo de gónadas y la maduración de gametas están alteradas. En ciertas circunstancias es necesario acelerar o retrasar la maduración, a fin de sincronizar la producción de gametas de machos y hembras, de adelantar o desfasar el desarrollo embrionario y la producción de juveniles, o facilitar la hibridización o cruzamiento de especies distintas que difieren en sus períodos de maduración.

Para inducir la maduración sexual se utilizan varias técnicas, desde el uso de preparaciones conteniendo gonadotropinas (hormonas), hasta el uso de compuestos que estimulan la síntesis y liberación de gonadotropina propias de los peces. Las investigaciones sobre los mecanismos fisiológicos que regulan la maduración, y los métodos farmacológicos usados en condiciones artificiales, permiten desarrollar y sintetizar compuestos bioactivos análogos a hormonas de mamíferos o peces, que son efectivos en peces teleósteos. A medida que avanza el conocimiento de los aspectos endocrinológicos que regulan la reproducción de organismos acuáticos, se perfeccionarán los métodos para promover la maduración de especies en cautiverio, incluyendo peces y moluscos, y el desarrollo de estrategias reproductivas en crustáceos.

### Control del sexo

En varias especies de peces, y también en algunos crustáceos, los animales de un sexo poseen mejores características productivas que los del otro sexo. Estas características pueden incluir crecimiento más acelerado o maduración tardía. Por ejemplo, los machos de los salmónidos maduran en promedio un año antes que las hembras. Los cambios secundarios causados por la maduración reducen el valor de mercado y obligan al productor a cosechar el producto antes de que haya logrado su crecimiento potencial completo. En algunos casos, como en el cultivo de tilapias, el cultivo monosexo, preferentemente machos, permite impedir la reproducción precoz durante la fase de crecimiento. La aplicación de técnicas de control de sexo también es necesaria para el aislamiento reproductivo de organismos genéticamente modificados (OGM) o transgénicos, impidiendo así interacciones con especies silvestres.

El control del sexo en organismos acuáticos cultivados se logra usando métodos endocrinos o manipulación de cromosomas.

Los métodos endocrinos implican el uso de compuestos androgénicos o estrogénicos durante las primeras etapas de desarrollo, que permiten obtener peces de un determinado sexo, sobrepasando la determinación sexual genética (la que viene determinada por los cromosomas sexuales). En ciertas

especies es también posible usar esteroides sexuales para la inversión sexual de peces, que pueden producir gametos monosexo (carentes de cromosomas que determinan el sexo opuesto). Por ejemplo, en Chile se usan neo-machos (machos que producen espermatozoides con cromosomas que determinan la formación de hembras solamente) para la producción de poblaciones hembra en truchas y en salmón del Atlántico.

En muchos casos se emplean sondas (porciones pequeñas de ADN de simple cadena que permiten “detectar” determinados genes o segmentos de ADN) para la detección de ciertas secuencias que identifican al cromosoma Y (determinante de masculinidad). Esta técnica facilita la selección de peces según sus características sexuales genéticas (genotipo), independientemente de su sexo funcional o fenotipo.

Las técnicas de manipulación de juegos de cromosomas suelen ser usadas en combinación con métodos endocrinos. La inducción de hembras triploides (con tres juegos completos de cromosomas) permite generar individuos estériles.

Se han generado salmones y truchas triploides de sexo femenino solamente también en Chile, con el objeto de optimizar características productivas y eliminar maduración precoz que tiene lugar en los machos.

### Genética molecular y diagnóstico

Los avances de los últimos años, especialmente luego de la implementación de la técnica de PCR (Reacción en Cadena de la Polimerasa), han permitido perfeccionar los estudios en áreas de genética y reproducción, agentes patógenos y evaluación del estado sanitario de los peces. Por ejemplo, se han desarrollado técnicas que permiten la detección de salmones escapados de jaulas de cultivo, a fin de evaluar posibles impactos ambientales. Por otra parte, hay un ensayo basado en PCR con el que se estudian secuencias nucleotídicas correspondientes al cromosoma Y, y que permite la rápida detección del sexo genético en varias especies de salmónidos.

Además, los organismos acuáticos cultivados pueden ser afectados por una variedad de patógenos incluyendo virus, bacterias y parásitos. La detección temprana de estas patologías puede ser difícil mientras los síntomas de la enfermedad no son evidentes. Sin embargo, las técnicas moleculares y pruebas basadas en ADN permiten detectar las secuencias específicas de ciertos patógenos e identificar estas secuencias foráneas en el ADN de los organismos huéspedes (peces) expuestos a infección.

Las técnicas moleculares permiten también detectar la expresión de genes que codifican enzimas involucradas con la excreción de compuestos orgánicos nocivos que pueden provenir de fuentes naturales o industriales (compuestos aromáticos policlorados, PCBs, compuestos aromáticos polinucleados, PAHs, y dioxinas). De esta manera, si se comprueba la expresión de estos genes, significa que los organismos acuáticos han sido expuestos a contaminación ambiental.

### Organismos genéticamente modificados

La modificación genética de especies acuáticas puede incrementar la cantidad y la calidad de los productos de la acuicultura. Se han identificado varios genes de interés que pueden transferirse a distintas especies. Entre los genes que se han identificado figuran los que producen:

- *hormonas de crecimiento* para acelerar el crecimiento
- *proteínas anticongelantes* para incrementar la tolerancia al frío
- *lisozima* para mejorar la resistencia a las enfermedades
- *hormonas prolactinas* que influyen en la incubación, regulación osmótica, comportamiento y metabolismo general.

Algunos genes pueden crear una «pérdida de función». Por ejemplo, pueden bloquear la emisión de gonadotropina, retrasando o reduciendo así la reproducción.

Algunos estudios experimentales sobre organismos transgénicos demostraron que pueden mejorarse las tasas de crecimiento y otras características comercialmente importantes, como la resistencia a enfermedades y la tolerancia a condiciones ambientales adversas. En el mundo se están desarrollando más de una docena de peces transgénicos y otros más se hallan en las fases iniciales de desarrollo o investigación (Tabla 1). Sin embargo, aún ninguno de estos casos se encuentra en el mercado.

**Tabla 1: Algunos organismos acuáticos transgénicos en desarrollo para su uso en acuicultura**

Especie	Gen introducido*	Efectos deseados y observaciones	País
Salmón del Atlántico	PAC PAC + HC de salmón	Tolerancia al frío Mayor crecimiento y eficiencia de la alimentación	Estados Unidos, Canadá
Salmón Coho	HC de salmón real + PAC	Después de un año aumento de 10 a 30 veces del crecimiento	Canadá
Salmón real	PAC, HC de salmón	Mayor crecimiento y eficiencia de la alimentación	Nueva Zelanda
Trucha arco iris	PAC, HC de salmón	Mayor crecimiento y eficiencia de la alimentación	Estados Unidos, Canadá
Trucha <i>clarki</i>	HC de salmón real + PAC	Mayor crecimiento	Canadá
Tilapia	PAC, HC de salmón	Mayor crecimiento y eficiencia de la alimentación; herencia estable	Canadá, Reino Unido
Tilapia	HC de tilapia	Mayor crecimiento y herencia estable	Cuba
Tilapia	Gen productor de insulina de tilapia modificado	Producción de insulina humana para diabéticos	Canadá
Salmón	Gen lisosoma de trucha arco iris y gen pleurocidina de platija	Resistencia a enfermedades, todavía en desarrollo	Estados Unidos, Canadá
Lubina estriada	Genes de insectos	Resistencia a enfermedades, todavía en primeras fases de investigación	Estados Unidos
Locha de fango	HC de locha de fango + genes promotores de locha de fango y ratón	Mayor crecimiento y eficiencia en la alimentación Aumento de 2 a 30 veces en el crecimiento, transgén heredable	China, República de Corea
Coto punteado	HC	Crecimiento mejor en 33% en condiciones de cultivo	Estados Unidos
Carpa común	HC de salmón y humano	Crecimiento mejor en 150% en condiciones de cultivo, mejor resistencia a enfermedades; tolerancia a poco oxígeno	China, Estados Unidos
Carpa india	HC humano	Mayor crecimiento	India
Pez dorado	HC, PAC	Mayor crecimiento	China
Orejas de mar	HC de salmón Coho + varios promotores	Mayor crecimiento	Estados Unidos
Ostras	HC de salmón Coho + varios promotores	Mayor crecimiento	Estados Unidos

\*PAC = gen de proteína anticongelante de peces planos del Ártico, HC = gen de hormona de crecimiento.

### Salmones de crecimiento rápido

Estos salmones transgénicos que crecen dos veces más rápido que lo normal, fueron desarrollados por la compañía Aqua Bounty Technologies. Se encuentran en las últimas etapas del sistema regulatorio de Estados Unidos (FDA), que aún no aprobó ningún animal transgénico para consumo. Si es aprobado, este salmón sería el primer producto de este tipo en el mercado, y es probable que esto ocurra en 2008.

En el salmón normal, el gen que controla la producción de hormona de crecimiento se activa con la luz, de modo que el pez crece sólo durante los meses soleados del verano. Pero al agregarle a este gen una "secuencia promotora" de otra especie (*Macrozoarces americanus*, un pez típico del Atlántico Norte), el salmón produce la hormona de crecimiento durante todo el año. Este salmón genéticamente modificado no es diferente, ni en apariencia ni en sabor, al convencional, pero puede ser muy diferente para los productores, ya que la compañía estima que los productores podrían disminuir los costos un 35% por pescado, duplicando la producción. Por otro lado, la FDA le exigió a la compañía que respondiera con una enorme cantidad de información sobre el salmón transgénico: la descripción del transgén, en qué lugar del genoma del salmón está insertado, si no afecta la expresión de otros genes y si se transmite en forma estable de generación en generación. La FDA debe garantizar la bioseguridad de este pescado para los consumidores. Un desafío para la compañía fue la de alejar el temor de que si este salmón se escapa al océano podría aparearse con sus pares silvestres, afectando la población mundial de salmones silvestres. Para evitar este problema, la compañía decidió solicitar la aprobación sólo para salmones estériles o para los que sólo se crían en cautiverio. De todos modos hay estudios, como el realizado por la Universidad de Purdue, que indican que para que un pez transgénico desplace a su par no transgénico el macho debe ser más grande, para tener alguna ventaja durante la época de apareamiento. Pero estos salmones transgénicos no son más grandes que los silvestres, sino que crecen más rápido, y además son hembras.



Cuatro especímenes de salmón de la misma edad. Los tres superiores son transgénicos para la hormona de crecimiento. el cuarto es un salmón silvestre.

### Los peces transgénicos y la bioseguridad ambiental

Una consideración esencial para la transferencia de tecnologías genéticas al sector de la acuicultura es que éstas deben aplicarse de una manera inocua para el medio ambiente, protegiendo debidamente la diversidad acuática nativa.

Las cuestiones ambientales se centran en la importación y liberación en el medio ambiente de los OGM. Estos organismos pueden introducirse en el medio ambiente con una finalidad, como en programas de fomento de poblaciones, o accidentalmente, a causa de fugas de la acuicultura. Incluso en instalaciones de acuicultura limitadas existe una cierta probabilidad de que estos organismos escapen.

En muchos sectores existe la preocupación de que los OGM ejerzan un impacto perjudicial en la biodiversidad local, porque harán aumentar la capacidad predatoria o competitiva, o se mezclarán con especies afines y perturbarán la diversidad genética local. Sin embargo, los científicos afirman que estos organismos estarán muy domesticados, tendrán muy poca adaptación en el medio silvestre y, por lo tanto, no competirán con éxito con peces silvestres.

Distintas leyes, directrices y códigos de conducta internacionales reglamentan la utilización sostenible y conservación de la diversidad genética acuática. Tales instrumentos representan un paso importante para la utilización responsable de los OGM.

Existen soluciones técnicas al problema del impacto ambiental. La producción de OGM estériles reduciría su impacto en la diversidad genética nativa haciendo imposible la procreación en caso de que escapen a un entorno silvestre. La adopción de sistemas cerrados y la ubicación de las granjas en zonas sin riesgos ambientales sería otra de las formas de reducir el impacto de los OGM. Los promotores comerciales de OGM consideran que, al aumentar la eficiencia de la producción, las granjas con sistemas cerrados y situadas lejos de determinadas zonas (por ejemplo de la costa) serían rentables.

## Sostenibilidad

Durante las tres últimas décadas la acuicultura ha crecido, se ha diversificado, se ha intensificado y ha registrado adelantos tecnológicos. El potencial de estos avances para mejorar la seguridad alimentaria local, mitigar la pobreza y mejorar los medios de subsistencia rurales es ampliamente reconocido. La Declaración y Estrategia de Bangkok (Red de centros de acuicultura de Asia y el Pacífico y FAO, 2000) subraya la necesidad de que el sector acuícola continúe desarrollándose hasta alcanzar todo su potencial, y que aporte una contribución neta a la disponibilidad de alimentos mundial, la seguridad alimentaria interna, el crecimiento económico, el comercio y la mejora de los niveles de vida.

## Fuentes consultadas

- <http://www.fao.org/docrep/005/y7300s/y7300s04.htm#k> Examen mundial de la pesca y la acuicultura. FAO. 2002. Bangkok, Oficina Regional de la FAO para Asia y el Pacífico.
- <http://www.fao.org/Biotech/sector4.asp?lang=es> Artículo de FAO. Pesca: Las biotecnologías genéticas en la pesca y la acuicultura.
- <http://www.iim.csic.es/MaryPesca/Octubre2002/Pagina4.html> Artículo “Biología molecular, una herramienta para la salud de la acuicultura.”
- <http://www.iim.csic.es/biotecnologiayacuicultura.htm> Sitio sobre Biotecnología y acuicultura del Instituto de Investigaciones Marinas (IIM), perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), España.
- <http://www.eibe.info> Animales transgénicos. Iniciativa Europea para la educación en biotecnología (EIBE).
- [http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/pesca/acuicultura/Perspectivas\\_en\\_Acuicultura.pdf](http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/pesca/acuicultura/Perspectivas_en_Acuicultura.pdf) Informe de la FAO sobre acuicultura mundial, regional y local, 2004.