

1 INTRODUCCIÓN

El papel de la acuicultura en la producción de alimentos, en el desarrollo económico y en la seguridad alimentaria está bien reconocido actualmente. La acuicultura, como el sector de mayor crecimiento en producción alimentaria, promete ayudar a proveer de alimento a una creciente población humana dado que la población íctica en el mundo ha alcanzado sus límites biológicos de producción o ha sido agotada debido a la sobre pesca y a la degradación del hábitat. Menos reconocido aún, es el papel de la acuicultura en la conservación y la recuperación de especies amenazadas y en peligro de extinción. De hecho, la acuicultura ha sido vista con una amenaza a la biodiversidad acuática.

El sector acuícola ha logrado avances significativos en el aumento de la producción y en la protección ambiental. Sin embargo, el sector está siendo criticado en la actualidad por degradar el hábitat acuático por medio de la liberación de efluentes que incluyen alimentos sin consumir, productos residuales y farmacéuticos y por el escape de peces cultivados. Hay potencial para mejorar la producción, la eficiencia y la sostenibilidad ambiental del sector y una gestión efectiva de los recursos genéticos acuáticos puede ayudar a tratar todos los asuntos mencionados. Los peces mejorados genéticamente (Capítulos 4, 5 y 6) crecen más rápidos y utilizan los alimentos en forma más eficiente, lo que hace producir menos desechos. Los peces resistentes a enfermedades requieren menos tratamientos farmacéuticos. Algunos peces cultivados se los puede hacer estériles para reducir las posibilidades de reproducirse con las especies nativas o establecer poblaciones silvestres. La gestión de reserva de genitores (Capítulos 3 y 8), los programas de mejoramiento genético (Capítulos 4, 5 y 6), y el banco de genes (Capítulo 10) ayudará a mejorar la producción y la rentabilidad, así como a asistir en la protección y conservación de los recursos naturales (Capítulo 9). La evaluación de los riesgos (Capítulo 7), adhesión a las directrices internacionales (Capítulo 2) y una propuesta preventiva (Capítulo 11) ayudará a garantizar decisiones inteligentes que protejan a la sociedad y el medio ambiente, permitiendo al mismo tiempo el desarrollo del sector.

Los recursos genéticos de los peces (FiGR, por sus siglas en inglés) abarca a todos los peces de aleta y material genético de invertebrados acuáticos que tengan valor real o potencial para la pesca de captura y la acuicultura. Esto incluye ADN, genes, gametos, organismos individuales, naturales y

cultivados y poblaciones de investigación, especies y organismos que han sido modificados genéticamente (por ej. por cría selectiva, hibridación, manipulación de juegos de cromosomas y transferencia de genes). Las directrices tratan de explorar cómo pueden ser utilizados estos recursos para ayudar a la acuicultura a conocer su verdadero potencial y conservar diversidad genética natural de gran valor.

El propósito de estas directrices es el de proveer una serie de instrucciones como marco para guiar a los formuladores de política y administradores superiores de recursos hacia una gestión mejorada de los recursos genéticos de peces. A través de estas directrices, se entiende que la gestión comprende el uso y conservación. La gestión de los recursos genéticos es enfocada desde un punto de vista holístico que incluye a la economía, la conservación y análisis de los riesgos y la incertidumbre como también el aumento en la producción y rentabilidad.

1.1 Valor de la diversidad genética y la necesidad de una gestión de recursos genéticos

De las más de 230 especies de animales y plantas acuáticos cultivados que la FAO tiene estadísticas, sólo unos cuantos han sido objeto de programas de gestión de recursos genéticos. El bagre del Canal, la tilapia del Nilo, el salmón del Atlántico y varias carpas cultivadas son ejemplos que demuestran las significativas ganancias de producción que obtuvieron con los programas de mejoramiento genético. Sólo unas pocas pesquerías basadas en el cultivo, generalmente salmónidos, eligen deliberadamente las poblaciones a liberar, para que ellos puedan asemejarse o diferir completamente de los peces nativos. Un estudio realizado por un prominente genetista indicó que el déficit de suministro causado por la disminución en la producción económica de la pesca de captura y el aumento de la población humana podría ser remediado incorporando programas de mejoramiento genético a los ya existentes sistemas de acuicultura (esto es, sin requerir sistemas de cultivo adicionales ni utilización de tierra o agua).

La gestión del FiGR es necesaria no solamente para incrementar la producción. Además de ser esencial para los programas de mejoramiento genético en acuicultura, los recursos genéticos son los ingredientes

primarios que permiten a las especies a adaptarse a los cambios de corto y largo plazo, en su medio ambiente, les proporciona a las especies, poblaciones e individuos la flexibilidad para tratar con y adaptarse a los cambios en su medioambiente, cambios por causas humanas o naturales. Eso es, la diversidad genética es necesaria para la continua evolución de las especies. La diversidad genética interactúa con la variación ambiental para producir la variedad de formas, tamaños, caracteres de la historia vital, comportamiento y colores que hacen que las especies acuáticas sean tan valoradas e interesantes. Algunas de estas diferencias revelan colores diferentes de peces o diseños diversos de escamas, mientras que otras diferencias revelan modelos migratorios o comportamiento reproductivo distintos. Sin diversidad genética, no habría diversidad de especies, no habría adaptación, variedad ni evolución, eventualmente habría extinción como resultado del cambio climático y del hábitat como resultado de acciones naturales o humanas.

La carpa común tiene la historia más larga de domesticación y mejoramiento genético en la acuicultura. En años recientes, también el salmón del Atlántico cultivado, el bagre del Canal y la tilapia del Nilo han sido mejorados genéticamente. Sin embargo, con el éxito de estos programas de cría (esto es cambiando la estructura genética de un pez silvestre) y el uso inevitable de esta variedad mejorada en muchos sistemas de cría, sobreviene el problema de interacción entre la población acuícola mejorada genéticamente y sus parientes salvajes. Estos parientes salvajes son el sostén de las pesquerías viables y proveerán nuevos materiales genéticos de podrían ser útil en la acuicultura. El sector acuícola está en una situación ventajosa para minimizar la extinción de los parientes silvestres de especies cultivadas, lo que sucedió en el sector ganadero y de cultivo.

La gestión de los recursos genéticos acuáticos debe definir sus objetivos con el fin de planificar los programas para evaluar sus resultados. Estos objetivos dependerán de la finalidad de la instalaciones acuícolas: sean estos el de maximizar su producción y rendimiento, reducir los insumos, liberar peces para la pesca de cultivo o ayudar a repoblar especies amenazadas o en peligro de extinción. Cada uno de estos objetivos requerirá diferentes programas de gestión para los recursos genéticos acuáticos.

1.2 Artículos relevantes del Código

Estas directivas están organizadas más que por artículos específicos del Código, por áreas de diversos temas generales que son importantes para la gestión de recursos genéticos. Esto permitirá a los formuladores de política y planificadores de recursos orientarse rápidamente hacia un área específica de genética en la acuicultura. Dada la importancia de la gestión de los recursos genéticos para una variedad de objetivos relacionados con la acuicultura existen varios artículos del Código que un capítulo en particular pueda ayudar a implementar. Estas directrices proveen de información en los siguientes artículos del Código (se incluyen capítulos relevantes).

ARTÍCULO 2 – OBJETIVOS DEL CÓDIGO

2e facilitar y promover la cooperación técnica y financiera, así como otros tipos de cooperación, en la conservación de los recursos pesqueros (incluyendo la acuicultura) y la ordenación y el desarrollo de la pesca (Capítulos 2, 5, 6, 7, 9, 10 y 11).

2g promover la protección de los recursos acuáticos vivos y sus ambientes acuáticos así como de las áreas costeras (Capítulos 2, 5, 7, 9, 10 y 11).

ARTÍCULO 6 – PRINCIPIOS GENERALES

6.2 La ordenación de la pesca debería fomentar el mantenimiento de la calidad, la diversidad y disponibilidad de los recursos pesqueros en cantidad suficiente para las generaciones presentes y futuras, en el contexto de la seguridad alimentaria, el alivio de la pobreza, y el desarrollo sostenible. Las medidas de ordenación deberían asegurar la conservación no sólo de las especies objetivo, sino también de aquellas especies pertenecientes al mismo ecosistema o dependientes de ellas o que están asociadas con ellas (Capítulos 7, 9, 10 y 11).

6.8 Todos los hábitat críticos para la pesca en los ecosistemas marinos y de agua dulce, como las zonas húmedas, los manglares, los arrecifes, las lagunas, las zonas de cría y desove se deberían proteger y rehabilitar en la medida de lo posible y cuando sea necesario. Debería ponerse especial empeño en protegerlos de la destrucción, la degradación, la contaminación

y otros efectos significativos derivados de las actividades humanas que constituyan una amenaza para la salud y la viabilidad de los recursos pesqueros (Capítulos 9 y 10).

6.12 *Los Estados, dentro del marco de sus respectivas competencias y de conformidad con el derecho internacional, deberían cooperar a nivel subregional, regional y mundial, a través de organizaciones de ordenación pesquera, otros acuerdos internacionales u otros arreglos, con el fin de promover la conservación y ordenación y asegurar la pesca responsable y la conservación y protección eficaces de los recursos acuáticos vivos en toda su zona de distribución, teniendo en cuenta la necesidad de medidas compatibles en las áreas situadas dentro y fuera de la jurisdicción nacional (Capítulos 2, 5 y 9).*

ARTÍCULO 7 – ORDENACIÓN PESQUERA

7.2.2.d *se preserve la biodiversidad de los hábitat y ecosistemas acuáticos y se protejan las especies en peligro (Capítulos 9 y 10);*

7.4 **Recolección de datos y asesoramiento sobre ordenación (Capítulos 9 y 10)**

7.5.1 *Los Estados deberían aplicar ampliamente el criterio de precaución en la conservación, ordenación y explotación de los recursos acuáticos vivos con el fin de protegerlos y preservar el medio acuático. La falta de información científica adecuada no debería utilizarse como razón para aplazar o dejar de tomar las medidas de conservación y gestión necesarias (Capítulo 11).*

7.6.8 *La eficacia de las medidas de conservación y gestión y sus posibles interacciones debería mantenerse bajo permanente escrutinio. Cuando proceda, dichas medidas deberían revisarse o suprimirse a la luz de los nuevos datos (Capítulos 8, 9 y 11).*

ARTÍCULO 9 – DESARROLLO DE LA ACUICULTURA

9.1.2 *Los Estados deberían promover el desarrollo y la ordenación responsable de la acuicultura incluyendo una evaluación previa, disponible de los efectos del desarrollo de la acuicultura sobre la diversidad genética y la integridad del ecosistema basada en la información científica más fidedigna (todos los capítulos).*

9.1.3 *Los Estados deberían formular y actualizar regularmente planes y estrategias para el desarrollo de la acuicultura, según proceda, para asegurar que el desarrollo de la acuicultura sea ecológicamente sostenible y permitir el uso racional de los recursos compartidos por ésta y otras actividades (Capítulos 7, 8, 9 y 11).*

9.3.1 *Los Estados deberían conservar la diversidad genética y mantener la integridad de las comunidades y ecosistemas acuáticos mediante una ordenación adecuada. En particular, deberían tomarse medidas para reducir al mínimo los efectos perjudiciales de la introducción de especies no nativas o poblaciones alteradas genéticamente utilizadas en la acuicultura, incluida la pesca basada en el cultivo, especialmente en aguas donde haya posibilidades significativas de que esas especies no nativas o poblaciones alteradas genéticamente, se propaguen a aguas sometidas tanto a la jurisdicción del Estado de origen como a la de otros Estados. Los Estados deberían fomentar, cuando sea posible, la adopción de medidas destinadas a reducir al mínimo los efectos negativos genéticos que los peces cultivados que se escapan pueden producir en las poblaciones silvestres: genéticos, enfermedades, etc. (Capítulos 2, 5, 8, 9 y 10).*

9.3.3 *Los Estados, con el fin de reducir al mínimo los riesgos de transmisión de enfermedades y otros efectos negativos para las poblaciones silvestres y cultivadas, deberían alentar la adopción de prácticas adecuadas en el mejoramiento genético de los reproductores, la introducción de especies no nativas y la producción, venta y transporte de huevos, larvas o crías, reproductores u otros materiales vivos. Los Estados deberían facilitar la preparación y aplicación de los códigos nacionales de prácticas y procedimientos apropiados a tal efecto (Capítulos 3, 4, 5, 8 y 9).*

9.3.5 *Los Estados, cuando proceda, deberían promover la investigación y, cuando sea viable, el desarrollo de técnicas de cultivo adecuadas para las especies en peligro a fin de proteger, rehabilitar y aumentar sus poblaciones, teniendo en cuenta la imperiosa necesidad de conservar la diversidad genética de las especies en peligro (Capítulos 3 y 9).*

2 MARCO INTERNACIONAL

El Código de Conducta para la Pesca Responsable y la comunidad internacional han reconocido el papel fundamental que los recursos genéticos, incluyendo los recursos genéticos de peces, juega en el desarrollo sostenible y la conservación. Y como resultado, se han desarrollado mecanismos internacionales, directrices y códigos de prácticas. El Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB)¹ surgió de la Cumbre de la Tierra en 1992 y cuenta con más signatarios que cualquier otra legislación internacional. Es un instrumento jurídicamente vinculante que requiere la conservación y el uso sostenible de la diversidad biológica (incluyendo la diversidad genética) y la repartición justa y equitativa de los beneficios derivados de ese uso. En reconocimiento de contar con los conocimientos científicos y tecnológicos necesarios, el CDB estableció un Órgano Subsidiario de Asesoramiento Científico, Técnico y Tecnológico (SBSTTA) a fin de implementar los artículos de la convención. Posteriormente, el CDB estableció el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica² una serie de protocolos internacionales obligatorios dentro del movimiento internacional de organismos vivos modificados, que incluirá a los organismos modificados genéticamente (OMG) (es decir, organismos transgénicos). Al igual que el Código, el CDB reconoce la necesidad de utilizar y conservar la biodiversidad.

La propuesta preventiva de desarrollo es un atributo esencial del CDB y del Código. A pesar de haberse puesto de acuerdo en actuar con cautela y utilizar la mejor información disponible, existen diversas opiniones acerca del verdadero significado de ese enfoque en la práctica, esto constituye la base del Capítulo 11.

La Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora (CITES) es otro instrumento importante que tiene efectos sobre la gestión de los recursos genéticos de peces. CITES limita el comercio internacional de especies amenazadas en su hábitat silvestre — el grado de amenaza o peligro indica cómo de restrictivo será

¹ www.biodiv.org

² <http://www.cbd.int/biosafety/default.shtml>. Desde agosto de 2008, no se produjo ningún organismo modificado genéticamente para el consumo humano.

el comercio. Algunas especies acuáticas salvajes que están amenazadas en su medio silvestre son también cultivadas, por ej. los esturiones (*Acipenseriformes*) y la arauana o pez dragón (*Scleropages formosus*). El comercio internacional de estas especies debe asegurar que las especies que están siendo comercializadas provengan de granjas autorizadas y no de su hábitat natural, y que el comercio de las especies cultivadas no creen un mercado para las especies silvestres en peligro. Se han utilizado marcadores genéticos e identificación genética de la población para ayudar a diferenciar especies y stock de especies salvajes y cultivadas.

La Convención de Ramsar sobre los humedales recomienda a los países identificar y proteger los humedales, incluyendo las áreas costeras e intermareales que son de interés nacional. El criterio principal fue el papel que juega los humedales en la manutención de la biodiversidad silvestre, principalmente de aves acuáticas. Sin embargo, la Convención expandió el criterio de incluir el uso histórico de humedales como recurso pesquero³ y ahora permite la acuicultura de especies nativas como una actividad aceptable de Ramsar. Sin embargo, el cultivo de especies nativas podría llevar a su eventual domesticación y alteración genética por medio de la selección natural para fomentar los programas sobre el mejoramiento de cría y el medioambiente.

La FAO y otras organizaciones han desarrollado directrices más específicas y otras que se aplican indirectamente a la gestión de los recursos genéticos de peces (FiGR). Se han desarrollado las Directrices Técnicas de la Acuicultura para asuntos generales relacionados con los recursos genéticos de peces (FiGR)⁴. La FAO, el Centro Mundial de Pesca y otros socios adoptaron la Declaración de Nairobi (Anexo 1) donde emitieron recomendaciones para la importación a África de la tilapia mejorada genéticamente. Estas resoluciones no obligatorias sirven de marco en la utilización responsable de los peces mejorados genéticamente en la acuicultura.

La preocupación sobre la salud de los peces juega un papel importante en el comercio y movimiento de especies acuáticas. La diseminación de las

³ http://www.ramsar.org/res/key_res_vi.2.htm

⁴ FAO. 1999. Desarrollo de la acuicultura. FAO Orientaciones Técnicas para la Pesca Responsable. No. 5. Roma, FAO. 54p.

poblaciones mejoradas genéticamente (Capítulo 5) requiere la adhesión de la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE) con respecto a los patógenos transfronterizos. Se establecieron⁵ directrices técnicas que son consecuentes con los requerimientos de la OIE y la Organización Mundial del Comercio (OMC).

Recientemente, la FAO ha logrado avances con respecto a los recursos genéticos acuáticos. La falta de una gestión coherente en los recursos genéticos de peces y de políticas ha causado problemas durante la rápida expansión de la acuicultura en años recientes. Los Estados Miembros de la FAO y la comunidad internacional han hecho un llamado hacia la transición de una acuicultura más responsable, sostenible y productiva. Su éxito dependerá en gran medida de una gestión efectiva de los recursos genéticos de peces.

En su 11^a sesión, la Comisión Intergubernamental de Recursos Genéticos para la Agricultura y la Alimentación de la FAO reconoció la importancia y la vulnerabilidad de los recursos genéticos acuáticos, así como su contribución en lograr un enfoque ecosistémico hacia la alimentación y la agricultura, y afrontar los desafíos presentados por el cambio climático. Se acordó que su Programa de Trabajo de Múltiples Años, de 10 años debería abarcar los recursos genéticos acuáticos para el desarrollo sostenible y una pesquería y acuicultura responsable en cooperación con otros foros y organizaciones, como el Comité de Pesca (COFI) o la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (UNCLOS).⁶

⁵ FAO. 2007. Aquaculture development. 2. Health management for responsible movement of live aquatic animals. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. No. 5. Suppl. 2. Rome, FAO. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1108e/a1108e00.pdf>

⁶ FAO/CGRFA. 2007. Reporte de la undécima reunión ordinaria de la Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura. CGRFA-11/07/REPORT. <ftp://ftp.fao.org/ag/cgrfa/cgrfa11/r11reps.pdf>

Cuadro 1. Terminología

La terminología utilizada para describir organismos que son genéticamente diferentes a los tipos silvestres es de suma importancia porque tiene implicaciones legales y de política en la aceptación pública del producto y del proceso. Por lo tanto, los peces cultivados alterados genéticamente por humanos deben ser descriptos clara y precisamente. Desafortunadamente, una variedad de términos han sido utilizados para describir al pez alterado genéticamente. La usanza no está estandarizada y puede llevar al consumidor a confusiones y problemas regulatorios, como cuando se aplica a licencias de cultivo o permisos de comercio. Acuicultores y autoridades de reglamentación de los gobiernos deben ser conscientes de estas implicaciones.

El pescado producido en la acuicultura tiene el potencial de volverse genéticamente diferente a sus ancestros silvestres por medio de la selección en criaderos y granjas (Capítulos 3 y 9) y por programas de mejoramiento genéticos (Capítulo 4). En acuicultura, los piscicultores buscan cultivar el mejor pez y el más rentable que puedan disponer y proyectar en los consumidores una imagen de que el producto es saludable y natural; los consumidores buscan cada vez más estas cualidades en sus alimentos. Esta interfase se controla a través del etiquetado y la comercialización. Las directrices en este libro sólo trata los asuntos del etiquetado de consumo de una manera muy general (Capítulo 12). Sin embargo, para los gobiernos que supervisan la comercialización de peces cultivados es crucial el entender las tecnologías genéticas que se utilizan y los cambios que esas tecnologías confieren a los organismos cultivados.

Un término general para referirse los cambios inducidos por el hombre a un organismo es el de *alterado genéticamente*. Este término debería utilizarse como una declaración neutral de hecho, sin juzgar si la alteración es buena o mala o es producto del uso de biotecnología moderna o métodos tradicionales o si la modificación es deliberada o accidental. Debería ser un término muy general, que refleje la posibilidad que un organismo alterado genéticamente podría tener efectos sobre la población o el medioambiente independientemente de como fue alterado (Capítulo 7).

Es importante utilizar correctamente los siguientes términos ya que están asociados con la percepción del consumidor y la supervisión de los gobiernos. En los glosarios de la FAO se pueden encontrar términos adicionales.¹

Organismos modificados genéticamente (OMG): Un organismo en el que el material genético ha sido alterado por humanos a través de ingeniería genética o celular. Un pez modificado genéticamente es generalmente un pez transgénico (es decir, un pez insertado con el gen de otro organismo que por procesos naturales no sería posible). Actualmente no existen peces modificados genéticamente al alcance del consumidor. En la actualidad existen varias restricciones en el movimiento internacional de los OMG. Esta clase de organismos son regulados por el Protocolo de Cartagena del CDB². Además, hoy en día varios grupos de consumidores están en contra del uso de OMG, incluyendo a los peces *modificados genéticamente*. De este modo, un piscicultor que desee importar un pez *mejorado* genéticamente a través de cría selectiva, no debería utilizar el término *modificado genéticamente* sino, utilizar *mejorado genéticamente por medio de cría selectiva* (o *por medio de cría tradicional*).

Híbrido: Descendencia del apareamiento entre progenitores de diferentes especies o variedades. La cría del apareamiento entre progenitores de la misma especie son **híbridos intraespecíficos**, mientras que la descendencia del apareamiento entre progenitores de diferentes especies son **híbridos interespecíficos**. La distinción es importante porque algunos lugares cuentan con leyes en contra del apareamiento entre diferentes especies o de la importación de híbridos interespecíficos, mientras que el apareamiento o importación de las mismas especies no están regulados.

Organismos Vivos Modificados (OVM): «Un organismo vivo modificado es cualquier organismo que tenga una nueva combinación de material genético, producida a través de métodos biotecnológicos

¹ <http://www.fao.org/fi/glossary/default.asp> y http://www.fao.org/biotech/index_glossary.asp

² <http://www.cbd.int/biosafety/default.shtml>

modernos». Es sinónimo de OMG utilizado fundamentalmente por el Convenio de Diversidad Biológica.

Poliploides: Las plantas o animales que cuentan con dos juegos de cromosomas (llamadas diploides y son designadas como 2N). Los organismos que cuentan con 3 juegos son llamados triploides (3N), aquellos con 4 juegos tetraploides (4N). La distinción es importante porque los diploides y los tetraploides son generalmente fértiles mientras que los triploides son generalmente estériles. Es posible aparear tetraploides con diploides y obtener triploides.

Cría tradicional: Se refiere a los programas de cría selectiva que no utilizan tecnologías de manipulación de genes (Capítulo 4). La cría tradicional ha venido practicándose y redefinida durante mucho tiempo en la agricultura terrestre.

Un grupo internacional de expertos indicó que es más importante entender cuáles fueron los cambios reales causados por la alteración genética en los peces cultivados, en vez de qué técnicas se utilizaron para producir esos cambios³. Eso significa que, el abordar preguntas como, el pez consume más alimento o tiene mayor rendimiento de conversión, tiene mayor tolerancia ambiental, es fértil, es más nutritivo, puede convertirse en invasivo, o produce nuevas sustancias que aquel sin alterar no puede producir, es más importante en la evaluación de los riesgos (Capítulo 7) que cuál fue la tecnología utilizada para crear el organismo. Las políticas actuales, las prácticas de cultivo y la percepción pública no reconocen necesariamente este factor, se recomendó más información descriptiva para describir los cambios actuales realizados a un organismo como resultado de la tecnología genética.

³ Pág. 253, en Pullin, R.S.V., Bartley, D.M., Kooiman, J. (eds). 1999. Towards Policies for Conservation and Sustainable Use of Aquatic Genetic Resources. ICLARM Actas de la Conferencia No. 59. Manila, Filipinas. « ... *en la formulación de políticas de seguridad biológica y regulación de organismos vivos modificados, las características de los organismos y los ambientes potencialmente accesibles son consideraciones mas importantes que los procesos utilizados para producir aquellos organismos.*»

3 GESTIÓN DE RESERVA DE GENITORES: ENDOGAMIA, DERIVA GENÉTICA Y DOMESTICACIÓN ⁷

3.1 Introducción

La acuicultura no es sólo un sector crítico dentro de la producción de alimento, sino que también es un componente necesario de la pesquería recreacional y comercial y una herramienta de gestión necesaria en los programas de conservación. Como es el caso en todos los tipos de explotación ganadera, en la acuicultura los humanos deben intervenir y dirigir el ciclo de vida de una especie. En el momento que esto ocurre, se producen normalmente cambios irreversibles en la población de los reservorios de genes. Estos cambios pueden ser deseados, lo que ocurre cuando los programas de cría selectiva son llevados a cabo para mejorar el crecimiento (Capítulo 4) o cuando la domesticación produce peces que se adaptan mejor al ambiente de los criaderos. Desafortunadamente, también se producen cambios no deseados y dañinos en el genoma a través de la deriva genética y endogamia (sección 3.3), lo que disminuye la viabilidad y el crecimiento y hace aumentar la inestabilidad de desarrollo. Mientras que la domesticación es beneficiosa en el cultivo de peces comestibles, es dañino para los peces que se conservan en su hábitat natural, porque el pez que está bien adaptado en un criadero podría no adaptarse en el hábitat silvestre (Capítulo 8). En este capítulo, la gestión de la reserva de genitores abarca el control de la endogamia, la deriva genética y la domesticación.

3.2 Endogamia

La endogamia es el apareamiento entre parientes. Es uno de los tres programas tradicionales de cría y ha sido utilizado para desarrollar nuevas razas y puede ser utilizada en combinación con el cruzamiento para producir individuos destacados y uniformes (Capítulo 4). Una endogamia coordinada y planeada puede resultar beneficiosa, mientras que una endogamia involuntaria e improvisada puede causar problemas.

Genéticamente, la endogamia aumenta la homocigosis en los descendientes (esto es, similitud genética) lo que significa que también disminuye la heterocigosis (es decir, la diversidad genética). La

⁷ Contribución de Douglas Tave.

homocigosis se produce también cuando aparean especies sin parentesco y, genéticamente, las dos formas de homocigosis son idénticas. Por más que las dos formas de homocigosis son idénticas, se hace una distinción debido al modo en que la homocigosis es producida y a sus consecuencias.

Las especies aparentadas son genéticamente parecidas que las no aparentadas. Como consecuencia, cuando especies aparentadas aparean producen descendientes que son más homocigosis que si aparean con especies no aparentadas; cuanto más cercana sea la relación entre las parejas, los descendientes serán más homocigosis.

Esto es preocupante porque todos los animales contienen un pequeño número de alelos recesivos dañinos o mortíferos⁸. En la mayoría de los casos, no afecta al individuo y éste sobrevive porque tiene sólo una copia del alelo dañino, heredado de uno de sus progenitores (heterocigosis); se necesitan dos copias del alelo (uno de cada progenitor) para producir el efecto dañino o letal. Porque los parientes se asemejan más entre sí que aquellos que no lo son, tienden a compartir los mismos alelos recesivos letales. Dos especies sin parentesco sólo comparten uno o dos en común, mientras que los parientes tienen más en común, cuanto más cercano es el parentesco, es mucho más lo que comparten. El apareamiento entre parientes y la aparición posterior de estos alelos recesivos letales en sus crías hace producir la depresión endogámica —tasa de crecimiento más baja, viabilidad, fecundidad y un aumento en el número de anomalías. Varios estudios han demostrado que un pez endogámico presenta estos signos clásicos de depresión endogámica⁹ como también una mayor tasa de rendimiento cuando son mantenidos en su hábitat silvestre¹⁰.

Por lo general, los efectos negativos de la endogamia no ocurren inmediatamente. La depresión endogámica es a menudo retrasada (esto

⁸ Un alelo es una forma alterna de un gen.

⁹ e.g. Kincaid, H.L. 1976. Effects of inbreeding on rainbow trout populations. Transactions of the American Fisheries Society, 105:273-280; Kincaid, H.L. 1976. Inbreeding in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 33:2420-2426; Su, G.-S.; Liljedahl, L.-E, Gall, G.A.E., 1996. Effects of inbreeding on growth and reproduction traits in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture, 142:139-148.

¹⁰ Ryman, N. 1970. A genetic analysis of recapture frequencies of released young salmon (*Salmo salar*) L. Hereditas, 5:159-160.

es, podría no ocurrir hasta después de varias generaciones luego de haber comenzado la endogamia). Cómo de rápido ocurre la depresión endogámica depende de la cantidad de endogamia que se ha producido y de la característica.

Esto puede dar una idea errónea al cultivador, que la endogamia es la causa principal de muchos de sus problemas de producción y cuando observan un individuo deformado o que el rendimiento ha declinado, llegan a la conclusión errónea que la endogamia tuvo lugar y que el stock con el que cuentan ya no son de buena calidad. Las deformidades y la disminución en el rendimiento se deben a menudo a factores no genéticos como errores de desarrollo, toxinas, deficiencias nutricionales y puede o no deberse a la endogamia.

Porque la endogamia es el apareamiento entre parientes sería más fácil prevenirla si cuentan con marcadores únicos o minimizarla previniendo el apareamiento de progenitores-descendientes, entre hermanos y medio hermanos. Si el apareamiento más cercano que se permite es entre primos segundos, la endogamia nunca será un problema.

Cuando se dirige un programa de cría selectiva, la endogamia es inevitable, porque cuando se permite que sólo los mejores se reproduzcan, a menudo se aparean a parientes. Es importante minimizar la endogamia durante un programa de cría selectiva, porque no se querrá utilizar la ganancia genética producida por la vía de selección simplemente para contrarrestar la depresión endogámica. Para prevenir esto, se han diseñado varios programas de cría con el fin de minimizar la endogamia durante el programa de cría selectiva¹¹. Mientras que es importante prevenir el apareamiento sistemático de parientes cercanos en dichos programas, apareamientos fortuitos (aleatorios) de parientes cercanos (por ej. apareamiento entre

¹¹ Dupont-Nivet, M.; Vandeputte, M.; Haffray, P.; Chevassus, B. 2006. Effect of different mating designs on inbreeding, genetic variance and response to selection when applying individual selection in fish breeding programs. *Aquaculture*, 252:161-170; Gallardo, J.A.; Lhorente, J.P.; García, X., Neira, R. 2004. Effects of nonrandom mating schemes to delay the inbreeding accumulation in cultured populations of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 61:547-553; Gjerde, B., GjØen, H.M., Villanueva, B. 1996. Optimum designs for fish breeding programmes with constrained inbreeding. Mass selection for a normally distributed trait. *Livestock Production Science*, 47:59-72; Tave, D. 1999. Inbreeding and brood stock management. *Fisheries Technical Paper*. No. 392. Rome, FAO. 122p.

hermanos) en los programas de cría a gran escala no presenta un gran problema como lo es en las poblaciones pequeñas, porque es probable que la descendencia obtenida de estos apareamientos, aparezcan con sus pares no consanguíneos en las próximas generaciones, lo que producirá peces sin endogamia¹².

Mientras que en el ganado las marcas individuales facilitan la prevención del apareamiento entre parientes, es más bien difícil entre los peces. Por esa razón, los acuicultores deben manejar a la población como un todo para evitar la acumulación de la endogamia. Para llegar a eso, los acuicultores deben manejar el número efectivo de cría (N_e).¹³

Una manera de determinar el N_e es por el número de machos y el número de hembras que se reproducen y dejan descendientes viables:

$$N_e = \frac{4(\text{número de hembras})(\text{número de machos})}{(\text{número de hembras})+(\text{número de machos})}$$

De este modo, el N_e se determina por el número de machos que deja descendientes viables, el número de hembras que dejan descendientes viables y por la proporción de sexo de los reproductores. Esto significa que el N_e se maximiza aumentando el número de machos y hembras que son desovados y trayendo la proporción de sexo tan cerca de 1:1 como sea posible. La proporción de sexo asimétrica, que se utiliza a menudo en acuicultura, hace al N_e mucho más pequeño que el número de reproductores que son desovados. El N_e está fuertemente influenciado por el sexo menos representado (por ej. cuando se utilizan menos machos, el N_e se aproxima más al número de machos que al total).

La razón por la cual los acuicultores y biólogos pesqueros necesitan manejar el N_e es porque está inversamente relacionado a la endogamia:

$$F = 1/2N_e$$

¹² Dupont-Nivet, M.; Vandeputte, M. 2005. Does avoiding full sibs matings preserves genetic variability in a selection scheme? Case of single pair matings. *Aquaculture*, 247:12.

¹³ Hallerman, E. 2003a. Inbreeding. Pages 215-237 in E.M. Hallerman, ed. *Population genetics: Principles and Applications for Fisheries Scientists*. Bethesda, MD, American Fisheries Society; Tave, D. 1993. *Genetics for Fish Hatchery Managers*, 2nd ed. New York, Van Nostrand Reinhold; ver nota a pie 14.

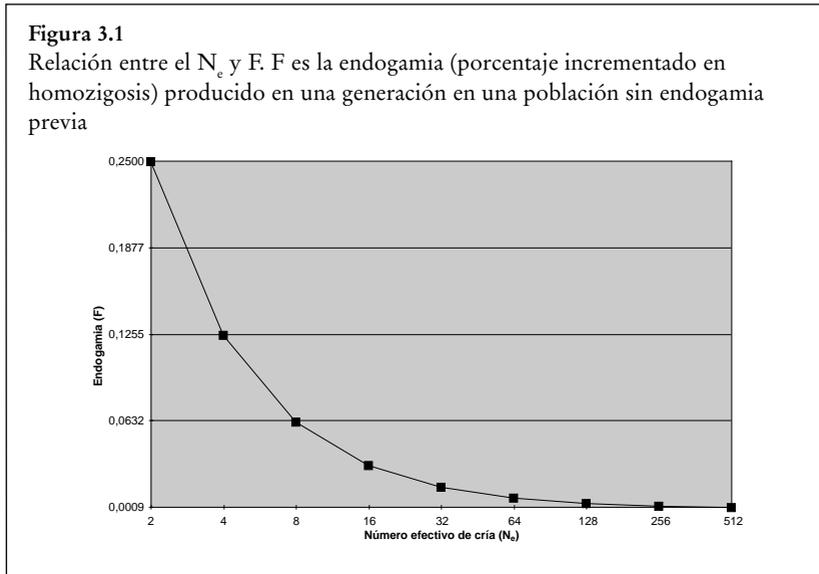
donde la F es la cantidad de endogamia producida (0-100%) en una sola generación, F es el porcentaje que aumenta en la homocigosis. Esta fórmula demuestra que a medida que el N_e disminuye, F aumenta (Figura 3.1); N_e s <50 produce grandes cantidades de endogamia por generación.

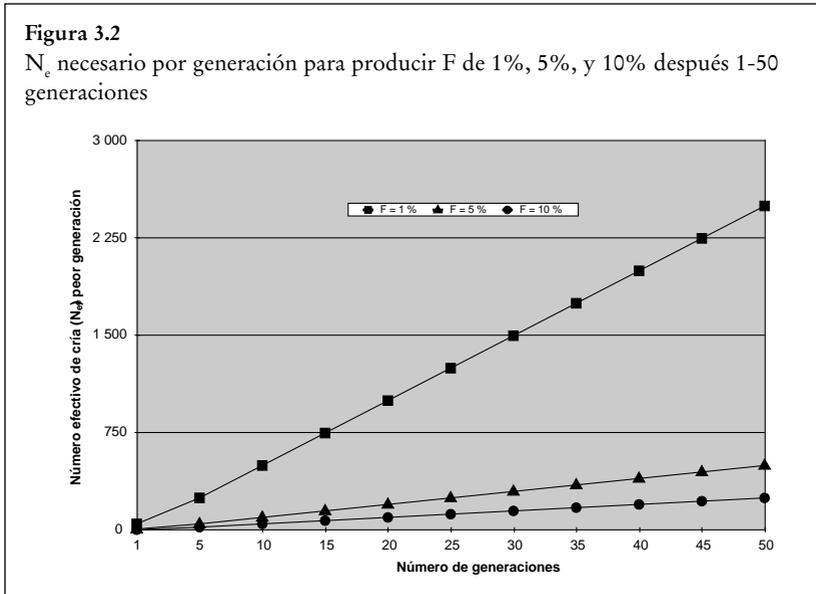
En una población cerrada, una vez que la endogamia ha tenido lugar, hace bajar el N_e de la próxima generación:

$$N_{ef} = N_e / 1 + F$$

donde N_{ef} es el número de cría efectivo en una población cerrada con $F >0\%$. Por motivos prácticos, el total F que es producido luego de una serie de generaciones, puede ser calculado sumando el F que es producido en cada generación, sin considerar las endogamias previas.

Cómo de grande debería ser el N_e para minimizar la endogamia? Desafortunadamente, no existe un valor universal de F que los acuicultores o los biólogos pesqueros quieran eludir, lo cual significa que existe un N_e universal. Ha sido recomendado los N_e 's que oscilan entre 30-500, siendo





50 el más común¹⁴. Para calcular un N_e deseado, se debe determinar qué nivel de riesgo genético se considera aceptable; en este caso, es la cantidad máxima de endogamia que se desea después de un cierto número de generaciones¹⁵. Además, la cuestión de la endogamia, ya sea si N_e necesita ser controlado y cómo de grande debe ser el N_e depende del propósito/meta del criadero o piscifactoría, si los peces son desovados, y cómo será administrada la reserva de genitores.

La figura 3.2 muestra los constantes N_e 's que son necesarios para producir F de 1%, 5%, y 10% para 1-50 generaciones. La recomendación corriente de $N_e = 50$ es efectiva para minimizar la endogamia en una sola generación (F = 1%), pero realiza un trabajo marginal luego de 10 generaciones (F = 10%).

Los piscicultores que adquieren reproductores en un centro de cría (Capítulo 5), desovan al pez de una vez y luego adquieren nuevos

¹⁴ Ver notas a pie 11 y 13.

¹⁵ Ver notas a pie 11 y 13.

reproductores, y los que simplemente adquieren alevines mejorados genéticamente de criaderos «de multiplicación» en cada época del crecimiento con el fin de criarlos (Capítulo 6) no tienen que preocuparse por la endogamia ni por el manejo de N_e . Los centros de cría o criaderos multiplicadores deben manejar sus poblaciones para minimizar la endogamia pero, como ya se mencionó, estos acuicultores no deben preocuparse por la endogamia.

Puede resultar difícil para los acuicultores de subsistencia y de menor escala que mantienen y desovan su propia reserva de genitores controlar la endogamia pero deberían ser alentados a que traten ya que mejorando sus habilidades ganaderas obtendrán una mayor productividad. Si ellos mantienen un constante $N_e = 50$ por 5 generaciones, podrán mantener $F \leq 5\%$. Es una buena recomendación para lograr una buena gestión a corto plazo (5 generaciones) y no es exagerada, por lo que muchos acuicultores de menor escala deberían incorporarla a sus planes anuales de trabajo.

Los grandes acuicultores comerciales y aquellos que producen alevines o conducen programas de cría selectiva deberían tratar y mantener $F = 5-10\%$, con $F = 5\%$ como meta deseada para 10-20 generaciones, y así, la selección y la domesticación no se utilizaran simplemente para contrarrestar la depresión endogámica. Aquellos que crían peces para la pesquería o programas de conservación deberían tratar de mantener $F = 1-5\%$, con $F = 1\%$ como meta para un mínimo de 20 generaciones, dado que el esfuerzo principal en las gestiones de estas empresas es el de prevenir cambios en el reservorio de genes por un largo periodo de tiempo.

Un concepto crítico en la Figura 3.2 es que los N_e 's son constantes N_e 's. El N_e puede ser más grande que el número deseado pero si es más pequeño por sólo una generación, no se alcanzará la meta de la endogamia. Esto es porque el promedio N_e luego de varias generaciones no es un promedio aritmético, sino uno promedio armónico:

$$N_{e_{\text{promedio}}} = 1/t(1/N_{e1} + 1/N_{e2} + \dots 1/N_{et})$$

Esta fórmula demuestra que la generación con el N_e más pequeño tiene un impacto desproporcional sobre el promedio N_e .

Existe un gran número de técnicas que pueden ser utilizadas para incrementar el N_e . La manera más obvia para aumentar el N_e es el de aumentar el número de peces que son desovados y producir descendientes viables y realizar el desove a un ratio sexual de 1:1. Una forma de aumentar el número de reproductores que son desovados para satisfacer las cuota de producción es el de mantener sólo una pequeña parte de cada familia. Estas ideas simples son contrarias a la gestión estándar del cultivo de peces, los acuiculturistas tienden a desovar la menor cantidad de peces posible debido a la fertilidad del pez, y utilizan a menudo una proporción asimétrica de sexos porque esto les permite mantener menos reproductores.

Una segunda técnica es el de reemplazar el apareamiento al tuntún (práctica normal en la mayoría de los criaderos) por el apareamiento genealógico¹⁶. En el apareamiento genealógico, cada hembra deja un descendiente hembra y cada macho deja un macho como reproductor de la próxima generación (puede ser más de uno siempre y cuando todos dejen el mismo número). El apareamiento genealógico aumenta dramáticamente el N_e y cuando la proporción de sexo es 1:1, el N_e duplica el número que ha desovado. Para lograr esto, sin embargo, cada familia debe crecer en unidades de cultivo separadas hasta que el pez pueda ser marcado para asegurar así que cada progenitor deje un descendiente del sexo correcto.

Una tercera técnica es la de igualar el número de descendientes de cada apareamiento, porque el éxito reproductivo desigual rebaja el N_e ¹⁷. Sin embargo, para lograr esto, cada familia debe criarse en una unidad de cultivo separada hasta igualar el tamaño familiar.

Una cuarta técnica es la de modificar las prácticas de ordenamiento¹⁸. Si los peces son ordenados, la lechaza no debe ser juntada o agregada de

¹⁶ Tave, D. 1984. Effective breeding efficiency: An index to quantify the effects that different breeding programs and sex ratios have on inbreeding and genetic drift. *Progressive Fish-Culturist*, 46:262-268.

¹⁷ Fiumera, A.C.; Porter, B.A.; Looney, G.; Asmussen, M.A.; Avise, J.C. 2004. Maximizing offspring production while maintaining genetic diversity in supplemental breeding programs of highly fecund managed species. *Conservation Biology*, 18:94-101.

¹⁸ Withler, R.E. 1988. Genetic consequences of fertilizing Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) eggs with pooled milt. *Aquaculture*, 68:15-25; Withler, R.E. 1990. Genetic consequences of salmonid egg fertilization techniques. *Aquaculture*, 85:326.

una manera secuencial. Estas prácticas causan competición gamética y un macho puede fertilizar la mayoría de los huevos, produciendo un N_e mucho más pequeño de lo esperado.

Una quinta técnica es el de alargar las generaciones. Los N_e 's deseados de la Figura 3.2 son dados por generaciones, no años. Una generación es el tiempo de intervalo para reemplazar los progenitores con sus descendientes. Si la meta es mantener a la endogamia por debajo del valor dado para 20 años y el procedimiento normal es el de usar un intervalo de generación de 2 años, 10 generaciones serán producidas durante un plazo de 20 años. Pero si el intervalo generacional puede alargarse a 3 años, solo se producirán 7 generaciones durante los 20 años, lo que significa que podría ser utilizado un N_e más pequeño para alcanzar la meta deseada.

Sexto, cambiar la población, de una población cerrada a una abierta. En la discusión presentada más arriba se asumió que la población es cerrada. Si se importan 10-25 por ciento nuevos reproductores en cada generación, la cantidad de endogamia producida podría ser reducida drásticamente¹⁹. En la gestión de conservación y en la pesquería un modo de es capturar y desovar reproductores silvestres o recoger huevos silvestres desovados y cultivarlos. Se debe tener cuidado si los reproductores son recogidos para evitar agotar la reserva de genitores (esto es, reduciendo el número de peces que van a desovar naturalmente en su hábitat silvestre hasta alcanzar un nivel peligroso).

Séptimo, un piscicultor puede mantener dos poblaciones no relacionadas entre si y producir híbridos. Los híbridos tienen una endogamia cero y la hibridación es a menudo utilizada en los programas de cría de plantas y animales para eliminar o para contrarrestar los la endogamia. Si se mantienen líneas múltiples no relacionadas, los programas de cría de animales pueden ser utilizados para prevenir la endogamia en unas cuantas generaciones²⁰.

¹⁹ Bartley, D.M.; Kent, D.B.; Drawbridge, M.A. 1995. Conservation of genetic diversity in a white seabass hatchery enhancement program in southern California. American Fisheries Society Symposium, 15:249-258.

²⁰ Kincaid, H.L. 1977. Rotational line crossing: An approach to the reduction of inbreeding cumulation in trout brood stocks. Progressive Fish-Culturist, 39:179-181; Ver nota a pie 11.

Finalmente, se podría utilizar un modelo factorial de apareamiento para aumentar el N_e , lo que hará minimizar la endogamia²¹.

3.3 Deriva genética

La deriva genética es el cambio involuntario en la frecuencia de genes —cambios que no se deben a la selección, migración o mutación. Las causas de los cambios aleatorios pueden ser naturales, como un derrumbe que hace dividir una población o una tormenta que mata a un alto porcentaje de la población o destruye porciones de su hábitat, o puede ser producto del hombre, lo que ocurre cuando los piscicultores adquieren o desovan sus peces.

Bajo condiciones normales, el número de peces que se reproduce y deja descendientes viables es mucho menor que el número de adultos, esto es especialmente cierto en acuicultura. Cuando esta submuestras desova, existe la posibilidad que la frecuencia de uno o más genes sea diferente en sus descendientes de la de sus generaciones parentales, y cuanto menos sean desovados, mayor la posibilidad que los cambios ocurran. El efecto último de la deriva genética es la pérdida de los alelos, y cuanto menor es la frecuencia de los genes mayor es la posibilidad que se pierdan los alelos por vía de deriva genética. Los acuicultores también causan deriva genética cuando elijen qué pez van a comprar para la población de origen. La adquisición de peces es crítica, y muestras pequeñas producen lo que a menudo se llama efecto fundador —una condición en donde la deriva genética crea una población en la cual las frecuencias del gen son marcadamente diferentes a aquellas de la población de la cual se originan. La población fundadora determina la variación genética que existirá en una población cerrada.

La pérdida de variación genética hace que una población silvestre sea más vulnerable a la extinción, porque perdió la variabilidad genética que lo podría haber habilitarlo a adaptarse a los cambios en el ambiente. Se han evaluado un cierto número de stocks en los criaderos y a pesar del esfuerzo invertido en prevenir la deriva genética, ésta ocurrió y redujo

²¹ Busack, C.; Knudsen, C.M. 2007. Using factorial mating designs to increase the effective number of breeders in fish hatcheries. *Aquaculture*, 273:24-32.

la variación genética²². Se demostró la pérdida de la variación genética vía deriva genética para prevenir la selección para aumentar la tasa de crecimiento,²³ y se ha demostrado que aumenta el número de peces con trastornos de desarrollo²⁴.

La relación entre N_e y la deriva genética es:

$$\sigma_{\Delta q}^2 = pq/2N_e$$

en donde $\sigma_{\Delta q}^2$ es la variación del cambio en la frecuencia de los genes (forma de medirse la deriva genética), y p y q son las frecuencias de los alelos p y q de un cierto gen.

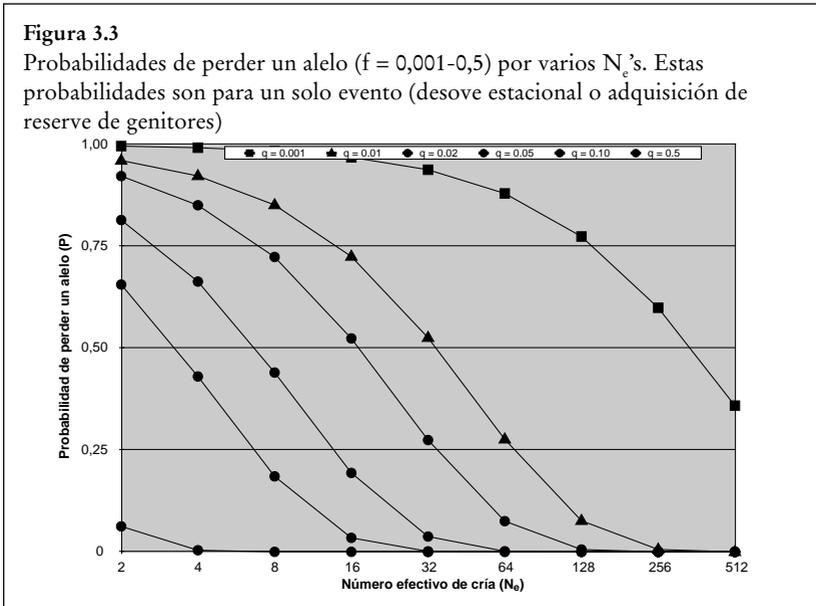
Como fue el caso en la endogamia, la deriva genética está inversamente relacionada al N_e ; cuanto más pequeño es el N_e , es más probable que la deriva genética cambie las frecuencias de los genes. El efecto que puede tener una reducción en el N_e en las frecuencias de los genes vía deriva genética es inmediato.

Porque es difícil prevenir la deriva genética en las poblaciones controladas, por razones de control, la deriva genética debe ser dividida en cambios aceptables e inaceptables. Un cambio en la frecuencia de un alelo de, digamos de 0,4 a 0,38 podría no ser crítica por lo que puede ser clasificada como aceptable, pero el cambio en la frecuencia de un alelo a 0,0 es crítica y debería prevenirse, lo que significa que está clasificada como inaceptable. En consecuencia, el N_e debe estar controlado para reducir la

²² Allendorf, F.W.; Phelps, S.R. 1980. Loss of genetic variation in a hatchery stock of cutthroat trout. Transactions of the American Fisheries Society, 109:537-543; Hallerman, E.M.; Dunham, R.A.; Smitherman, R.O. 1986. Selection or drift—isozyme allele frequency changes among channel catfish selected for rapid growth. Transactions of the American Fisheries Society, 115:60-68; Vuorinen, J. 1984. Reduction of genetic variability in a hatchery stock of brown trout, *Salmo trutta*. Journal of Fish Biology, 24:339-348.

²³ Tave, D.; Smitherman, R.O. 1980. Predicted response to selection for early growth in *Tilapia nilotica*. Transactions of the American Fisheries Society, 109:439-445; Teichert-Coddington, D.R.; Smitherman, R.O. 1988. Lack of response by *Tilapia nilotica* to mass selection for rapid early growth. Transactions of the American Fisheries Society, 117:297-300.

²⁴ Leary, R.F.; Allendorf, F.W.; Knudsen, K.L. 1985. Developmental instability as an indicator of reduced genetic variation in hatchery trout. Transactions of the American Fisheries Society 114:230-235.



pérdida de los alelos, y ya que, los alelos raros son más probables que se pierdan que los comunes, uno de los objetivos gerenciales debería ser el de prevenir la pérdida de alelos raros vía deriva genética.

La probabilidad de perder un alelo de frecuencia q vía deriva genética en una sola generación es:

$$P = (1 - q)^{2N_e}$$

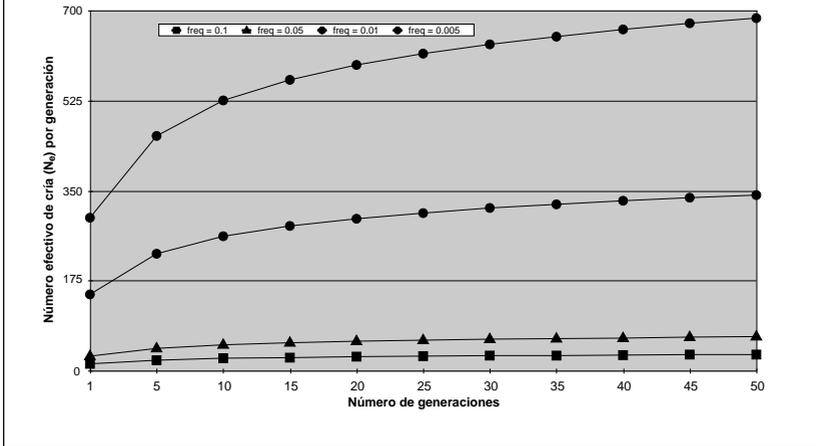
Las probabilidades de perder un alelo ($f = 0,001-0,5$) en una sola generación se demuestran en la Figura 3.3. La Figura 3.3 demuestra que se necesita un pequeño N_e para prevenir la pérdida de alelos comunes ($f > 0,2$), mientras que se necesita un gran N_e en los alelos raros ($f < 0,01$).

Cuando se maneja una población de N_e para minimizar la deriva genética, uno debería determinar qué riesgo genético es aceptable, en este caso, es la garantía deseada de quedarse con un alelo $(1,0 - P)$ de una frecuencia específica luego de un cierto número de generaciones²⁵. Genetistas y biólogos consideran que un alelo cuyo $f = 0,01$ contribuye

²⁵ Ver nota a pie 11.

Figura 3.4

El N_e que se necesita por generación para 1-50 generaciones para producir 95% de garantía para salvar a los alelos con una $f = 0,1-0,005$



al polimorfismo, entonces, la meta de la gestión pesquera y los programas de conservación debería ser la de salvar a los alelos cuyo $f = 0,01$ (si esto se lleva a cabo, se salvarán también más alelos comunes). Salvar a alelos raros no es tan importante para el cultivo de peces comestibles. Si los alelos raros mejoran su viabilidad, crecimiento, y otras variedades de cultivo, la domesticación incrementará su frecuencia. Por esa razón, el riesgo genético para los acuicultores de peces comestibles puede ser el de salvar aquellos alelos cuyo $f = 0,05$.

En la Figura 3.4 se demuestra el N_e constante que se requiere para garantizar en un 95% la posibilidad de salvar a alelos ($f = 0,005-0,1$) para generaciones de 1-50. La metodología utilizada para calcular estos N_e 's se describe en un libro de la FAO sobre la gerencia de la endogamia y la deriva genética en las poblaciones de los criaderos²⁶. Es muy sencillo prevenir la pérdida de un alelo cuya $f > 0,05$, pero puede ser difícil con $f < 0,005$.

Como fue el caso en la endogamia, los acuicultores que no desoven peces o quienes sólo desova el pez una vez y luego adquieran nuevas poblaciones, no necesitan manejar sus poblaciones para minimizar

²⁶ Ver nota a pie 11.

la deriva genética. Por más que la mayor parte de los acuicultores de subsistencia o de menor escala no comprenden la deriva genética o sus consecuencias, incorporando una sencilla gestión, muchos podrían fácilmente minimizar sus efectos. Si ellos mantienen un constante de $N_e = 45$ por 5 generaciones, tendrán 95 por ciento de garantía de salvar un alelo cuya $f = 0,05$. Estas recomendaciones no son excesivas y producen buenas gestiones genéticas (5 generaciones) a corto plazo.

Para los grandes acuicultores comerciales y para aquellos que producen alevines o dirigen programas de cría selectiva, la meta de salvar alelos con una $f = 0,05$ esta fácilmente al alcance; $N_e = 59$ producirá un 95% de garantía para 20 generaciones. La meta de salvar alelos con una $f = 0,01$ debería ser alcanzable en las pesquerías/programas de conservación; $N_e = 297$ producirá un 95% de garantía por 20 generaciones. Los valores en la Figura 3.4 son para un solo alelo. Si se cuenta con 100 de esos alelos, un 95% de garantía significa que 95 serán salvados, mientras que 5 se perderán. Las técnicas de gestión que fueron descriptas en la sección sobre la endogamia pueden también ser aplicadas para aumentar el N_e con el fin de minimizar la deriva genética.

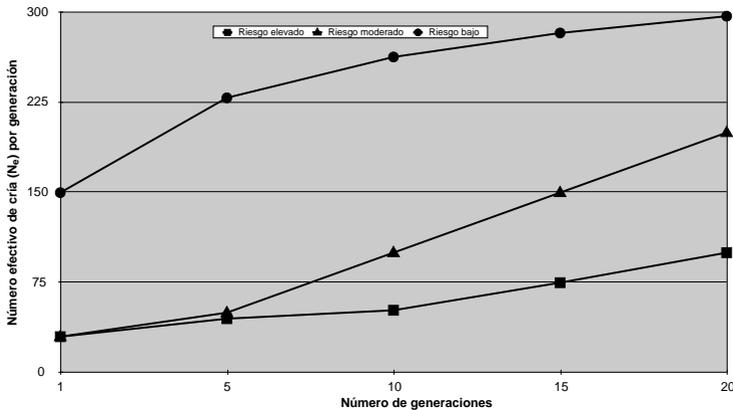
Los N_e 's recomendados para minimizar la deriva genética han oscilado entre 500-5 000, siendo 500 los más comunes²⁷. La Figura 3.4 demuestra que un $N_e = 500$ conseguirá minimizar la deriva genética y producir un 95% de garantía de salvar un alelo con una $f = 0,01$ para >50 generaciones. Sin embargo, dependiendo del objetivo genético (riesgo), el N_e deseado puede ser menos de 500, lo que a menudo es el caso en el cultivo de peces comestibles.

Dado que la endogamia y la deriva genética están inversamente relacionadas al N_e , se podría lograr minimizar ambos. La información contenida en las Figuras 3.2 y 3.4 puede ser combinada para crear un constante N_e y así alcanzar ambas metas; y para alcanzar ambas metas, se debería utilizar un N_e más grande. Las Figuras 3.5 y 3.6 enumeran los N_e 's constantes que se necesitan para los peces comestibles y para

²⁷ Lande, R. 1995. Mutation and conservation. *Conservation Biology* 9:782-791; Hallerman, E. 2003b. Random genetic drift. Páginas 197-214 *en* E.M. Hallerman, ed. *Population genetics: Principles and Applications for Fisheries Scientists*. Bethesda, MD, American Fisheries Society; National Research Council. 2002. *Science and the Endangered Species Act*. Washington, DC. National Academy Press; ver notas a pie 11 y 13.

Figura 3.5

El N_e necesario por generación para minimizar la endogamia y la deriva genética en las poblaciones de los criaderos de las granjas de peces comestibles. Los N_e 's son para tres opciones (nivel de riesgo genético): riesgo elevado — $F \leq 10\%$ y un 95% de garantía de mantener un alelo con una $f = 0,05$; riesgo aceptable — $F \leq 5\%$ y un 95% de garantía de mantener un alelo cuya $f = 0,05$; riesgo bajo — $F \leq 5\%$ y un 95% de garantía de mantener un alelo de una $f = 0,05$

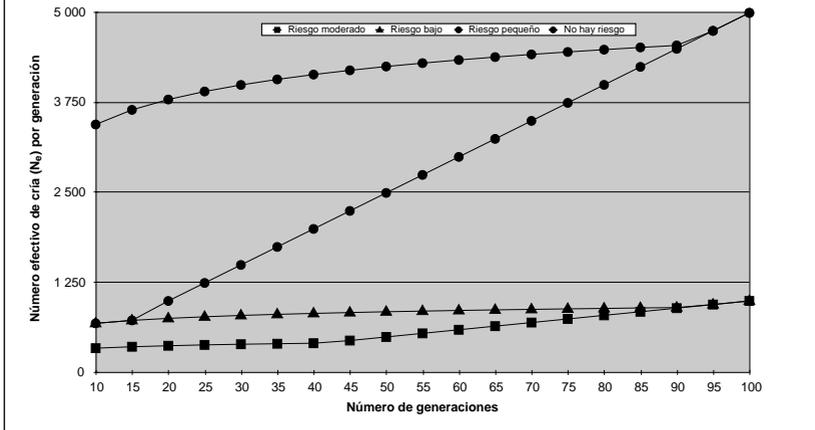


pesquería y la acuicultura de conservación, basados en niveles diferentes de riesgos genéticos.

La Figura 3.5 demuestra que el N_e que se requiere para minimizar los efectos dañinos de la endogamia y de la deriva genética no es excesivo y puede ser incorporado en la mayoría de las operaciones de peces comestibles. Por más que la gestión genética sea considerada a menudo como de poca utilidad o como una tecnología inapropiada, los piscicultores de subsistencia o de menor escala, aquellos que atienden o desovan sus propias reservas de genitores pueden fácilmente incorporar una gestión de «riesgos moderados» a corto plazo (5 generaciones) (Figura 3.5) dentro de sus planes rutinarios de trabajo. El $N_e = 50$ mantendrá la $F \leq 5\%$ y también producirá un 95% de garantía de mantener un alelo que cuenta con una $f = 0,05$ por 5 generaciones. En este caso, el N_e necesario para manejar la endogamia es mayor que el N_e necesario para manejar la deriva genética, entonces, la endogamia N_e es la que se utiliza. Debido a ello, los agentes de extensión sólo necesitan explicar la gestión genética en lo que se refiere a la minimización de la endogamia, un concepto fácil

Figura 3.6

El N_e necesario por generación para minimizar la endogamia y la deriva genética en las poblaciones de los criaderos que se utilizan para los proyectos de pesquería o gestión de conservación. El N_e es para cuatro opciones (nivel de riesgo genético): riesgo moderado — $F \leq 5\%$ y un 99% de garantía de mantener un alelo cuya $f = 0,01$; riesgo bajo — $F \leq 5\%$ y un 99% de garantía de mantener un alelo cuya $f = 0,005$; riesgo pequeño — $F \leq 1\%$ y un 99% de garantía de mantener un alelo cuya $f = 0,005$; no riesgo — $F \leq 1\%$ y un 99% de garantía de mantener un alelo de una $f = 0,001$



de comprender, dado que la mayoría de las sociedades tienen tabúes en contra de los matrimonios consanguíneos (vínculos de sangre).

Si los grandes acuicultores comerciales que producen alevines, o aquellos que dirigen programas de cría selectiva mantienen un constante $N_e = 100$ (esto incluyendo la población de origen) pueden minimizar los problemas genéticos por 10 generaciones $F \leq 5\%$ y contando con un 95% de garantía de mantener un alelo cuya $f = 0,05$ (riesgo moderado en Figura 3.5). Sin embargo, si su stock se adquiere de una granja donde el N_e era más bajo que 100, importarán peces que podrían haber acumulado un nivel alto de endogamia o haber sufrido un descenso en su diversidad genética y pobre rendimiento debido a la deriva genética.

Los N_e 's en la Figura 3.6 son considerados mayores porque manejar una reserva de poblaciones de genes durante un largo período (≥ 10 generaciones siendo 20 generaciones el mínimo deseado) debería ser la meta principal de los programas de pesquerías y acuiculturas de

conservación, aceptando un cierto riesgo genético. El N_e constante que se necesita para 20 generaciones es de 378-1 000, dependiendo del riesgo genético. Por más que la opción de «no hay riesgo» en la Figura 3.6 es la más deseada, es muy poco probable desde un punto de vista puramente genético, que pueda ser incorporado desde un punto de vista de su gestión. Por consiguiente, las opciones de «riesgo bajo» o «riesgo pequeño» en la Figura 3.6 son aquellos que deberían ser incorporados en este tipo de trabajo. La opción de «riesgo pequeño» en la Figura 3.6 combina $F \leq 1\%$ con un 99% de garantía de mantener un alelo cuya $f = 0,005$ en vez de $f = 0,01$, porque para la generación 20 los N_e 's son idénticos. Si se desea la combinación de $F \leq 1\%$ y $f = 0,01$ por menos de 20 generaciones, el N_e en las Figuras 3.2 y 3.4 pueden ser utilizados para producir el N_e deseado.

Se ha sugerido que un $N_e \geq 1\ 000$ producirá una población «genéticamente segura»²⁸. Un $N_e = 1\ 000$ logrará metas «moderadas» y de «riesgo bajo» por 100 generaciones y logrará la meta de «riesgo pequeño» por 20 generaciones (Figura 3.6).

La discusión acerca del cálculo N_e asume que la población es bastante estable, lo que a menudo ocurre en los criaderos. Cuando esto ocurre, el N_e para la endogamia y la deriva genética es calculado en la forma detallada más arriba. Sin embargo, cuando la población es pequeña, fluctúa desordenadamente por encima de las generaciones o va declinando, el N_e para la endogamia y la deriva genética es diferente porque el efecto del N_e en la población puede ser inmediato (deriva genética) o retardado (endogamia). Cuando esto sucede, el N_e para la deriva genética se denomina número de variación efectiva (N_{ev})²⁹ y es:

$$N_{ev} = \frac{4N - 2}{V_k + 2}$$

donde N es el número de peces de la generación parental y V_k es la variación de la producción de descendientes.

El N_{ev} es mucho más importante para la pesquería y la gestión de conservación que para el cultivo de peces comestibles, porque la deriva genética puede afectar sobre la capacidad de las especies a sobrevivir en su

²⁸ National Research Council. 2002.

²⁹ Waples, R.S. 2002. Definition and estimation of effective population size in the conservation of endangered species. Pages 147-168 in S.R. Beissinger; D.R. McCullough, eds. Population Viability Analysis. Chicago. The University of Chicago Press.

hábitat natural. Si la única meta genética de los programas de pesquerías y conservación es la de minimizar la deriva genética, el N_{ev} se calcula para cada generación, independientemente de las generaciones anteriores. En este caso, la sugerencia corriente $N_c(N_{ev}) = 500$ lograra minimizar la deriva genética de progenitores a descendientes por >50 generaciones (Figura 3.4). Sin embargo, si en las generaciones anteriores el N_{ev} de las poblaciones fue reducido, un $N_{ev} = 500$ solo evitará que los problemas causados por la deriva genética empeoren; no podrá evitar los daños genéticos que ya se han producido.

Una razón para saber el N_{ev} de los peces producidos en un criadero que son reservados para la pesquería o para proyectos de recuperación y el N_{ev} de la población silvestre, es que el programa de repoblación puede en realidad disminuir el total del N_{ev} ³⁰. Por ejemplo, si el N_{ev} de los peces reservados es pequeño pero si contribuye con un número desproporcionado de descendientes a la generación siguiente, el N_{ev} de la población en el hábitat silvestre puede declinar. Otro modo en que el N_{ev} puede declinar es si la piscifactoría produce familias numerosas, mientras que los progenitores silvestres producen familias pequeñas; esto incrementa la variación de la producción de descendientes, lo que de hecho puede producir un N_{ev} total menor que los N_{ev} 's combinados.

3.4 Domesticación

La domesticación es una forma de selección que hace a un organismo más adaptado a la cultura ambiental y a todos los aspectos de la gestión que son utilizados para criarlo (esto es, cambia el reservorio de genes de una población seleccionando alelos que son capaces de explotar las condiciones de cultivo y eliminando alelos que son menos capaces de adaptarse en el criadero). La domesticación es una combinación de selección intencional y voluntaria. La domesticación cambia el reservorio de genes, entonces estos cambios son transmitidos a las siguientes generaciones y, con el tiempo, la población se vuelve considerablemente diferente. En la agricultura, todas las plantas y animales importantes que se crían como alimento se volvieron domésticos; los acuicultores,

³⁰ Ryman, N; Laikre, L. 1991. Effects of supportive breeding on the genetically effective population size. *Conservation Biology*, 5:325-329; Waples, R.S.; Do, C. 1994. Genetic risk associated with supplementation of Pacific salmonids: captive broodstock programs. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 51 (Supplement 1):310-329.

por el otro lado, crían animales y plantas que no son domesticados. La domesticación es un término muy difícil de cuantificar, porque no existe una línea absoluta que divida lo silvestre y lo domesticado, sino que es un proceso continuo (la domesticación ha sido definida como una reproducción controlada continua por más de 3 generaciones)³¹. Se puede ver un producto final (domesticado) y un principio (salvaje), pero cada organismo acuícola está en algún lugar a lo largo del continuo; la mayoría esta más cerca del principio que del final. La domesticación comienza cuando los piscicultores toman el control del ciclo de vida del pez y determina las condiciones bajo las cuales va a crecer (el tipo de alimento que se utilizara, la densidad de repoblación, la gestión de la calidad del agua, etc.) y especialmente, qué pez será desovado.

La domesticación puede cambiar una población en forma casi imperceptible debido a una selección involuntaria mientras el pez se va adaptando a la manera que el acuicultor o el administrador del criadero opera la instalación. Por ejemplo, la manera en la que el acuicultor desova el pez puede producir una población que responde mejor a las inyecciones de hormonas, o puede variar la época del desove si el administrador del criadero sólo desova peces al principio de la estación de desove. Los peces comestibles que se capturan en la primera lanzada de la red podrían clasificarse como peces fáciles de cosechar, mientras los peces que continúan en el estanque luego de varias lanzadas de red podrían clasificarse como escurridizos. Los peces que se crían bajo condiciones intensas de cultivo son clasificados como peces que toleran condiciones estresantes de vida. A pesar de que el pez comestible son difíciles de manejar, pueden producir peces dóciles.

Modificaciones simples en el comportamiento pueden o no ser un componente de la domesticación. Por ejemplo, los peces aprenden cuándo serán alimentados y responden al sonido de los camiones transportadores de alimentos o al sonido que hace el alimentador. Este comportamiento es deseable porque asegura que el alimento será consumido rápidamente y se desechará menos. Si tal comportamiento tiene una base genética, entonces es una parte de la domesticación, pero si por el contrario no lo es, entonces no se transmitirá a la próxima generación, y no es domesticación.

³¹ Bilio, M. Controlled reproduction and domestication in aquaculture. The current state of the art. Part II. Aquaculture Europe, 32 (3): 5-23.

La domesticación es beneficiosa en el cultivo de peces comestibles porque produce peces más dóciles, aquellos que sacan provecho de los alimentos artificiales aumentando su tasa de crecimiento y aquellos que toleran la aglomeración, la manipulación y mala calidad del agua lo que podría acarrear estrés y enfermedades posteriores. La domesticación ha demostrado que hace aumentar la tasa de crecimiento de los peces cultivados en un 2-6 por ciento por generación³².

Sin embargo, la acuicultura también cultiva peces que serán mantenidos en el hábitat silvestre para apoyar la pesquería basada en el cultivo (Capítulo 8) y en programas de recuperación de especies en peligro de extinción (Capítulo 9) y para este tipo de gestión, la domesticación es perjudicial porque puede producir cambios no deseados en el genoma³³. Desafortunadamente, el simple acto de desove de un pez, la manera en que son desovados, o criados crea selección en la domesticación, lo que podría llevar a producir peces menos adaptados en el hábitat natural. Por ejemplo, la sobrevivencia en el hábitat natural es débil y la mayoría de los peces mueren cuando son alevines. Los acuicultores crean ambientes que maximizan la supervivencia, por lo tanto los genotipos que no se adaptarían en su ambiente natural no son letales en criaderos. Mejorando su supervivencia temprana en un criadero, una práctica rutinaria en acuicultura, es una forma de selección de domesticación que se demostró que tiene un efecto indirecto de selección para tamaños menores de huevos, los cuales a su vez reducen su viabilidad en el ambiente natural. Incluso cuando el único tipo de cultivo es la recolecta de los huevos de los peces en el ambiente natural, cultivando los alevines por un período corto, y luego reservarlos, la domesticación tendrá lugar si la supervivencia y el éxito reproductivo de los peces reservados es diferente en el hábitat silvestre que aquel de su tiene sus homólogos.

³² Dunham, R.A.; Smitherman, R.O. 1983. Response to selection and realized heritability for body weight in three strains of channel catfish, *Ictalurus punctatus*, grown in earthen ponds. *Aquaculture*, 33:89-96.

³³ Araki, H.; Cooper, B.; Blouin, M.S. 2007. Genetic effects of captive breeding cause a rapid, cumulative fitness decline in the wild. *Science*, 318:100-103; Heath, D.D.; Heath, J.W.; Bryden, C.A.; Johnson, R.M.; Fox, C.W. 2003. Rapid evolution of egg size in captive salmon. *Science*, 299:1738-1740.

Las prácticas gerenciales que minimizan la domesticación para los peces que serán mantenidos en su hábitat natural se enumeran en el Capítulo 8.

3.5 Restricciones y oportunidades

Un obstáculo importante para mejorar la gestión en esta área es que la mayoría de los acuiculturistas están mal entrenados en genética y sienten que este tipo de gestión no es necesaria —con frecuencia porque no lo entienden. Un segundo obstáculo es el que muchos acuiculturistas no están concientes de los beneficios a largo plazo que les traerá la incorporación de los programas de gerencia genética (Capítulos 4 y 6), y rutinariamente crían peces que son endogámicos o cuentan con una diversidad genética reducida y no se comportan tan bien como lo haría la población genéticamente intacta. Tampoco se dan cuenta que mejorar otros aspectos de la producción animal (por ej. mayor alimentación) podría solo contrarrestar la disminución del potencial genético. Existen mayores costos asociados con la minimización de la endogamia y la deriva genética, pero esto será compensado con una mejoría en la producción (Capítulo 6). Un tercer obstáculo se impone cuando los administradores de los criaderos y de los recursos son premiados erróneamente por producir una enorme cantidad de peces, pero los peces no necesariamente rinden mejor porque no se realizaron una buena gestión genética y evaluación. Acuicultores y administradores de recursos deben comprender que producir menos peces que tengan mayor rendimiento en realidad hace mejorar la productividad y la gestión de recursos. Una cuarta restricción es la financiera en la que varios criaderos no pueden ser ampliados, reconstruidos y no se pueden contratar mano de obra adicional, entonces no es posible desovar el número necesario o minimizar la domesticación para los programas de pesquería y conservación. Finalmente, incorporar una gestión genética en el cultivo de peces debería ir mano a mano con una buena producción ganadera y desarrollos en la nutrición y salud de los peces.

Afortunadamente, varios líderes y formuladores de políticas están comenzando a entender que los recursos de gestión genética no es un concepto abstracto, sino que podría mejorar la seguridad alimentaria y la estabilidad ecológica.

4 METODOLOGÍAS DE MEJORAMIENTO GENÉTICO EN LA ACUICULTURA ³⁴

4.1 Introducción

El Código de Conducta para la Pesca Responsable de la FAO contiene varios artículos que tratan sobre asuntos que son específicos de la aplicación de las metodologías de mejoramiento genético en la acuicultura (Artículos 9.1.2, 9.1.3, 9.3.1 y 9.3.3). Estos artículos hacen referencia a los riesgos relacionados con el desarrollo de la acuicultura y específicamente al desarrollo y propagación de las poblaciones alteradas genéticamente y a la integridad ambiental de los ecosistemas naturales. Este capítulo examina las metodologías utilizadas en el mejoramiento genético de especies acuícolas y el alcance de su aplicación actual o futura en la acuicultura. Estas metodologías se consideran teniendo en cuenta los beneficios de corto y largo plazo para el desarrollo acuícola pero haciendo referencia a los riesgos que supone su adopción y aplicación. Estos riesgos se describen con más detalles en los Capítulos 7 y 9. Las directrices se ponen a consideración en la aplicación de las variadas tecnologías de mejoramiento genético en acuicultura.

Como se ha indicado en otros capítulos la mayoría de las intervenciones humanas en más de una generación en ciclo de vida de especies cultivadas alterará genéticamente la población por medio de cambios en la frecuencia de los genes. El Capítulo 3 resume el proceso a través del cual puede ocurrir esta alteración genética, específicamente a través de la endogamia y la deriva genética y el cambio en la frecuencia del gen y del alelo (y caracteres genotípicos asociados) a través de una selección involuntaria. Estos cambios genéticos son generalmente el resultado del desconocimiento de las consecuencias genéticas de manejar poblaciones cautivas a lo largo de generaciones sucesivas. Este capítulo se centra en las consecuencias adicionales asociadas con el cambio genético deliberado de poblaciones cultivadas por medio de la aplicación de variadas tecnologías de mejoramiento genético.

³⁴ Contribución de Graham C. Mair.

4.2 Mejoramiento genético en la acuicultura

La era moderna del mejoramiento genético en la acuicultura se puso en marcha desde mediados de la década de 1970 con el inicio de los programas de cría selectiva en Noruega. Sólo durante las últimas dos décadas hubo una aceptación general del papel importante que cumple el mejoramiento genético en el desarrollo de la acuicultura y que se pueden obtener beneficios genéticos significativos por medio de la aplicación apropiada de programas bien planificados de cría genética en especies acuáticas. Como resultado se están implementando en la actualidad varios de dichos programas de cría en todo el mundo.

Existe también un cambio en la percepción que se tiene del papel de la genética en la acuicultura y el tiempo oportuno de las intervenciones genéticas. En la actualidad se reconoce cada vez más la importancia de manejar la variación genética en el momento en que las poblaciones fueron domesticadas por primera vez (o introducidas) a fin de evitar el deterioro de las poblaciones a través de la cría, deriva genética y selección involuntaria (ver Capítulo 3), para así sacar ventajas de la selección de la domesticación y para maximizar el potencial de mejoramientos genéticos posteriores (Figura 4.1).

Con la cantidad de organismos acuáticos utilizados en la acuicultura existen incluso más opciones para el mejoramiento genético que pueden ser aplicados en organismos superior como resultado de sus particulares caracteres biológicos y sus propiedades. De este modo, técnicas como la manipulación de juegos de cromosomas, el control del sexo y la transgénesis pueden ser aplicados explorando varias opciones interesantes de mejoramiento.

Aunque se hayan logrado progresos importantes y las poblaciones mejoradas genéticamente se hayan vuelto más disponibles en la acuicultura, la mayoría de los peces cultivados son aun similares a los genotipos silvestres. Aún falta mucho para que la acuicultura pueda alcanzar el nivel que hoy en día se observa en la ganadería y el cultivo en donde la producción está basada casi exclusivamente en las variedades mejoradas genéticamente y el cultivo de germoplasma no es practicado.

4.3 Planteamientos del mejoramiento genético

Esta sección describe brevemente varias metodologías de mejoramiento genético aplicables a las especies acuáticas cultivadas, resume el progreso logrado en la acuicultura actual e identifica los asuntos claves para optimizar los beneficios para la acuicultura y minimizar los riesgos en la integridad ambiental y genética de las poblaciones silvestres.

4.3.1 *Cría selectiva*

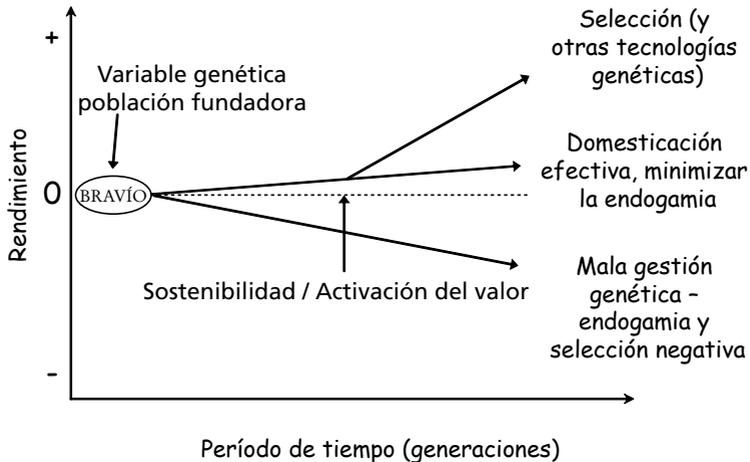
La base de la cría selectiva es el de seleccionar como progenitores a individuos que posean un alto valor genético aditivo para un fenotipo deseado (característica) para que así pueda pasar a sus genes superiores para la descendencia en las generaciones siguientes. De esta manera, debería ser posible desplazar el valor medio de la característica fijada como meta para la población cultivada hacia la dirección deseada para cada generación sucesiva. En los programas de selección de cría es necesario minimizar la pérdida de la variación genética (por ej. que podría surgir por la endogamia) durante este proceso para asegurar que se hayan logrado y sostenido los beneficios genéticos para varias generaciones.

Dados los compromisos que se asumen a largo plazo para iniciar la cría selectiva, es imprescindible que la población a ser mejorada sea parte de un sector comercial importante y sostenible de la acuicultura. Es por eso importante examinar el desarrollo y potencial futuro del sector en cuestión antes de invertir en alguna estrategia de mejoramiento genético a largo plazo.

Se deben cumplir una serie de condiciones antes de iniciar un programa de cría. En primer lugar, el ciclo vital de las especies en cautiverio debe estar cerrado. Luego, es necesario identificar las características **comercialmente útiles** o fijadas como meta a través de un proceso de valoración económica que puedan de manera realista ser modificadas por medio de mejoramientos genéticos. Estas características deberían ser variables dentro de una población y preferentemente aplicados en animales viables, reproductivamente hablando (características como la producción de filete que se miden mejor en animales que han sido sacrificados, presentan mayor desafíos para incluirse en los programas de cría selectiva). Las características ideales para la selección deberían

Figura 4.1

Ilustración hipotética de las diferentes posibilidades que pueden presentarse en una gestión genética buena vs. mala. En numerosas ocasiones el desconocimiento de ciertos asuntos de la gestión genética ha resultado en un descenso en el comportamiento de las poblaciones cultivadas. El objetivo de un sector acuícola en desarrollo debería ser el de manejar eficazmente la diversidad genética en las poblaciones domesticadas para así aprovechar los beneficios derivados de la selección de domesticación. La gerencia y retención de la diversidad genética constituyen la materia prima para una cría selectiva exitosa al tiempo en que la empresa o sector de la producción alcanza un nivel de maduración, valor y sostenibilidad económica para estimular la inversión prevista en el mejoramiento genético



tener niveles moderados o elevados de heredabilidad, y por lo tanto, responderán más fácilmente a la cría selectiva básica. La heredabilidad es una medida para saber el grado de variabilidad que es determinada por la genética en un característica en particular y varía de 0 (sin influencia genética) a 1 (en donde la genética controla el total de los caracteres). En términos más formales la heredabilidad es la proporción de la varianza de fenotipo de una característica que aporta la varianza genética aditiva y refleja el potencial para generar una respuesta de selección para esa característica. La heredabilidad de 0,15-0,5 indica que una característica responderá bien a la selección aunque existen procedimientos y análisis estadísticos que pueden seleccionar eficazmente para los caracteres de

baja heredabilidad³⁵. Es también importante determinar el fenotipo y las correlaciones genéticas entre las características particularmente cuando desarrolla índices de selección en el cual dos o más caracteres pueden ser combinados en un solo índice de valor.

Un primer paso esencial al iniciar un programa de cría selectiva es la identificación o el desarrollo de una apropiada población fundadora. Para maximizar el potencial de los beneficios genéticos a largo plazo y mejorar el rendimiento del cultivo, esta población fundadora debe ser altamente variable genéticamente y debe basarse fundamentalmente en las poblaciones de mejor rendimiento que se tenga disponible (en donde se pueden conocer los datos de actuación o pueden ser obtenidos). En realidad esto abarcará, probablemente, la creación de una población fundadora compuesta utilizando germoplasma de partida de varios orígenes, que a menudo se deriva de diferentes poblaciones diferenciadas genéticamente (domesticadas o silvestres) como ocurrió en los inicios de un importante programa de cría de tilapia conocido como GIFT³⁶.

Por lo tanto, es importante comprender que las poblaciones fundadoras bien formadas para los programas de cría selectiva serán genéticamente distintas de cualquier población silvestre, y por lo tanto, representa un peligro potencial a la integridad genética de aquellas poblaciones, ya que con el correr del tiempo, las frecuencias de los genes en el hábitat natural podrían cambiarse debido a una introgresión significativa de las poblaciones silvestres con las reservas cultivadas alteradas genéticamente. Mientras que la cría selectiva progresa es muy probable que la identidad genética de una determinada población se vaya alejando progresivamente de la población silvestre (ver Capítulos 3, 4, 8 y 9). Una manera de atender este riesgo es el de desarrollar líneas selectas sólo de las poblaciones silvestres (esto es, los fundadores se escogen de entre las poblaciones locales diferenciadas) para luego limitar su cultivo en lugares dentro de la distribución natural de esa población. Sin embargo, es probable que

³⁵ Gjedrem, T. 2005. Selection and Breeding Programmes in Aquaculture. Springer, Netherlands. Van Vleck, L.D. (1993) «Selection Index and Introduction to Mixed Model Methods», CRC Press Inc., Florida, Estados Unidos de América.

³⁶ Eknath, A.E., Bentsen, H.B., Ponzoni, R.W., Rye, M., Nguyen, N.H., Thodesen, J. y Gjerde, B. 2007. Genetic improvement of farmed tilapias: Composition and genetic parameters of a synthetic base population of *Oreochromis niloticus* for selective breeding. *Aquaculture* 273: 1-14.

esta opción sea imposible debido a su costo. La cría selectiva se enfoca en la mejora de los caracteres cuantitativos (esto es, esos fenotipos que son cuantitativos por naturaleza y continuos en distribución) y la tasa de crecimiento es comúnmente el primer rasgo que se considera para el mejoramiento. Generalmente, los caracteres cualitativos (como el color, el cuerpo o la forma de las aletas o el sexo) son controlados por uno o dos genes de loci y pueden ser influenciados al comprenderse su herencia. Esto es un hecho frecuente en el sector de la acuicultura ornamental pero tiene poca importancia en la acuicultura para la producción de alimentos.

La tasa de crecimiento es a menudo la característica clave de mayor valor económico en la mayor parte de los sectores acuícolas y esto es cierto en los sistemas extensivos y semiintensivos en donde los peces se venden enteros o eviscerados y enfriados en vez de procesados. La selección exitosa para la cría puede permitir que el pez sea cosechado cuando alcance un tamaño más grande y sea más rentable, para acortar el período de cultivo o probablemente para reservar a los animales a densidades elevadas mientras se mantiene el tamaño de cosecha. Los sistemas de producción más intensos con frecuencia otorgan mayores prioridades a rasgos como conversión de alimento y producción de filete debido a su importancia económica relativamente mayor, aunque estos rasgos particulares son más difíciles de seleccionar.

Este capítulo no pretende examinar en detalle los diferentes métodos de selección y programas de cría³⁷. La decisión sobre el método de selección a ser utilizado depende de una serie de factores que incluye la heredabilidad de la característica individualizada (si es que se conoce), el tipo de rasgo, la facilidad de medición en organismos reproductivamente viables y la biología y reproducción de las especies (incluyendo la fertilidad). El cuadro 4.1 sintetiza las características claves de los diferentes métodos de cría selectiva. La meta de cualquier programa de selección es el de escoger los mejores individuos que se van a utilizar para crear a la próxima generación sin perder la variación genética. Los diseños de los programas de cría abarcan una serie de compromisos sobre la selección de los rasgos o combinaciones de rasgos. Los diseños ideales incluirán el apareamiento de pedigrí pero raramente son viables y están limitados

³⁷ Existen manuales detallados por ejemplo Tave, D. 1995. Selective breeding programmes for medium-sized fish farms. FAO Fisheries Technical Paper No. 352. Rome, FAO.

Cuadro 4.1 Síntesis de las principales propiedades de las diferentes opciones para el diseño de la cría selectiva^a

Tipo de selección	Descripción	Ventajas	Desventajas
Selección en masa o individual	Todos los individuos son agrupados y medidos. La selección de aquellos utilizados como reserva de genitores futuras se basa únicamente en el valor del fenotipo para la característica fijada como meta en el individuo.	Sencillo y requiere unos pocos libros de registro. No se requieren la identificación individual y libros de registro genealógicos. Costo relativamente bajo. Pueden obtenerse ganancias para los caracteres con alta heredabilidad.	Limitado a los rasgos con alta heredabilidad. Sólo puede aplicarse a los rasgos que fueron medidos en el candidato de cría. Dificultad para controlar la cría. Importante para controlar los efectos ambientales claves como la edad, el tamaño en el momento de la siembra, calidad del agua, alimentación, etc. Potencial para la contribución de descendencia altamente variable para las futuras generaciones que promuevan la deriva genética.
Dentro de la selección de cohorte	Una variación en la que la reserva de genitores son arbitrariamente divididos en cohortes con una selección individual llevada a cabo entre los cohortes. Se evita la endogamia por apareamiento rotativo de individuos seleccionados con la de otros cohortes.	Controla la endogamia. No se requiere el apareamiento de parejas. No se requieren la identificación individual y los registros genealógicos. Elimina los impactos ambientales sobre el rendimiento individual entre los cohortes. Requiere conocimientos técnicos básicos.	Trabaja mejor con los caracteres de alta heredabilidad. Sólo puede ser aplicado a las características que fueron medidas en el candidato de cría. Requiere del control de la edad entre los cohortes.
Dentro de la selección familiar	Las familias múltiples son mantenidas con individuos elegidos independientemente dentro de cada familia y está basado en la desviación de sus valores característicos del promedio familiar.	Puede controlar la endogamia por apareamiento rotacional entre familias. Relativamente fácil de manejar. Útil en donde la variación ambiental es común a los miembros de una familia. Fácil de controlar la varianza ambiental para cada familia. Permite intensidades de selección elevada.	No aprovecha totalmente la heredabilidad y por lo tanto la respuesta a la selección es reducida. No tiene en cuenta la varianza en el rendimiento entre familias. Sólo puede ser aplicado a los rasgos que pueden ser medidos en el candidato de cría. Las familias deben ser mantenidas separadamente o todos los individuos distinguidos por familia.

^a Un resumen interesante sobre las características claves de estos métodos de cría selectiva se expone en Ponzoni, R.W., Nguyen, N.H y Khaw, H.L. 2006. Importance and implementation of simple and advanced selective breeding programs for aquaculture species in developing countries. Proceedings of the 8th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, 13-18 Agosto 2006, Belo Horizonte, MG, Brazil. (Sitio Web: http://www.wcgalp8.org.br/wcgalp8/articles/paper/9_683-1814.pdf)

Cuadro 4.1 (continuación) Síntesis de las propiedades principales de las diferentes opciones para el diseño de la cría selectiva

Tipo de selección	Descripción	Ventajas	Desventajas
Selección combinada	<p>La selección de individuos está basada en la información individual de los parientes. Los valores promedio para cada familia está determinado y se retienen o seleccionan a familias enteras dependiendo de este promedio.</p>	<p>Aprovechamiento total de la varianza genética aditiva.</p> <p>La endogamia puede ser controlada.</p> <p>Es bueno para los rasgos con baja heredabilidad.</p> <p>Bueno para los rasgos que no pueden ser medidos en las crías individuales (por ej. la producción de filete) o que presentan riesgos como por ejemplo los desafíos de prueba de enfermedades ya que los hermanos pueden ser seleccionados.</p> <p>Los modelos desarrollados para considerar todos los efectos sistemáticos en la característica fijada como meta.</p>	<p>Requiere el apareamiento en parejas y la identificación de la familia.</p> <p>Es generalmente costoso y requiere grandes instalaciones y trabajo intenso. Los costos se reducen si las familias son marcadas y conservadas en ambientes comunes.</p> <p>Requiere de alta experiencia genética.</p> <p>Se deben reducir los impactos ambientales y mantener el tamaño de la familia.</p> <p>Se requiere de un registro detallado que incluya a pedigri.</p> <p>Generalmente se necesita criar familias individuales hasta la marcación lo que lleva a empeorar los efectos durante la crianza por separado.</p>
Cobrar valor a la selección	Descripción	Ventajas	Desventajas
Familias agrupadas y genotipado	<p>Donde existen los marcadores genéticos que permitan una tarea genealógica, los individuos a ser seleccionados pueden ser agrupados en las etapas iniciales y sus familias de origen pueden ser determinadas en la cosecha.</p>	<p>Permite a las familias que se crían en ambientes comunes durante todo el ciclo de producción.</p> <p>Aplaza algunos de los costos hasta la cosecha reduciendo los riesgos.</p> <p>Se requieren menos recursos.</p>	<p>Sobrevivencia diferencial en grupos mezclados, y especialmente a tempranas edades puede llevar a la obtención de familias poco uniformes.</p> <p>Datos de familia obtenidos solamente en la cosecha.</p> <p>Necesidad de identificar los peces seleccionados mientras que se lleva a cabo el análisis de los marcadores genéticos.</p>
Índices de selección	<p>Se puede generar un índice de selección basado en varios caracteres comerciales importantes según su importancia relativa. Es utilizado habitualmente en la selección combinada.</p>	<p>Optimiza las ganancias de selección por caracteres múltiples.</p>	<p>Requiere asignar valores económicos para las características en el objetivo de la cría.</p>

por los recursos humanos o físicos, número de animales, sistemas de marcación/identificación (o la capacidad de separar físicamente a familias e individuos) y las propiedades de las especies (como la fertilidad, tiempo de generación y facilitación de la cría controlada).

La puesta en marcha de numerosos programas de cría selectiva hizo emerger resultados impresionantes con respecto a la respuesta a la selección, de 13 a 15 por ciento de ganancias por generación en las características claves, lo que es posible en programas de cría bien gerenciados y con buenos recursos. Estas ganancias son mayores que aquellas obtenidas de los programas de cría de ganado y puede ser una función de los altos niveles de variabilidad genética que se encuentran en las especies acuáticas cultivadas y la alta fertilidad de muchas especies lo que permite intensidades de selección más elevadas que lo que es posible en ganados menos fértiles. Claramente, luego de varias generaciones el valor económico de estas ganancias, es muy significativo y el cálculo de Gjedrem³⁸ de un beneficio de 15:1 sobre la inversión en el programa de cría de salmón noruego no es realístico (ver también el Capítulo 6).

Dada la precocidad relativa de la cría selectiva en la acuicultura la población escogida que está siendo desarrollada, en la mayoría de los casos, no discrepa aún de los tipos silvestres y son todavía capaces de sobrevivir en su hábitat natural y cruzarse con parientes silvestres si escapan o son introducidas intencionalmente en el ambiente del que fueron obtenidas. A través del tiempo con la selección continua de las características comercialmente importantes este nivel de divergencia genotípica aumentará hasta tal punto que las líneas escogidas estarán tan adaptadas que serán dependientes del ambiente de cultivo e incapaces de prosperar o reproducirse lejos del mismo, como es el caso hoy en día, para muchas de las especies de ganadería y cultivo. Es muy difícil estimar cuánto tomará esta transición pero es muy probable que tome varias décadas antes que la mayor parte de las poblaciones acuícolas lleguen a ser así de diferentes de los tipos silvestres. Durante esta fase de transición las poblaciones criadas selectivamente representan un riesgo para la integridad genética de las poblaciones silvestres y se deberían tomar medidas para evaluar, manejar y minimizar los riesgos (Capítulos 7 y 9).

³⁸ Gjedrem, T. 2000. Genetic improvement of cold-water fish species. *Aquaculture Research* 31: 25-33.

4.3.2 *Hibridación y cruzamiento*

La hibridación es la cría de individuos de dos especies diferentes mientras que el cruzamiento es el apareamiento de dos características diferentes/poblaciones dentro de una misma especie. Ambos cruzamientos se realizan comúnmente con el objetivo de aprovechar una variación genética no aditiva a través de la identificación de heterosis positiva importante, conocida también como «vigor híbrido», para las características comerciales importantes. La heterosis positiva ocurre cuando la especie híbrida o cruzada rinde mejor que el promedio de los dos progenitores o poblaciones. En términos prácticos la heterosis es importante cuando la especie híbrida o cruzada se comporta mejor que las especies progenitoras o poblaciones. Cuando se evalúa la heterosis es importante estimar los cruzamientos recíprocos ya que la heterosis puede variar dependiendo del progenitor materno o paterno de la especie o población.

Tanto el cruzamiento como la hibridación son técnicas relativamente simples de dominar y pueden tener un impacto inmediato sobre el rendimiento de una generación. Sin embargo, este beneficio es limitado y sólo se lo optimiza en el cruzamiento híbrido específicamente individualizado entre las líneas parentales originales, a no ser que las líneas parentales sean seleccionadas a través de las generaciones por sus habilidades de combinación general o específica, resultando en programas de crías complejos y relativamente lentos. Algunas heterosis pueden ser retenidas en posterior generaciones si el número de las poblaciones cruzadas es elevado. Por lo tanto, el cruzamiento es considerado generalmente como un complemento potencial de un programa para la mejora genética aditiva, como se mencionó más arriba. Por ejemplo, es posible invalidar los efectos de la endogamia que podrían ocurrir en las líneas seleccionadas de masa individual generando reserva de producción al cruzar entre tales dos líneas. No es muy común la evidencia de heterosis en los rasgos comercialmente importantes pero la evidencia substancial para la heterosis de cría sugiere que desempeña un papel en el cruzamiento para la mejora comercial de ostiones³⁹.

Debido a su relativa simplicidad se han realizado enormes esfuerzos de investigación para evaluar las cruza híbridas entre especies múltiples con

³⁹ Hedgecock, D., McGoldrick, D.J. y Bayne, B.L. 1995. Hybrid vigor in Pacific oysters: An experimental approach using crosses among inbred lines. *Aquaculture* 137: 285-298.

cientos intentos de cruzamientos híbridos en las últimas tres décadas. Tomando en cuenta estos esfuerzos, en particular con ciprinidos en la acuicultura asiática, existen relativamente pocos híbridos en la producción comercial. Mientras que no se cuente con más informes sobre el uso de híbridos en la acuicultura, esta tasa relativamente baja de retorno en las investigaciones sobre hibridación indicaría que los beneficios comerciales de la mayoría de los híbridos son limitados o no existentes. Existen pocos ejemplos en donde hubo un consumo comercial de híbridos como la tilapia híbrida (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) en China e Israel, el bagre híbrido (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*) en Tailandia y Asia Sudoriental, y la lubia estriada híbrida (*Morone chrysops* x *M. saxatilis*). El éxito de estos híbridos se debe al «efecto complementario» (es decir, a las propiedades comercializables específicas de la combinación de las especies parentales como un alto porcentaje de machos en la tilapia híbrida y atributos de productos de buena calidad en el bagre híbrido) antes que la heterosis positiva para los caracteres cuantitativos.

Donde se producen los híbridos comercialmente, un desafío importante es el riesgo de la introgresión de especies puras en el stock parental por contaminación de los híbridos (esto es, retrocruzando a los híbridos con los progenitores). Esto debería ser evitado ya que una vez que la introgresión ocurre el sistema falla y el rendimiento de los *supuestos* híbridos F_1 (lo que puede en realidad ser una mezcla de híbridos F_2 y retrocruzados) se volverán inconsistentes e imprevisibles.

Dada la relativa facilidad de hibridación entre las especies de peces estrechamente relacionadas, la hibridación puede ser nociva, como lo ha sido en la producción de carpas en algunos países. Los híbridos F_1 pueden ser utilizados accidental o deliberadamente como reserva de genitores en retrocruzamientos o en la producción de cruza F_2 . Después de varias generaciones esto llevará a una mezcla general y segregación de genes de las especies originales parentales, conocido como introgresión. Con esta segregación independiente de los genes, los fenotipos resultantes son altamente variables y algunos de los peces que portan los genes introgresivos no pueden distinguirse fácilmente de las especies puras originales. La introgresión es ahora relativamente común en la tilapia y otros grupos de especies entrecruzadas en donde los híbridos pueden ser producidos fácilmente ya sea artificial o naturalmente. Mientras esto ocurre en la mayoría de las carpas en China e India (por ej. en

Bangladesh⁴⁰ donde originalmente se produjeron los híbridos, ya sea por interés científico o por disminución en la reserva de genitores de algunas especies) es muy probable que la introgresión de los híbridos tenga consecuencias negativas para la mayoría para los sistemas de policultivo de las carpas como resultado de la pérdida de estrategias definidas de alimentación de las especies puras, con la consiguiente disminución en el rendimiento alimentario y en la producción. Mientras que los eventos de hibridación imprevistos son inevitables, las consecuencias a largo plazo de tales eventos de hibridación ad hoc pueden ser minimizados si los sistemas están en una posición que excluye el uso de híbridos como futura reserva de genitores.

Se recomienda por lo tanto que la hibridación en la acuicultura sea evitada a no ser que sea parte de una estrategia sistemática para explotar la heterosis o los efectos complementarios para las características comercialmente importantes. El mayor desafío en los cruzamientos planificados y en la hibridación es el de asegurarse que está siendo bien utilizada, que existen beneficios económicos reales para un programa de hibridación y que está siendo manejado de tal forma que no ocurrirá una introgresión indeseada o descontrolada en las piscifactorías o las poblaciones silvestres.

4.3.3 Manipulación de los juegos de cromosomas

En los peces y crustáceos es posible manipular juegos completos de cromosomas por medio de la disrupción del proceso de la división de células en el huevo recién fertilizado. Generalmente estas técnicas no son posibles en organismos superiores. Comúnmente se han aplicado cuatro tipos de manipulación, ginogénesis, androgénesis, triploidia y tetraploidia.

⁴⁰ Mia, M.Y., Taggart, J.B., Gilmour, A.E., Gheyas, A.A., Das, T.K., Kohinoor, A.H.M., Rahman, M.A., Sattar, M.A., Hussain, M.G., Mazid, M.A., Penman, D.J. y McAndrew, B.J. 2005. Detection of hybridization between Chinese carp species (*Hypophthalmichthys molitrix* and *Aristichthys nobilis*) in hatchery broodstock in Bangladesh, using DNA microsatellite loci. *Aquaculture* 247: 267-273.

Simonsen, V., Hansen, M.M., Mensberg, K-L.D., Sarder, R.I. y Alam, S. 2005. Widespread hybridization among species of Indian major carps in hatcheries, but not in the wild. *J. Fish Biol.* 67: 794-808.

La androgénesis y la ginogénesis son formas de herencia uniparental inducida o partenogénesis en la que la contribución genética femenina y masculina respectivamente es desactivada por alguna forma de irradiación de los gametos y el complemento del cromosoma del macho y la hembra son redoblados. El doblaje del complemento de los haploides se logra mediante la aplicación de choques físicos (en peces de aleta) o químicos (principalmente en moluscos) para restaurar el diploide. La descendencia ginogenética o diploide genética resultante son altamente o plenamente endogámicos dependiendo en como se restaura el diploide. Los individuos homocigóticos (es decir 100 por ciento endogámicos) pueden ser utilizados como base para producir líneas clonales isogénicas en las que todos los peces son idénticos genéticamente. La ginogénesis y en menor grado la androgénesis han sido aplicadas a una amplia variedad de especies de peces de aleta y crustáceos y fueron objeto de varios estudios y aplicaciones prácticas como por ejemplo para la aclaración de las bases genéticas para la determinación del sexo, la rápida inducción de la endogamia, cartografía genética y el análisis de loci de rasgos cuantitativos (QTLs). La androgénesis también puede ser utilizada en principio para recuperar los genotipos de los espermias criopreservados en donde los huevos de la misma especie no se encuentran disponibles. Sin embargo, han habido pocas aplicaciones comerciales de estas tecnologías.

Los poliploides se producen de un modo similar con aplicación de choques físicos y químicos en huevos normales fertilizados con interrupción de la segunda meiosis lo que resulta en triploides con dos juegos de cromosomas maternos y uno paterno. La interrupción de la mitosis produce la tetraploide con un complemento de cromosomas diploide duplicado. Los triploides han sido producidos en una gran variedad de especies de peces y moluscos y pueden lograrse en escala comercial en algunas especies siempre y cuando sea posible la fertilización artificial de huevos en gran escala. Se han producido tetraploides viables en unas pocas especies comercialmente importantes, sobre todo en los salmónidos y ostiones.

La aplicación principal de la manipulación de juegos de cromosomas en la acuicultura ha sido asociada con la esterilidad de los triploides inducidos lo que fueron producidos en varias especies de peces y numerosos moluscos bivalvos. La acuicultura tiene atracción por los peces estériles. En primer lugar, pueden poner relativamente más energía en el crecimiento somático y en segundo lugar proveen de beneficios potenciales del confinamiento

biológico facilitando el cultivo de genotipos exóticos y quizás en el futuro, el cultivo de peces transgénicos con crecimiento reforzado. Generalmente, sin embargo, los peces triploides no crecen más rápido que sus pares diploides⁴¹ aunque esto puede desembocar en la postmaduración cuando los triploides pueden también contar con proporciones dress-out más elevadas. Se ha demostrado que todos los peces triploides hembras que fueron inducidos y producidos para aparear fueron totalmente estériles; los triploides machos cuentan con gonadas más desarrolladas que las hembras, son generalmente estériles pero no se puede descartar casos aislados de fertilidad en los peces machos triploides. A la inversa, muchos estudios han demostrado que los bivalvos triploides, aunque en muchas especies no sean totalmente estériles, demuestran mejor rendimiento que los diploides.

La aplicación comercial más importante de la manipulación de los juegos de cromosomas se encuentra en los crustáceos bivalvos donde los triploides son ampliamente cultivados, por ejemplo aproximadamente el 50 por ciento de los ostiones cultivados en los Estados Unidos de América y Francia son triploides. Los crustáceos de agua dulce no tuvieron mucho éxito en los estudios sobre la manipulación de cromosomas debido al desafío que presenta el obtener huevos ovulados para la fertilización artificial. Sin embargo, las manipulaciones han sido posibles en algunas especies, por ejemplo según algunos reportes, la triploidia ha sido inducida con éxito en los langostinos peneidos. Los triploides pueden también resultar del apareamiento diploide x tetraploide en las pocas especies en que los tetraploides han sido producidos y demostrado ser viables, más notoriamente en los ostiones⁴² y esto puede que sea un medio comercialmente más viable y responsable en la producción en masa de los triploides.

Es muy probable que los triploides estériles lleguen a ser muy importante para la acuicultura en la protección de los derechos del criador y en el confinamiento biológico. Para esta última aplicación será necesario verificar en forma rentable y rápida los costos de la inducción triploidía y evaluar el potencial de fertilidad del pez triploide. Estos factores son vitales

⁴¹ Tiwary, B.K., Kirubakaran, R. y Ray, A.K. 2004. The biology of triploid fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 14, 391-402.

⁴² Guo, X. y Allen, S.K. 1994. Viable tetraploids in the Pacific oyster (*Crassostrea gigas* Thunberg) produced by inhibiting polar body 1 in eggs from triploids. *Molecular Marine Biology and Biotechnology* 3: 42-50.

para determinar el riesgo que los escapes o la liberación del cultivo sean viables reproductivamente. Los principales desafíos para estas tecnologías es el de producir peces 100 por ciento estériles, en forma auténtica y verificable, que sean comercialmente importantes, particularmente aquellos que resultaron de las opciones de confinamiento biológico o protección de propiedad intelectual tienen un valor significativo.

4.3.4 *Control del sexo*

Existe un fuerte incentivo comercial para cultivar poblaciones de sexo único (monosexual) en aquellas especies que cuentan con dimorfismo sexual para las características comercialmente importantes y en donde las especies se vuelven sexualmente maduras dentro del ambiente de cultivo antes de alcanzar el tamaño de cosecha. Podría existir, asimismo, aplicaciones de poblaciones monosexuales para el confinamiento biológico aunque esto es menos efectivo que el utilizar poblaciones estériles. Estos factores combinados pueden afectar profundamente el rendimiento en el cultivo de algunas especies, muy visible en las tilapias.

Se puede generar poblaciones monosexuales o casi monosexuales por medio del sexaje manual, hibridación, selección y el uso directo e indirecto de la reversión sexual hormonal. El sexaje manual es una labor intensiva e ineficiente y los cruzamientos híbridos sólo se aplican a combinaciones específicas de especies, muy visible en las tilapias. También se ha demostrado recientemente que existe una base genética de la diferenciación de sexo dependiente de la temperatura en la tilapia tanto que el porcentaje de machos que resulta del tratamiento a altas temperaturas de alevines pueda ser aumentado por la cría selectiva⁴³. Los métodos más aplicables para producir poblaciones monosexuales son los de reversión de sexo directo que utilizan hormonas o, indirectamente, por medio de programas de cría genética. La reversión directa del sexo puede ser aplicado generalmente sin importar el sistema de determinación de sexo y se ha logrado exitosamente en varias especies por inmersión de huevos y alevines en soluciones hormonales o alimentándoles con dietas hormonales⁴⁴. El enfoque indirecto a través de la aplicación de programas

⁴³ Wessels, S. y G. Hörstgen-Schwark. 2007. Selection experiments to increase the proportion of males in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by means of temperature treatment *Aquaculture* 272, Supplement 1: S80-S87.

⁴⁴ Piferrer, F. 2001. Endocrine sex control strategies for the feminization of teleost fish. *Aquaculture* 197: 229-281.

de cría, sin embargo, requiere un entendimiento de los mecanismos genéticos de determinación del sexo en las especies, el principal factor para el éxito es el que un sistema monogénico como el heterogameto macho (XX hembra; XY macho) como en los salmónidos y en algunas tilapias o heterogameto hembra (WZ hembra; ZZ macho) como en algunas tilapias y crustáceos de agua dulce. La figura 4.2 explica los programas de cría alternativa para producir descendencia todos machos en especies con heterogameto hembra y todas las descendencias hembras en especies con heterogameto macho.

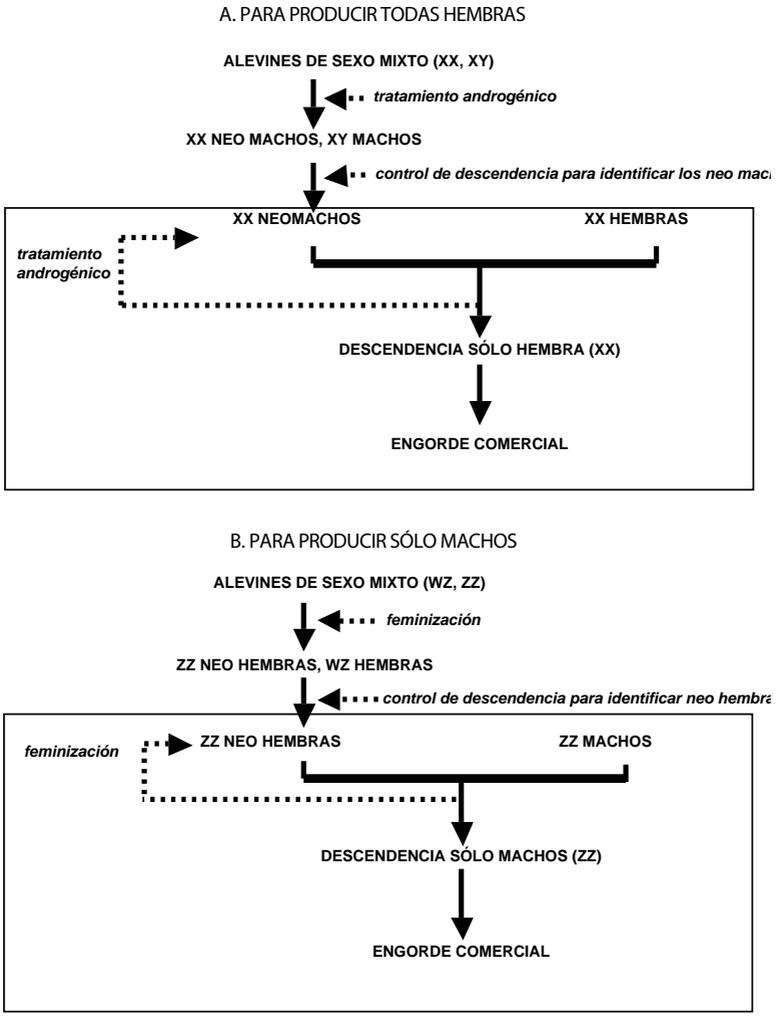
Los beneficios potenciales de las poblaciones de hembras monosexuales en la acuicultura salmonícola ha sido establecido hace bastante tiempo y se refiere a la disponibilidad mejorada de la reserva de genitores femeninos y evitar la maduración precoz de los machos de lo que resulta un crecimiento reducido, poca supervivencia y disminución de la calidad de la carne en la postmaduración. La utilización de toda la cría femenina producida usando la reserva de genitores de sexo invertido (neo-macho) no es universal pero existen sectores en algunos países en los que una proporción importante de la producción son monosexuales.

Las poblaciones de machos monosexuales tienen beneficios comerciales considerables en un gran número de especies, en particular en la tilapia debido a los problemas de maduración precoz y reproducción no deseada dentro del sistema de producción que presentan estas especies. Esto también puede ser producido por la masculinización directa o indirecta. La reversión del sexo a macho se ha conseguido en una variedad de peces a través de la aplicación de androgénicos exógenos como de la administración de dietas tratadas con methyltestosterone durante los primeros años del animal y es común en los criaderos de tilapia en todo el mundo. Los programas de cría en la producción de sólo machos son relativamente fácil de lograr en las especies heterogaméticas femeninas como la tilapia azul (*Oreochromis aureus*) y el langostino de río (*Macrobrachium rosenbergii*). En las especies heterogaméticas masculinas es posible producir genéticamente descendencia sólo machos a través de la generación de «supermachos» nuevos YY y tal programa de cría ha sido desarrollado comercialmente con la tilapia del Nilo (*O. niloticus*)⁴⁵.

⁴⁵ Mair, G.C., Abucay, J.S., Skibinski, D.O.F., Abella, T.A. y Beardmore, J.A. 1997. Genetic manipulation of sex ratio for the large scale production of all-male tilapia *Oreochromis niloticus* L. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 54, 396-404.

Figura 4.2

Ejemplos de programas de cría para la producción de hembras monosexuales (A) para las especies con heterogameto masculino y machos monosexuales (B) en especies con heterogameto femenino. Los componentes dentro de las casillas son los pasos que pueden ser repetidos en ciclos como parte de la producción comercial a fin de mantener el suministro de reserva de genitores con sexo manipulado



Los programas de control de sexo son importantes sólo para algunas especies para las cuales los beneficios económicos se acumularán del cultivo de las poblaciones monosexuales. Es muy probable que la inducción directa del cambio de sexo por el uso de hormonas enfrente resistencia social de parte de consumidores potenciales del pez tratado por más que algunos estudios han demostrado que una hormona exógena excesiva desaparece de los tejidos del pez poco después del cese del tratamiento. Sería más aceptable recurrir a estrategias ecológicas y éticamente sólidas (como la manipulación para la determinación sexual medioambiental más que por tratamiento hormonal). Los enfoques indirectos como los programas de cría para la producción monosexual podrían ser aceptados más ampliamente pero enfrenta un gran desafío que es el de contar con sólidos conocimiento de los mecanismos genéticos de determinación del sexo lo que requerirá de estudios exhaustivos.

El control del sexo puede ser utilizado como un modo de confinamiento biológico partiendo del hecho que cualquier introducción o escape de la acuicultura no será capaz de reproducirse entre si y de esta manera será incapaz de formar poblaciones silvestres sostenibles. Las poblaciones cultivadas necesitarían ser 100 por ciento monosexuales para que esta tecnología sea un medio efectivo de contención y sólo podría ser aplicable en donde no existan especies compatibles reproductivamente en el ambiente receptor.

4.3.5 Transgénesis

La transgénesis es una tecnología de ingeniería genética donde una secuencia de genes aislados de un organismo es insertado en otro organismo para conceder un rasgo nuevo o modificado. Esta secuencia de genes aislados se denomina construcción y está compuesta de un gen funcional y un gen promotor que actúa como un interruptor para activar el gen funcional. Los organismos que resultan de una transgénesis exitosa son clasificados como organismos modificados genéticamente (OMG) y provocan preocupaciones sociales y sujetos a regulaciones. Los primeros estudios utilizaron construcción de genes extraños de otras especies, incluyendo especies terrestres. Antes de realizar un estudio es importante conocer bien los riesgos e inquietudes éticas, salud humana e impactos medioambientales de los peces transgénicos para comprender el medioambiente de las políticas en el que será llevado a cabo el estudio y bajo el cual será regulado el resultado de dicho estudio. Un buena

reacción frente a los riesgos y preocupaciones sobre los peces transgénicos es el de enfocar la investigación y el desarrollo en la producción del autotransgénicos en el que la secuencia del gen introducido deriva de las mismas especies.

La transgénesis ha sido un área importante de estudio en la genética de peces desde comienzos de la década de 1990. Los estudios realizados en esta área son más avanzados que los de otra área de ganadería debido a la facilidad relativa de manipulación de la biología reproductiva en especies acuáticas.

La inducción de trasgénicos debería abarcar una serie de pasos: identificación del gen fijado como meta y desarrollo de construcción; introducción del gen en huevos recién fertilizados, generalmente por microinyección o electroporación; determinar la incorporación del transgén en el genoma anfitrión, determinación de la expresión transgénica; determinación de la herencia del transgénico y cuantificación del efecto del transgén en las características fijadas como meta o no fijadas como meta. El paso final en esta secuencia es de gran importancia ya que será necesario caracterizar las propiedades del pez transgénico para ser capaz de evaluar los riesgos potenciales asociados con su cultivo. La característica principal fijada como meta en los estudios transgénicos de peces fue la mejora de la tasa de crecimiento en acuicultura a través de la introducción de construcciones de genes con hormona de crecimiento. Los estudios también han tenido en mira otros rasgos como las enfermedades y control de reproducción y el foco de los estudios transgénicos debería ser en las características que son difíciles de mejorar por medio de métodos cuantitativos. Los peces transgénicos pueden también ser considerados como muestras útiles para los estudios de regulación y expresión de los genes y tienen potencial como biogranjas para producir fármacos valiosos.

Los pasos de desarrollo mencionados anteriormente se ha llevado a cabo con éxito en un variado número de especies de peces de aleta y líneas transgénicas lo que algunas veces provocó un aumento en el rendimiento de crecimiento⁴⁶. Los transgénicos tienen el potencial de permitir cambios rápidos en los rasgos comercialmente importantes pero el tomar conciencia de los riesgos asociados es crítico para el planeamiento e implementación de tales estudios (ver Capítulo 7).

⁴⁶ FAO. 2000. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2000*. Rome. 150p.

A pesar de haberse demostrado claramente el rendimiento mejorado bajo condiciones de cultivo en una gran variedad de especies no existen en la actualidad peces comestibles no transgénicos bajo producción comercial. Actualmente, el único ejemplo existente en el mercado es el GloFish®, un zebrafish transgénico fluorescente que ha sido aprobado para su venta y sólo está en venta en los Estados Unidos de América. Al momento de escribir existe un caso importante en donde la Administración de Alimentos y Fármacos (FDA) de los Estados Unidos está evaluando una solicitud de licencia para comercializar especies de salmón transgénicos para su uso en la acuicultura. Mientras que esto es un proceso largo, cualquier aprobación condicional por parte de la FDA (muy probable que sea limitado a sistemas de producción cerrada o terrestre) representará un modelo para consideración de aprobaciones para la comercialización de otras líneas de peces transgénicos en otros estados.

Mientras que existen algunas razones técnicas detrás de la falta de comercialización de peces transgénicos, la razón principal es la preocupación por los riesgos éticos, bienestar animal, seguridad alimentaria humana y riesgos medioambientales asociados con el cultivo de peces transgénicos. Los formuladores de políticas, administradores de recursos y aquellos que contemplan el uso de OMG deberían estar familiarizados con las cuestiones de evaluación de riesgos ambientales y gerencia de peces transgénicos, tanto en el campo de la investigación como en la producción comercial potencial⁴⁷.

Con las soluciones que existen para muchos de los obstáculos técnicos para lograr la aplicación exitosa de la transgénesis en los peces, el principal desafío está en la evaluación completa de los riesgos medioambientales, éticos y salud del consumidor que actualmente limitan la comercialización de esta tecnología.

4.3.6 Marcadores genéticos y selección del marcador asistido

Un marcador genético es la variación en un gen o secuencia de ADN y puede ser identificado mediante técnicas moleculares y utilizado para posibilitar la identificación de genotipos y así identificar individuos o grupos de interés. Antes de los avances en genética molecular, las isozimas

⁴⁷ Kapuscinski, A.R., Hayes, K.R., Li, S. y Dana, G. (eds). (E.M. Hallerman y P.J. Schei, series editors). 2007. Environmental Risk Assessment of Genetically Modified Organisms, Vol 3: Methodologies for Transgenic Fish. CABI Publishers. 310pp.

y otras proteínas fueron los marcadores de preferencia. Hoy en día existe una variada gama de marcadores ADN, como los polimorfismos de ADN mitocondriales (mtADN), polimorfismo de longitud de los fragmentos de restricción (PLFR); ADN polimórfico amplificado al azar (APAA); marcadores de repetición de secuencia (principalmente microsatélites), polimorfismo de la longitud de los fragmentos de amplificación (PLFA) y polimorfismo de un solo nucleótido (SNPs). Los marcadores más utilizados en genética acuícola son los microsatélites aunque el PLFA y el SNPs están encontrando más aplicación. El Cuadro 4.2 sintetiza las aplicaciones potenciales para los marcadores genéticos en la acuicultura y ofrece un listado de los marcadores de preferencia para diferentes prioridades.

Los marcadores ADN polimórficos han sido desarrollados en los bancos de ADN para la mayoría de las especies importantes en acuicultura incluyendo las carpas, tilapias, camarones, salmónidos y bagre. Estos marcadores tienen un número importante de aplicaciones que están siendo utilizados con más frecuencia en acuicultura (en su mayor parte en investigaciones pero su aplicación comercial va en aumento) ya que cada vez más empresas invierten en programas genéticos y el costo de los análisis de marcadores genéticos disminuye.

Actualmente, la aplicación más común de los marcadores en programas genéticos está en la asignación de ascendencia en la cual la eficiencia de los programas de cría selectiva puede ser mejorada por medio del uso de marcadores genéticos para identificar peces selectos con la familia y así con los progenitores individuales. La eliminación de la necesidad de mantener a las familias separadas (ya sea a través de la evaluación del rendimiento o por lo menos hasta que puedan ser físicamente marcados) debería reducir el problema de los efectos medioambientales sobre el rendimiento familiar y permitir que más familias sean evaluadas lo que puede producir intensidades de selección más elevadas y aumento de la respuesta a la selección.

En una programa ideal de cría, los marcadores genéticos pueden ser utilizados para: (1) caracterizar a la potencial población(es) fundadora(s) para informar sobre el desarrollo de una población de base genéticamente variable; (2) comprender la estructura de la población natural para informar sobre la formación de la población fundadora y la evaluación

Cuadro 4.2 Descripción de las aplicaciones prácticas de las tecnologías de marcadores genético en la acuicultura^a

Técnica	Descripción	Aplicaciones	Observaciones
Variedad/ identificación de la población	Se puede utilizar un juego de marcadores genéticos para identificar marcadores que son diagnósticos para especies o poblaciones. Marcadores preferidos: microsatélites, SNPs, PLFA, Isozimas y APAA.	Discriminación de diferentes poblaciones de cultivo incluyendo la protección de los derechos del criador sobre las poblaciones mejoradas. Identificación de la intrrogresión híbrida intencional o involuntaria. Identificación o confirmación de los escapes de la acuicultura. Identificación de la tasa de la recaptura en las pesquerías mejoradas.	Se han desarrollado diagnósticos de marcadores (de diferentes tipos) para varias especies de importancia comercial y pueden ser fácilmente accesibles. Generalmente, deben desarrollarse marcadores para diferentes poblaciones o variedades. Dichos marcadores pueden llegar a ser importantes para la localización de poblaciones acuícolas.
Cuantificación o caracterización de la variación genética	Los marcadores genéticos pueden ser utilizados para cuantificar y caracterizar los niveles de la variación genética, como el número de alelos por locus, la proporción de alelos polimórficos y heterocigosis promedio. Marcadores preferidos: PLFA y microsatélites.	Determinación de las posibilidades y severidad de la endogamia. Estimación de los tamaños actuales y históricos de la población efectiva actual (N_e). Comparación de los méritos de las poblaciones candidatos fundadoras para la cría selectiva. Confirmación de la homocigosis en haploides dobles.	En los programas genéticos es útil contar con un juego estándar de marcadores genéticos para determinar los niveles básicos de variabilidad (además de otras aplicaciones) en las poblaciones fundadoras de modo que los impactos de la domesticación y la gerencia genética puedan ser cuantificados a largo plazo.
Determinación de las relaciones genéticas entre las poblaciones	Los marcadores pueden ser utilizados para construir relaciones genéticas entre las poblaciones múltiples como los árboles filogenéticos. Marcadores preferidos: mtADN, microsatélites, PLFA	Identificación del origen (Pej la población de origen) de las poblaciones cultivadas. Determinación de la estructura genética de las poblaciones silvestres.	Es conveniente entender la estructura genética de los peces silvestres para evaluar los riesgos de la contaminación genética de la acuicultura basados en las poblaciones alteradas genéticamente e informar las políticas sobre translocación. Asimismo, información de gran utilidad cuando se forma las poblaciones fundadoras genéticamente variables.

^a Adaptado de Liu, Z.J. y Cordes, J.F. 2004. DNA marker technologies and their applications in aquaculture genetics. *Aquaculture* 238: 1-37.

Cuadro 4.2 (continuación) Descripción de las aplicaciones prácticas de las tecnologías de marcado genético en la acuicultura

Técnica	Descripción	Aplicaciones	Observaciones
Asignación de ascendencia (determinación genealógica)	Utilización de un juego de marcadores genéticos para determinar la probabilidad que un descendiente deriva del cruzamiento de dos progenitores específicos. Marcadores específicos: microsatélites y SNPs.	Determinar el número de la reserva de genitores que contribuye con la cría en reservorios de desove y así estimar el N_e . Identificar la familia de origen para seleccionar la futura reserva de genitores a fin de minimizar la endogamia.	El costo de la aplicación de los sistemas de marcadores para la asignación de ascendencia está disminuyendo (especialmente para SNPs) y son cada vez más utilizados para la identificación de las familias en los programas de cría. Puede presentar un problema en cómo identificar los peces mientras son genotipados para una tarea .
Selección de marcador asistido	La selección de un marcador específico conocido por estar relacionado con una característica importante comercialmente (conocido como lugar de rasgos cuantitativos — LRC) antes que el rasgo mismo. Requiere de la construcción de mapas genéticos. Marcadores preferidos: SNPs, microsatélites y otros.	Actualmente, no tiene aplicación comercial en acuicultura. Sólo algunas especies han sido adecuadamente localizadas. Desarrollo del potencial para aquellas características que son difíciles de mejorar utilizando métodos tradicionales.	Se está utilizando la SAM para el mejoramiento genético en un pequeño número de rasgos en la cría de ganado pero aún no se ha desarrollado adecuadamente o probado en acuicultura.

de los riesgos generados por el cultivo de poblaciones alteradas genéticamente; (3) mejorar el rendimiento de la cría selectiva por medio de una asignación genealógica y (4) caracterizar los impactos a largo plazo de la domesticación y gerencia genética (o mala gestión) de las poblaciones cautivas (por ej. determinar la pérdida de la variación genética donde el tamaño de la población efectiva es subóptimo).

Los marcadores genéticos también pueden ser utilizados para construir mapas genéticos donde a los marcadores relacionados se les asigna los grupos de enlace y en última instancia cromosomas individuales. Los marcadores genéticos vinculados a los genes que contribuyen con los rasgos cuantitativos son conocidos como lugar de rasgos cuantitativos (LRC). Los programas de cartografía de genes están ahora en curso para varias especies acuícolas importantes incluyendo al ostión del Pacífico, salmónidos, pez gato del canal, tilapia del Nilo y la lubina⁴⁸. Una vez desarrollados los mapas de enlaces pueden ser seleccionados para identificar el LRC en cuestión.

El efecto LRC puede ser cuantificado correlacionando la herencia de los alelos marcadores con el rendimiento individual para la característica fijada como meta. Se han identificado un número de LRC para las características importantes en peces como la tolerancia a las temperaturas, crecimiento y resistencia a las enfermedades (por ej. tolerancia al frío en la tilapia⁴⁹).

La selección con ayuda de marcadores (SAM) es la incorporación de marcadores genéticos vinculados al LRC en los programas de mejoramiento genético y tiene el potencial de aumentar la selección, particularmente para los rasgos que podrían tener baja heredabilidad o que no pueden ser medidos directamente en los individuos de cría. Mientras que grandes esfuerzos investigativos están desarrollando o evaluando el LRC, aún no existen poblaciones comerciales que utilicen SAM.

⁴⁸ Garber, A.F. y Sullivan, C.V. 2006. Selective breeding for the hybrid striped bass (*Morone chrysops*, Rafinesque x *M. saxatilis*, Walbaum) industry: status and perspectives. *Aquaculture Research* 37: 319-338.

⁴⁹ Cnaani, A., Hallerman, E.M., Ron, M., Weller, J.I., Indelman, M., Kashi, Y., Gall, G.A. y Hulata, G., 2003. Detection of a chromosomal region with two quantitative trait loci, affecting cold tolerance and fish size, in an F₂ tilapia hybrid. *Aquaculture*, 223(1-4): 117-128.

Los beneficios potenciales de los marcadores genéticos en la mayoría de las aplicaciones no se han refutado aunque el potencial real para la incorporación de la selección de marcadores asistidos en los programas de cría y las ganancias productivas y económicas que se obtengan deben aún ser verificadas y ésto, actualmente, representa un gran desafío para la investigación.

4.4 El estado actual del mejoramiento genético y perspectiva futura

Es difícil estimar la proporción de la producción global acuícola que está siendo domesticada pero los mejores cálculos podrían indicar que aproximadamente el 35 por ciento de la producción acuícola no está domesticada, especialmente poblaciones silvestres que no se adaptan a los medioambiente cautivos. Esto se compara con otras formas de producción agrícola que son casi exclusivamente de germoplasma domesticado y mejorado genéticamente. Los beneficios de la domesticación en términos de adaptación a medioambiente cautivos es tal que se recomienda que cualquier industria acuícola importante y potencialmente sostenible a largo plazo debería iniciar programas de domesticación en los cuales la diversidad genética de las poblaciones estén siendo manejadas eficientemente.

La proporción de la producción acuícola global que está basada en poblaciones mejoradas genéticamente (la mayoría obtenida selectivamente pero incluyendo también a las poblaciones monosexuales y triploides) se estima ser entre 10 y 20 por ciento por lo que claramente, existe campo para aumentar significativamente la producción y la eficiencia productiva a través de una amplia implementación de los programas efectivos de mejoramiento genético enfocados en la cría selectiva.

La relativa falta de recursos para apoyar el desarrollo de los programas de cría, es uno de los desafíos que enfrenta el futuro desarrollo de la genética acuícola. Entre los recursos en déficit se incluyen los recursos físicos, económicos y humanos. Los programas de cría bien administrados que generan grandes ganancias genéticas utilizan servicios que les permita la cría de familias múltiples de peces. Dada su naturaleza de largo plazo, requieren de financiamiento sostenible, puede pasar varios años antes que generen los beneficios de la inversión en programas genéticos que

se lograrán mediante la producción de semillas o por la mejora en su rendimiento de producción (Capítulo 6). Otra limitación descansa en los recursos humanos particularmente en el área de genética cuantitativa lo que generalmente requiere de capacitación especializada de relativo alto nivel.

Casi no cabe duda que el aumento consistente en la demanda por el producto acuícola motivará a mejorar la eficiencia de producción y mejoramiento genético, componentes importantes de estos esfuerzos. Los programas de mejoramiento genético se han establecido para transformar las poblaciones acuícolas en las próximas décadas, teniendo a la cría selectiva en el centro de estos programas pero con otras tecnologías que agregan valor a estos esfuerzos en donde los beneficios claros son aparentes. En donde los estados están promoviendo e invirtiendo en la expansión de la acuicultura, es importante estar concientes de los principios básicos de la gerencia genética , el método más rentable para el mejoramiento genético y los riesgos ecológicos y medioambientales asociados con la amplia captación de reservas mejoradas por parte de los productores. Además de estos factores tecnológicos, es también crítica la provisión de recursos adecuados para apoyar la implementación de estrategias de mejoramiento genético a largo plazo.

5 DISEMINACIÓN DE VARIEDADES MEJORADAS GENÉTICAMENTE Y ACUERDOS SOBRE LA TRANSFERENCIA DE MATERIAL⁵⁰

5.1 Introducción

Esta sección cubre (i) la transferencia de los rasgos mejorados genéticamente de un país a otro y (ii) la multiplicación y difusión de germoplasma entre países. Aunque estén relacionados, existen asuntos específicos para cada uno y por ello se los trata separadamente.

El Artículo 9.1.2 del Código de Conducta para la Pesca Responsable requiere que «*Los Estados deberían promover el desarrollo y la ordenación responsable de la acuicultura incluyendo una evaluación previa, disponible de los efectos del desarrollo de la acuicultura sobre la diversidad genética y la integridad del ecosistema basada en la información científica más fidedigna*». En el Artículo 9.3, continua: «*Los Estados deberían conservar la diversidad genética y mantener la integridad de las comunidades y ecosistemas acuáticos... Los Estados deberían cooperar en la elaboración, adopción y aplicación de códigos internacionales de prácticas y procedimientos para la introducción y transferencia...*» y «*reducir al mínimo los riesgos de transmisión de enfermedades y otros efectos negativos para las poblaciones silvestres y cultivadas...*» Las orientaciones técnicas para la implementación del artículo 9 (Desarrollo de la Acuicultura) del Código fueron desarrolladas en 1997⁵¹ y a partir de aquí se han elaborado un variado número de instrumentos y herramientas para desarrollar una acuicultura responsable y sostenible. Estas directrices tratan de ser congruentes con el Convenio sobre la Diversidad Biológica⁵² (ver Capítulo 2) y otras consultas de políticas diseñadas para asegurar el uso prudente de los recursos genéticos silvestres y mejorados.⁵³

⁵⁰ Contribución de R.E. Brummett, M.C.M. Beveridge, R.W Ponzoni, R.J. Lawton y D.M. Bartley.

⁵¹ FAO (1999). Desarrollo de la acuicultura. FAO Orientaciones Técnicas para la Pesca Responsable. No. 5. Roma, FAO. 54p. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/003/W4493s/W4493s00.pdf>

⁵² <http://www.cbd.int/default.shtml>

⁵³ ICES (2004) Code of Practice on the Introductions and Transfers of Marine Organisms <http://www.ices.dk/reports/general/2004/ICESCOP2004.pdf>; Hewitt, C.L., Campbell, M.L. y Gollasch, S. (2006). Alien Species in Aquaculture. Considerations for Responsible Use. <http://www.iucn.org/dbtw-wpd/edocs/2006-036.pdf>. IUCN, Gland, Switzerland; WorldFish Center (2002) Nairobi Declaration on Aquatic Biodiversity and Use of Genetically Improved and Alien Species for Aquaculture in Africa. http://www.worldfishcenter.org/cms/list_article.aspx?catID=39&ddlID=109. WorldFish Center (2003) Dhaka Declaration on Ecological Risk Assessment of Genetically Improved dFish, http://www.worldfishcenter.org/Pubs/Dhaka%20booklet/Dhaka_booklet.pdf

Las secciones siguientes brindan orientaciones generales sobre la difusión de variedades mejoradas genéticamente entre y dentro de países, con particular referencia a los peces mejorados por medio de la cría selectiva tradicional, en lugar de a organismos vivos modificados (OVM)⁵⁴ o híbridos transgénicos, lo que podría ser considerado como introducciones de especies exóticas. Estas orientaciones deberían servir como punto de partida para desarrollar guías que se enfoquen en casos específicos. La información que se provee es de naturaleza técnica y no cubre ciertos aspectos legales y de política, como el acceso y participación en los beneficios o propiedad intelectual, que también regula el acceso a, y condiciones para el uso, de los recursos genéticos de peces.

Como se mencionó antes, este capítulo no se centra en el intercambio de los recursos genéticos silvestres, lo que podría ofrecerse a otros países con fines investigativos, de cría y capacitación para la acuicultura. Los mecanismos de intercambio para los recursos genéticos para la alimentación y la agricultura en otros sectores, como en los cultivos, han recibido más atención internacional que los recursos genéticos de peces en acuicultura. Estos mecanismos detallan normalmente los derechos y obligaciones del proveedor y el destinatario con respecto a los materiales transferidos. Se pueden esperar tendencias similares en la acuicultura ya que el intercambio de los recursos genéticos de peces irá en aumento en los próximos años con el desarrollo de programas de cría en todo el mundo.

5.2 Transferencia de una variedad mejorada a otro país

5.2.1 Introducción

El Código promueve el uso del *Código de Prácticas sobre la Introducción y Transferencia de Organismos Marinos 2004* desarrollado por el Consejo Internacional para la Exploración del Mar (ICES) y las Orientaciones técnicas sobre el Uso Responsable y el Control de Especies Exóticas sobre el movimiento de peces de un país a otro y alienta a los países a que estas transferencias se realicen de tal manera que se minimicen las amenazas a la diversidad genética y biológica autóctona. Ha habido numerosos casos documentados de competición, depredación y transferencia de enfermedades y daños en el hábitat como

⁵⁴ El Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología define un OVM como un organismo resultante de las manipulaciones de ADN y fusión de células más allá de la familia taxonómica.

consecuencia de la introducción de especies exóticas y se debería tratar con suma prudencia⁵⁵. En el caso de líneas selectas, se tiene evidencias en salmónidos que las frecuencias del gen modificado en los peces sembrados para mejorar la población o utilizados en la acuicultura pueden reducir la aptitud física de toda una vida de las poblaciones autóctonas de la misma especie o íntimamente relacionada cuando se los libera en el hábitat silvestre y se cruzan con genomas silvestres por medio de la introgresión genética (esto es, introducción de alelos en la población salvaje de los variedades mejorados)⁵⁶.

5.2.2 *Guías para las transferencias*

Biológicamente hablando la unidad geográfica más importante para tener en cuenta en una transferencia de germoplasma acuática es la cuenca hidrográfica⁵⁷ y no los límites locales, regionales o políticas internacionales. Aunque las agencias gubernamentales deberían tomar en consideración las transferencias realizadas en y desde fuera del país, la transferencia de peces dentro de una cuenca más allá de los límites políticos podría resultar menos grave que la transferencia de una cuenca a otra dentro de la misma jurisdicción política o país.

Ante la ausencia de una autoridad nacional responsable de las transferencias de germoplasma, se debería solicitar la introducción de líneas mejoradas a la máxima autoridad responsable de la pesquería en el país importador (por ej. Director de Pesquerías, Medioambiente o Agricultura) sobre la base de una buena evaluación del impacto ambiental (EIA) y análisis de los costos y beneficios.

⁵⁵ Sindermann, C.J. 1993. Disease risks associated with importation of non-indigenous marine animals. *Marine Fisheries Review*, 54, 1-10; McVicar, A.H. (1997). Disease and parasite implications of the coexistence of wild and cultured salmon populations. *ICES Journal of Marine Science*, 54, 998-1008.

⁵⁶ McGinnity *et al.* 2003. Fitness reduction and potential extinction of wild populations of Atlantic salmon, *Salmo salar*, as a result of interactions with escaped farmed salmon. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, 270: 2443-2450; Jonsson, B. y Jonsson, B. (2006) Cultured salmon in nature: a review of their ecology and interactions with wild fish. *ICES Journal of Marine Science* 63: 1162-1181; Verspoor, E., Stradmeyer, L., Neilsen, J.L. (eds.). 2007. *The Atlantic Salmon. Genetics, Conservation and Management*. Blackwells, Oxford.

⁵⁷ El término cuenca hidrográfica se utiliza aquí para referirse a los cuerpos de agua interconectados, definido en el nivel de captura o subcaptura.

Las orientaciones de la EIA y el análisis de los costos negativos potenciales asociados con cualquier importación deberían tomar en cuenta lo siguiente:

- La presencia de diversidad genética coespecífica potencialmente valioso en la cuenca en cuestión a la cual será importado el nuevo material.
- La presencia de otra biodiversidad acuática rara o amenazada que podría ser afectada negativamente por la introducción.
- La presencia de especies locales autóctonas adecuadas o estrategias de mejora genética de peces que están siendo cultivados para ser utilizados como una introducción alternativa.

El Código del ICES recomienda una estructura para la introducción de los organismos acuáticos que cubre a las especies exóticas y líneas mejoradas. EL Código es conceptualmente simple y contiene los requisitos que cualquier persona, agencia o negocio debería de seguir si planea utilizar el germoplasma no autóctono. Entre las formalidades iniciales se encuentra la preparación de una propuesta que será examinada por un cuerpo independiente. Los resultados del examen se comunican a los presentadores para su aprobación, revisión o rechazo. Si se aprueba la propuesta de introducir la nueva especie, el Código solicita la gerencia sanitaria del pez, seguimiento y reporte.

5.2.3 *Acuerdo de Transferencia de Material (ATM)*

Si se aprueba el pedido de introducción, la transferencia debería ser consistente con las leyes nacionales e internacionales tales como las relacionadas con el acceso y participación en los beneficios, derechos de propiedad o bioseguridad. Normalmente, las condiciones para acceder y utilizar estos materiales genéticos están establecidas en el Acuerdo de Transferencia de Material. El ATM debería estar certificado por el órgano nacional responsable del país importador y ser comunicado a la Base de datos sobre introducciones de especies acuáticas (DIAS) de la FAO⁵⁸.

⁵⁸ Base de datos sobre introducciones de especies acuáticas (DIAS) de la FAO: <http://www.fao.org/fi/website/FISearch.do?dom=introsp>, FishBase: <http://www.fishbase.org>

Los acuerdos de transferencia de material pueden ser acuerdos obligatorios y generalmente son redactados para documentar y describir las condiciones para la transferencia de materiales biológicos tangibles, incluyendo los materiales utilizados para estudios y peces mejorados genéticamente, de una entidad a otra. En el Anexo 5.1 se muestra un ejemplo de ATM.

5.2.4 Protocolos para la transferencia

Los siguientes protocolos están basados en códigos internacionales de práctica que pueden incluir uno o más protocolos de diferentes países y se incluyen para servir como orientaciones generales. Pueden ser considerados como una adición a los requisitos nacionales individuales, o servir de base a los elementos de las regulaciones nacionales.

5.2.4.1 País exportador (transferencia) u organización

Como anexo del Acuerdo de Transferencia de Material se debería incluir información técnica específica sobre el germoplasma solicitado, particularmente:

- nombres científicos y locales de las población transferida;
- caracteres principales de la población transferida que la hagan atractiva para la importación;
- uso previsto de la población transferida y lugar exacto de ese uso;
- número de los individuos transferidos,
- número y tipo (por ej. hermanos completos, medio hermanos) de familias representadas en la transferencia;
- edad o estado ontológico (por ej. huevos, larva, post larva, alevín de migración ascendente, pececillos) de los individuos transferidos;
- enfermedad e historia de la exposición de la población a patógenos;
- sexo genotípico y fenotípico de la población transferida (por ej. hembras normales, machos normales, sexo mixto normal, sexo genéricamente mixto pero fenotípicamente todos machos — con tratamiento hormonal).

El material a ser transferido debe estar acompañado de un certificado veterinario donde conste de estar libre de parásitos recetados, patógenos

y cualquier otra biota expedida por una autoridad competente. El agua de transporte, si lo hay, debe estar limpio y libre de materias suspendidas. En lo posible, la población transferida debe ser desinfectada antes del transporte.

La propuesta original de petición de importación de las especies al país debería contener la mayoría de esta información. Puede ser duplicada con el ATM para asegurar la conformidad con las condiciones del acuerdo.

5.2.4.2 País importador (receptor) u organización

Una preocupación primordial para los países importadores es la salud del pez y la prevención de patógenos transfronterizos. Algunas secciones de las Orientaciones Técnicas⁵⁹ en la materia hacen referencia a una estrategia nacional sobre la salud acuática animal y se sintetizan aquí. Una estrategia nacional formal sobre la salud de los animales acuáticos proporciona a los países con un «mapa de ruta», basado en las prioridades y necesidades nacionales, para alcanzar el estado de salud deseado. Entre los componentes de una estrategia nacional se incluyen: los patógenos a ser considerados, diagnóstico de la enfermedad, certificado de salud y medidas de cuarentena, zonas de enfermedades, vigilancia de las enfermedades y reporte, plan de contingencia, análisis de los riesgos de importación, marco de políticas y fomento de la capacidad regional.

Consistente con la Organización Mundial del Comercio (OMC) y el Acuerdo sobre la *Aplicación de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias* (Acuerdo MSF) todos los países se reservan el derecho de tomar las medidas sanitarias y fitosanitarias necesarias para la protección de la vida humana, animal o vegetal. Al determinar el nivel adecuado de protección (NAP), se deben tomar en cuenta factores económicos, sociales y ecológicos relevantes.

En lo posible, las poblaciones deberían importarse como huevos o en sus etapas iniciales de vida más, antes que el reproductor adulto. Cuanto más vive el pez, mayores las posibilidades de entrar en contacto con un patógeno. Además, en las etapas iniciales de vida, porta menos infecciones

⁵⁹ FAO. 2007. Aquaculture Development. 2. Health management for responsible movement of live aquatic animals. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. No. 5, Suppl. 2. Rome, FAO. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1108e/a1108e00.pdf>

subclínicas que los adultos, son más fáciles de mantener en cuarentena y los huevos no pueden transmitir ciertos patógenos, por ej. los parásitos en la branquia.

Antes de la importación, el personal cualificado del país importador debería consultar con la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE), que es el órgano normativo de la Organización Mundial del Comercio (OMC) para los patógenos de peces, publicaciones y servicios, servicios de redes de contacto para las enfermedades⁶⁰ con el fin de identificar las áreas que son objeto de preocupación de la salud del pez. Se debe hacer el máximo de esfuerzo para obtener los peces de criaderos que practiquen buena gerencia sanitaria y aseguren la calidad de la certificación veterinaria del país exportador. Al llegar, los envíos deberían ser examinados para comprobar que estén libres de patógenos recetados, por ej. los enumerados oficialmente por la OIE, parásitos y otros materiales biológicos no aprobados, como las especies «polizón» (*hitchhiking species*) para los cuales no se solicitó la importación. Si se identifican enfermedades, el envío debería ser destruido y desechado apropiadamente, a menos que se pueda garantizar un tratamiento efectivo.

La cuarentena debe mantener aislado a un grupo de animales acuáticos sin contacto directo o indirecto con otros animales acuáticos, para ser observados durante un cierto periodo de tiempo y, si fuera necesario, someterlos a pruebas y tratamientos, incluso tratamiento apropiado de las aguas efluentes⁶¹. El nivel de la cuarentena debe estar relacionado al riesgo de propagación de la enfermedad. La primera importación de especies exóticas, o especies recogidas del hábitat silvestre o recursos sanitarios desconocidos, podría requerir cuarentenas más restrictivas.

Se debería entender que la inspección física y la cuarentena son parcialmente eficaces para prevenir la transferencia de patógenos. Cualquier bacteria o virus a los que la población importada ya es inmune o sólo manifiestan síntomas subclínicos, es decir, parecen sanos, puede ser detectado a través de experimentos e inmunoanálisis pero no será erradicado manteniéndolo aislado. Las pruebas y observaciones realizadas durante la cuarentena

⁶⁰ http://www.oie.int/eng/en_index.htm; Permanent Advisory Network for Diseases in Aquaculture (PANDA; <http://www.europanda.net/>), Aquatic Animal Pathogen and Quarantine Information System (AAPQUIS, <http://www.aapqis.org/v2/Default.aspx>).

⁶¹ OIE. 2005. *Aquatic animal health code*. 8th Edn. Paris.
http://www.oie.int/eng/normes/fcode/A_summry.htm

pueden abarcar experimentos de cohabitación con especies locales o poner a los animales bajo mayor estrés durante la cuarentena con el fin de observar si surgen problemas de salud.

Sin embargo, la cuarentena brinda una oportunidad a las autoridades para observar por un período de tiempo a la población que da indicios de tener problemas. En una instalación apropiada, la cuarentena debería ser de por lo menos 28 días pero debe estar determinada por los patógenos específicos que están bajo consideración. Al llegar, las introducciones deben ser desinfectadas en un baño profiláctico y, si es posible, someterlos a un tratamiento oral de antibióticos varios. Todas las aguas, materiales de empaquetamiento, contenedores u otros materiales similares de transporte deben ser esterilizados o destruidos.

Los sitios bajo cuarentena deben ser seguros para evitar escapes y descargas de agua. El agua debe ser desechada con cuidado. Si surge el brote de alguna enfermedad en la unidad bajo cuarentena el tratamiento es posible en algunos casos. Sin embargo la terapia química puede causar otros problemas como la resistencia a los antibióticos y debe ser utilizada bajo supervisión de expertos. Cuando no se puede controlar el brote, las poblaciones enfermas deben ser destruidas y desechadas apropiadamente luego de la esterilización. La calidad del agua debe ser supervisada regularmente y se deben llevar a cabo controles periódicos de parásitos y enfermedades. Se debería mantener una lista de los parásitos conocidos, enfermedades y patógenos e informar al exportador sobre casos inesperados de parásitos o patógenos.

Las primeras importaciones no deberían ser transferidas al medioambiente natural. El Código del CIEM recomienda distribuir solamente la generación F_1 de las especies importadas luego de la cuarentena de los progenitores originales.

Las áreas de zonificación del uso y conservación de la acuicultura (Capítulo 9) se aplican también a la gerencia de la salud del pez. Los países deben establecer zonas en donde se sabe que existen ciertos patógenos y zonas libres de enfermedades; las zonas deberían basarse en criterios ecológicos más que en límites políticos. El movimiento de los animales entre las zonas donde existen los mismos patógenos o de una zona libre de enfermedades no será problemático. Los animales no podrán trasladarse de una zona con patógenos que no existen en la zona receptora.

5.3 Diseminación de un variedad mejorada dentro de un país como parte de una estrategia racional de desarrollo acuícola

Dado que las importaciones originales no deberían ser transferidas al medioambiente natural, se debe llevar a cabo un proceso de multiplicación antes de la diseminación de la semilla de los variedades mejoradas genéricamente ⁶². Las variedades mejoradas deben ser diseminadas a través de un sistema de criaderos acreditados y centros de cría (Figura 5.1). La acreditación de los criaderos que funcionan como criaderos de multiplicación de las poblaciones mejoradas de los centros de cría debería llevarse a cabo a través de un equipo de evaluación del centro regional de cría. Los criaderos acreditados deben cumplir con los requisitos técnicos establecidos por el equipo de evaluación y tener un acuerdo con el centro de cría con respecto a la gerencia estándar operacional y los procedimientos de diseminación.

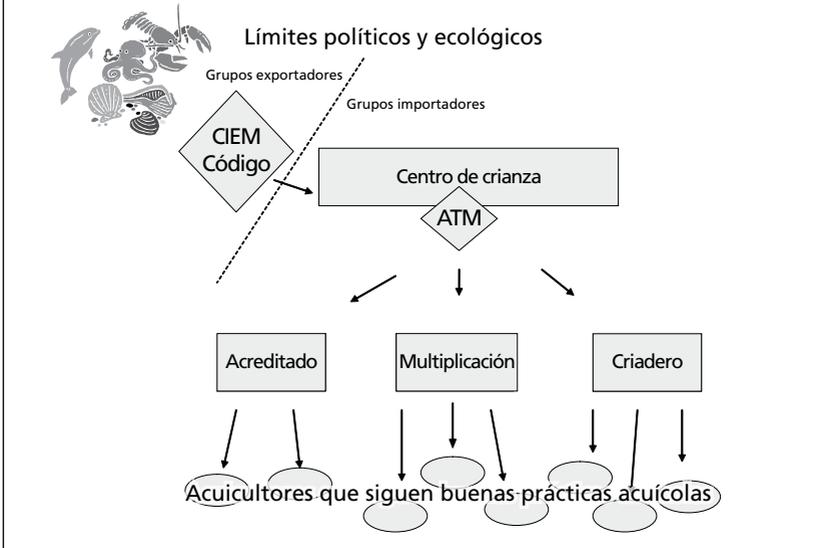
El objetivo principal de desarrollar un sistema de criaderos acreditados es el de asegurar la implementación de guías para mantener la calidad genética de los pececillos suministrados por los criaderos a los acuicultores y salvaguardar los recursos genéticos nativos. Se recomienda que:

- A fin de recibir las semillas mejoradas genéticamente los operadores de los criaderos deben solicitar su acreditación a los centros de cría; la aplicación será examinada sobre la base de ciertos criterios que puede abarcar los puntos enumerados aquí como también otras informaciones (por ej. instalaciones, experiencia, lugar, rendimiento previo).
- La reserva de genitores sea suministrada por los centros de cría acreditados y sea reemplazado luego por un protocolo bien definido según sus necesidades.
- Los criaderos que están siendo considerados para su acreditación estén bien gerenciados y sigan las mejores prácticas acuícolas de acuerdo a la opinión del plantel técnico cualificado.

⁶² *Pioneering Fish Genetic Resource Management and Seed Dissemination Programmes for Africa: adapting principles of selective breeding to the improvement of aquaculture in the Volta Basin. Workshop Proceedings, 27-30 March 2007. Roma, FAO.*

Figura 5.1

Sistema de disseminación para la introducción y uso de las variedades mejoradas genéticamente en la acuicultura. Los rombos representan las guías y códigos de prácticas que se deberían seguir antes de la difusión. No debería haber movimiento de germoplasma excepto como lo indican las flechas. ATM = Acuerdo de Transferencia de Material; CIEM y el Código se refieren a las recomendaciones y orientaciones del Consejo Internacional para la Exploración del Mar y el Código de Conducta para la Pesca Responsable de la FAO, respectivamente



- Se implemente un buen sistema de mantenimiento de la documentación de la población de reserva de genitores o alevín en el criadero
- Se implemente un sistema para controlar la distribución de los pececillos de los criaderos a los productores a fin de supervisar la distribución geográfica de las poblaciones mejoradas genéticamente. Esto permitirá la evaluación de los impactos económicos y medioambientales potenciales de las variedades mejoradas que están siendo difundidas.
- Los criaderos implementen medidas de control de la calidad y que se examine regularmente su condición de acreditado.

5.4 Discusión

Ha habido un movimiento considerable de especies y variedades exóticas para fines acuícolas⁶³, pero poca evaluación de sus impactos, sean buenos o malos⁶⁴. Se ha solicitado a los Gobiernos mantener registros de la introducción y subsiguiente distribución de especies exóticas y poblaciones mejoradas genéticamente en sus países e informar a la FAO. La FAO mantiene una base de datos sobre introducciones de especies acuáticas (DIAS) que también contiene información sobre los impactos. La cobertura de especies exóticas está en aumento y permite tomar mejores decisiones sobre la introducción de especies exóticas; no existe otro recurso informativo sobre los impactos de las variedades mejoradas genéticamente.

Muchos de los movimientos de las poblaciones mejoradas y las especies exóticas están mal controlados, por más que exista un amplio reconocimiento de la necesidad de control debido a los riesgos que abarca. El Sistema de Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control (HACCP)⁶⁵ está siendo promovido por científicos en algunas áreas del comercio de acuarios y peces y de fauna y flora, principalmente para reducir los riesgos de los países importadores que traen «polizones» y patógenos para mejorar la sensibilización de la opinión pública. El HACCP está también siendo promovido por los acuicultores de salmón a fin de reducir las probabilidades de escapes. Los ATM podrían ayudar a mejorar los controles, pero hasta hoy han sido de poca utilidad para la acuicultura y las transferencias de pesquerías.

⁶³ FAO Base de datos sobre introducciones de especies acuáticas (DIAS): <http://www.fao.org/fi/website/FISearch.do?dom=introsp>, FishBase: <http://www.fishbase.org>

⁶⁴ Una excepción notable es: An Impact Evaluation of the Development of Genetically Improved Farmed Tilapia and Their Dissemination in Selected Countries by Asian Development Bank. ADB 2005; disponible a www.adb.org/publications.

⁶⁵ Dirigirse a http://seagrant.umn.edu/downloads/ais-haccp_manual.pdf para recibir orientaciones en como aplicar los principios del HACCP a las especies invasivas acuáticas.

Anexo 5.1

Acuerdo de Transferencia de Material^a

El siguiente ejemplo de un Acuerdo de Transferencia de Material está basado en uno que está siendo utilizado por el Centro Mundial de Pesca (WorldFish Center).

A: La solicitud de germoplasma mejorada debería hacerse ante una autoridad competente que tenga autoridad legal y política para difundir el material.

Yo/Nosotros solicitamos el siguiente material:

Se debe adjuntar una lista de los materiales solicitados incluyendo una descripción detallada del material, su utilización prevista y lugar de uso como se indica en el texto.

Yo/Nosotros nos comprometemos:

- A acatar las disposiciones de la Convención de Diversidad Biológica;
- A prescindir de la distribución posterior del germoplasma a lugares en donde podría tener impactos ambientales negativos;
- No reclamar propiedad sobre los materiales recibidos, no buscar derechos de propiedad intelectual sobre los germoplasma o información relacionada;
- Asegurar que cualquier persona o institución a quien yo/nosotros ofrecemos muestras de germoplasma, esté sujeta a las mismas disposiciones;
- Que la responsabilidad de cumplir con las reglamentaciones de importación y biodiversidad de un país y cualquier regla del país receptor a cargo de la liberación del material genético, es enteramente mía/nuestra;
- Seguir los protocolos de cuarentena sugeridos por las Orientaciones Técnicas de la FAO sobre la Gerencia Sanitaria para el Movimiento Responsable de los Animales Acuáticos Vivos y el Centro Mundial de Pesca;
- A acatar los códigos y guías internacionales sobre la materia, por ej. el Código de Conducta, CIEM, y la OIE, cuando el germoplasma es transferido fuera de los límites de nuestro país.

Fecha:

Nombre de la persona o institución que solicita el germoplasma:

Dirección:

Dirección de envío (si difiere del anterior):.....

Firma autorizada:

^a De la Red Internacional sobre Genética en la Acuicultura (INGA) www.worldfishcenter.org

6 CONSIDERACIONES ECONÓMICAS RELEVANTES PARA LOS PROGRAMAS DE MEJORAMIENTO GENÉTICO⁶⁶

6.1 Evidencias del mejoramiento genético

Los programas de mejoramiento genético de especies animales y vegetales terrestres han contribuido sustancialmente al incremento de la productividad y a la viabilidad de la industria. En contraste, la mayoría de las poblaciones acuícolas que se están utilizando actualmente en los países en desarrollo son genéticamente similares o inferiores a su contraparte silvestre sin domesticar^{67, 68}. Hay pruebas que indican que los programas de mejoramiento genético utilizados en especies animales puede tener el mismo efecto positivo que se ha logrado en el ganado y los cultivos. La tilapia de cultivo mejorada genéticamente (GIFT)⁶⁹ (*Oreochromis niloticus*) y el labeo roho⁷⁰ (*Labeo rohita*) son dos ejemplos de los países en desarrollo. Los programas de mejoramiento genético emprendidos con estas dos especies tomaron como modelo el proyecto exitoso realizado con el salmón del Atlántico (*Salmo salar*) iniciado en la década de 1970 en Noruega. Estas variedades mejoradas son muy atractivas y valiosas para los piscicultores debido a que alcanzan una talla mayor y tienen una mayor tasa de supervivencia.

6.2 Factores limitantes para la amplia adopción de la tecnología

Resulta fácil obtener pruebas del mejoramiento genético en condiciones experimentales controladas en las que se lleve un conjunto de registros necesarios de manera sistemática. Sin embargo, es muy poca la

⁶⁶ Contribución de Raul W. Ponzoni.

⁶⁷ Eknath, A.E. 1991. Simple broodstock management to control indirect selection and inbreeding: Indian carp example. NAGA, The ICLARM Quarterly 738: 13-14.

⁶⁸ Brummett, R.E., Angoni, D.E. y Pouomogne, V. 2004. On-farm and on-station comparison of wild and domesticated Cameroonian populations of *Oreochromis niloticus*. Aquaculture 242, 157-164.

⁶⁹ Gupta, M. y Acosta, B. 2004. From drawing board to dining table: The success story of the GIFT project. NAGA, WorldFish Center Quarterly 27, (3&4), 4-14.

⁷⁰ Mahapatra, K., Jana, R.K., Saha, J.N., Gjerde, B. y Sarangi, N. 2006. Lessons from the breeding program of Rohu. En: Ponzoni, R.W., Acosta, B., Ponniah, A.G. (eds.), Development of aquatic animal genetic improvement and dissemination programs: Current status and action plans, WorldFish Center Conference Proceedings 73, Penang, Malaysia, pp. 34-40.

«notoriedad» de las ganancias genéticas en los animales acuáticos bajo condiciones de cultivo. Características importantes desde el punto de vista de la producción —como la tasa de crecimiento, la supervivencia y la inmunidad a enfermedades— no sólo resultan influenciadas por la genética sino también, en gran medida, por el ambiente. Esto hace difícil, sino imposible, determinar con precisión la causa de cualquier cambio que se observa en el sistema de producción. Además, los programas de mejoramiento genético requieren de una inversión inicial y de gastos anuales recurrentes para su ejecución. Debido a estos costos, las instituciones gubernamentales pudieran no estar convencidas respecto a la conveniencia de invertir en dichos programas si no se puede tener la seguridad de que produzcan beneficios evidentes para el país. Con el fin de generar información que pueda contribuir a la toma de decisiones lógicas respecto al mejoramiento genético, hay dos aspectos sumamente importantes a considerar: la definición de los objetivos de reproducción del programa y la evaluación de los costos y beneficios de aplicar el programa en un plazo razonable. Por supuesto, ambas consideraciones están relacionadas pero es mejor abordarlas por separado.

6.3 Objetivos de la reproducción

En la producción animal, el mejoramiento genético típicamente se lleva a cabo en una pequeña fracción de la población. El mejoramiento genético logrado en esa «élite» o «núcleo» de animales superiores se multiplica y extiende a los sistemas de producción (Capítulo 5). El flujo de genes se ilustra gráficamente en la Figura 6.1. La aplicación de un programa de mejoramiento genético en un número relativamente pequeño de animales puede bastar para atender a una extensa población sujeta a la producción. El núcleo proporciona de reserva de genitores a los criaderos (multiplicadores de la población mejorada genéticamente). A su vez, los alevines producidos en criaderos se cultivan en el sector de producción.

Dada esta estructura de la industria (Figura 6.1; véase también el Capítulo 5), los piscicultores producen prácticamente todos los peces para consumo. De ahí que el objetivo de la reproducción se defina conforme a los intereses de los piscicultores, considerando tanto el núcleo y los criaderos dependientes como sectores que atienden a los piscicultores. Las características biológicas incluidas en el objetivo de reproducción deben ser las que influyan en las ganancias —esto es, en el ingreso, los

gastos o ambos— del centro de cultivo. Éstas se muestran el Cuadro 6.1 para ejemplificar un caso sencillo.

Una ecuación de la ganancia se compone de:

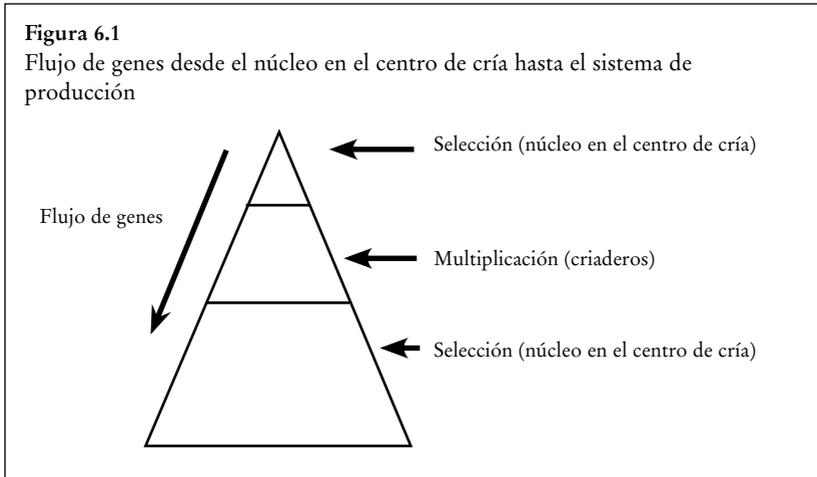
$$\text{Ganancia (G)} = \text{Ingreso} - \text{Gasto}$$

Esta ecuación puede expresarse como una función de las características biológicas en el Cuadro 1. Si lo aumentamos proporcionalmente a una unidad de producción con una población de 1 000 peces, puede decirse que:

$$G = 1000 [(P) (S/100) (\text{precio por unidad de peso de los peces}) - IA (\text{precio por unidad de peso del alimento})] - K$$

donde: P es el peso al tiempo de la cosecha, S es el porcentaje de supervivencia al momento de cosechar, AI es la cantidad total de alimento consumido por pez al momento de la cosecha y K representa los costos fijos. Los costos fijos son aquellos en los que incurre un productor sin importar de qué nivel de producción se trate y pueden pasarse por alto si se obtiene el valor económico de cada característica. Esta ecuación permite estimar el valor económico de cada característica en el objetivo de reproducción. El valor económico normalmente difiere entre una característica y otra debido a la unidad de medida, su expresión en el sistema de producción y su importancia económica relativa. Por ejemplo, la tasa de supervivencia se expresa en todos los peces poblados, pero el peso de mercado, sólo en aquellos que sobreviven para ser comercializados. Asimismo, si el precio del alimento es bajo (alto) en relación con el precio de los peces, entonces la ingesta de alimento tendrá un valor económico mas bajo (mas alto) que el peso de cosecha.

Si se asigna valor económico a las características en el objetivo de reproducción puede calcularse la ganancia genética en unidades económicas. La inclusión de las características asociadas al gasto, así como las relacionadas con el ingreso, es muy importante porque, si sólo se incluyen las características relacionadas con el ingreso, el valor económico de la ganancia genética podría sobreestimarse. El valor económico de cada característica puede evaluarse numéricamente si se calcula la diferencia de $G^* - G$, donde G es la ganancia a valor promedio



Cuadro 6.1 Características biológicas incluidas en el objetivo de reproducción

Efecto en la ganancia	Característica	Razón para su inclusión
Ingreso	Peso de cosecha (P)	Los peces se comercializan de acuerdo a su peso; los peces más pesados logran un precio más alto. Los peces que crecen rápidamente alcanzarán un peso determinado antes que los peces de crecimiento lento.
	Tasa de supervivencia (S)	Una supervivencia más elevada da por resultado un mayor número de peces disponibles para consumo o para venta.
Gasto	Ingesta de alimento (IA)	Feed is a major production cost. Greater growth rate may result in greater feed consumption.

de todas las características, y G^* es el valor correspondiente después de incrementar una unidad a la característica en cuestión mientras las otras características conservan su valor promedio. Utilizando la ecuación para G más arriba, encontramos que el valor económico de P , S e IA es 0,85, 3,00 y -0,56 dólares de EE.UU., respectivamente.

6.4 Costos y beneficios del programa de mejoramiento genético

Si bien la genética de los animales acuáticos puede manipularse de distintas maneras (por ej. poliploidía y cruzamiento), la cría selectiva es el único método para que las ganancias logradas puedan multiplicarse, transmitirse

a otros animales y pasarse de generación en generación. Este documento se enfoca exclusivamente en la cría selectiva. Las respuestas anuales a la selección suelen parecer insignificantes si se comparan con las ganancias que pueden lograrse mediante la expansión, nutrición mejorada e intensificación del sistema de producción. Sin embargo, la respuesta a la selección medida en una población no constituye una buena medida del impacto potencial de las ganancias genéticas. Con una estructura industrial adecuada, las respuestas pequeñas pero acumulativas a la selección que se logran en un núcleo objeto del mejoramiento genético pueden pasarse a un nivel multiplicador conformado por los criaderos y, a su vez, de los criaderos a los piscicultores (Figura 6.1; Figura 5.1 y Capítulo 5). Este potencial que se expresen cambios mínimos acumulados en miles o millones de animales es lo que hace que los programas de mejoramiento genético sean uno de los métodos más poderosos y económicos medios para incrementar la eficiencia de la acuicultura.

6.5 Factores que afectan el índice de los beneficios económicos y la relación costos/beneficios de los programas de mejoramiento genético

Ya hay una metodología establecida que suele utilizarse en los estudios sobre las consecuencias económicas de aplicar un programa de mejoramiento genético⁷¹. Los resultados de dichos estudios dependen de los supuestos hechos sobre los distintos factores que pueden afectar el resultado. El Cuadro 6.2 enumera dichos factores y proporciona valores numéricos que abarcan una gama de perspectivas plausibles. En la práctica se puede someter a prueba la solidez de los supuestos analizando la sensibilidad de los resultados a las desviaciones realistas con respecto a dichos supuestos. Los valores que se muestran en el Cuadro 6.2 se utilizaron para calcular el beneficio económico (BE) y la relación costos/beneficios (RCB) resultantes del programa de mejoramiento genético. Cuando se muestran varios valores para un parámetro dado, el que está en negritas se utilizó como referencia para obtener los «resultados de base» (Cuadro 6.3). Para los demás valores que se utilizaron en el análisis de la sensibilidad, véase la sección 6.8.

⁷¹ Ponzoni R.W., Nguyen, H.N. y Hooi Ling Khaw. 2007. Investment appraisal of genetic improvement programs in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 269, 187-199.

Cuadro 6.2 Valores de los parámetros para realizar la evaluación económica del programa de cría selectiva

Parámetro	Valor(es) ^a
<i>Parámetros económicos</i>	
Inversión inicial del programa	50 000, 75 000, 100 000 \$EE.UU.
Tasa de descuento	0,05, 0,10, 0,15 d (fracción)
Factor de descuento	Calculado a partir de valores de $r = 1/(1+d)$
Costos anuales (recurrentes)	30 000, 60 000, 90 000 \$EE.UU.
Precio de los peces (a nivel de explotación)	0,001, 0,0015, 0,002 \$EE.UU./g
Costo del alimento	0,00056 \$EE.UU./g
Número de años en los que se evaluará el programa	10 años
<i>Parámetro biológico</i>	
Intervalo generacional en las hembras	1,0 año
Intervalo generacional en los machos	1,0 año
Estimados de heredabilidad	Valores de P = 0,2, 0,3, 0,4; valores de S = 0,05, 0,08, 0,12; valores de IA = 0,16, 0,25, 0,3
Consumo de alimento acumulativa	400 g
<i>Parámetros operativos</i>	
Año en el que se obtienen los primeros rendimientos	2, 3, 4 años
Número de peces comercializados para matanza/Año ^b	(1) 2,205; (2) 6,6248; (3) 47,32; (4) 338,0 en Milliones
Peso de cosecha	300 g
Tasa de supervivencia	85%

^a Cuando se presentan varios valores, el valor en negritas se utilizó como referencia para obtener los «resultados de base», mientras que los otros valores se utilizaron en el análisis de sensibilidad.

^b Las cifras corresponden a diferentes niveles de tecnología reproductiva: desde el más bajo hasta los más altos. El nivel 1 corresponde a un manejo inadecuado y desove natural en estanques; el nivel 2 es igual al nivel 1 pero con un manejo adecuado; el nivel 3 utiliza reproducción en hapas, recolección de los huevos de la boca de las hembras e incubación artificial en el núcleo, acompañado de desove natural con manejo adecuado en criaderos; el nivel 4 supone que la reproducción en hapas (como se describe para el nivel 3) se utiliza tanto en el núcleo como en los criaderos.

6.6 Utilidad general de los resultados

La evaluación económica de los programas de mejoramiento genético resulta particularmente útil desde una perspectiva nacional, pues las instancias decisorias se enfocarán en calcular cuánto dinero adicional para la nación podría derivarse de aplicar un programa de este tipo. Los resultados también son aplicables a una empresa integrada verticalmente que controla el centro de cría núcleo, los criaderos y el sector de producción

(Figura 6.1). Los resultados indican muy claramente que se puede obtener beneficios favorables de la inversión mediante el mejoramiento genético (Cuadro 6.3). Incluso para los valores muy conservadores asumidos para el nivel de base de los factores en el Cuadro 6.2, el BE y la RCB son extremadamente favorables —4 millones y 8,5 millones de USD, respectivamente— después de 10 años de aplicación del programa. El «punto de equilibrio», es decir, el momento cuando las pérdidas se convierten en ganancias, se da al tercer año.

6.7 Ubicación de los valores de los parámetros de base dentro de un contexto real

Los valores de los parámetros de base que se eligieron en este caso representan un escenario sumamente conservador. Por ejemplo, cuando tanto el precio de los peces como la eficiencia reproductiva se fijaron cerca del límite inferior de los valores que pueden esperarse, el BE pasó de negativo a positivo al tercer año de aplicación del programa (Cuadro 6.3), mientras que la RCB fue de 8,5 para el décimo año. En la práctica es probable que el precio de los peces sea más alto y que, si se utiliza una tecnología sencilla y barata, la eficiencia reproductiva de los peces sea mayor. Por lo tanto, el BE y la RCB obtenidos con los valores de los parámetros de base deben tomarse como los mínimos que se pueden esperar de un programa de mejoramiento genético como el que se hace mención.

6.8 Análisis de sensibilidad

Los factores que pueden afectar el EB y la RCB (Cuadro 6.2) pueden agruparse en tres categorías: (i) biológicos (valores de heredabilidad, cálculo del consumo de alimento), (ii) económicos (inversión inicial, costo anual, tasa de descuento, precio de los peces), y (iii) operativos (año de los primeros rendimientos, eficiencia reproductiva).

6.8.1 Parámetros biológicos

Se estudiaron los efectos de los dos factores biológicos, a saber: los valores de heredabilidad para las características en el objetivo de reproducción y el enfoque adoptado respecto al consumo de alimentos. Mayores heredabilidades dieron por resultado mayor ganancia genética y, en

Cuadro 6.3 Flujo de capital descontado ($d = 5\%$), beneficios económicos y coeficiente de costo para la situación de base

Año	Factor de descuento	Beneficios descontados	Costos descontados (000's \$EE.UU.)	Beneficio económico (000's \$EE.UU.)	Coeficiente de costo
0	1,0	0	0	-75	-
1	0,952	0	57,14	-132,14	0
2	0,907	130,56	111,56	-56,01	0,7
3	0,864	379,23	163,39	140,84	1,6
4	0,823	734,48	212,76	446,73	2,6
5	0,784	1 185,60	259,77	850,83	3,5
6	0,746	1 722,64	304,54	1 343,10	4,5
7	0,711	2 336,40	347,18	1 914,21	5,5
8	0,677	3 018,35	387,80	2 555,56	6,5
9	0,645	3 760,62	426,47	3 259,15	7,5
10	0,614	4 555,90	463,30	4 017,60	8,5

consecuencia, mayor BE y RCB. En parte, el valor de la heredabilidad es una propiedad de la característica y de la población en cuestión, pero puede mejorarse si se reduce la varianza del ambiente por medios gerenciales. Aunque el EB y la RCB sólo fueron moderadamente sensibles a variaciones bastante marcadas en las heredabilidades, deberían adoptarse prácticas de gestión conducentes a una menor varianza del ambiente en el núcleo, siempre que sea posible. La producción de progenie a partir de desoves sincronizados y su crecimiento en condiciones estándar y uniformes son ejemplos de tales prácticas.

Con respecto al consumo de alimento, esta característica debe incluirse en el objetivo de reproducción —a pesar de la ausencia de parámetros genéticos para la mayoría de las especies cultivadas— porque generalmente el alimento es un costo importante en la producción acuícola. Los valores de los parámetros utilizados para el consumo de alimento se basaron en varios supuestos, pero merece la pena destacar que pasar por alto la ingesta de alimento implica supuestos más radicales, como por ejemplo, que los requerimientos de alimento no aumenten con una mayor tasa de crecimiento o que el costo del alimento adicional sea de cero (este último supuesto sin duda no es correcto). Con respecto a lo primero, evidencias experimentales indican que en el caso del salmón del Atlántico hay una respuesta correlacionada entre el consumo de alimento —y la eficiencia

del alimento— y la tasa de selección por crecimiento⁷². Asimismo, con respecto a la trucha marina (*S. trutta*), hay una respuesta correlacionada en el consumo de alimento, pero ningún cambio en la eficiencia de utilización del alimento⁷³. Estos resultados experimentales, sumados a la importancia de los costos del alimento en el sistema de producción, justifican ampliamente que se incluya tal característica en el objetivo de reproducción. Pasar por alto el consumo de alimento en el objetivo de reproducción puede dar por resultado una sobreestimación bruta del beneficio de un programa de mejoramiento genético centrado en la tasa de crecimiento. Este resultado concuerda con lo que se observa en las especies animales terrestres⁷⁴. Aunque es improbable que la ingesta de alimento se mida como parte de un programa de reproducción en los países en desarrollo, es muy recomendable que las instituciones investigadoras estimen los parámetros fenotípicos y genéticos para esta característica con el fin de tener más confianza en los valores de los parámetros utilizados para las evaluaciones genéticas y para predecir las respuestas a la selección⁷⁵.

6.8.2 Parámetros económicos

El BE y la RCB no fueron sensibles a la magnitud de la inversión inicial, mientras que el costo anual del programa tuvo un efecto mucho mayor en la RCB que en el BE. En contraste, la tasa de descuento tuvo un efecto mayor en el BE que en la RCB. La tasa de descuento (d , Cuadro 6.2) es la tasa de interés utilizada para calcular el valor presente de las utilidades y costos que se esperan a futuro. El factor de descuento ($1/[1+d]^a$, Cuadro 6.2) es el factor que transforma a valor presente los beneficios o costos esperados para cualquier año «a». La opción de una tasa de descuento en un estudio como éste siempre está abierta a debate. En el contexto que nos compete, los costos y beneficios se evalúan desde el

⁷² Thodesen, J. 1999. Selection for improved feed utilization in Atlantic salmon. Doctor Sci. Thesis, Agricultural University of Norway, 108 pp.

⁷³ Mambrini, M., Labbe, L., Randriamanantsoa, F. y Boujard, T. 2006. Response of growth selected brown trout (*Salmo trutta*) to challenging feeding conditions. *Aquaculture* 252, 429-440.

⁷⁴ Ponzoni, R.W. 1992. Genetic improvement of hair sheep. FAO Animal Production and Health Paper no. 101, 168 pp. (Roma, Italia).

⁷⁵ Doupe, R.G. y Lymbery, A.J. 2003. Toward the genetic improvement of feed conversion efficiency in fish. *J. World Aquacult. Soc.* 34, 245-254.

punto de vista de la sociedad general (a diferencia de una compañía o persona individual), y la técnica de descuento se utiliza para expresar dichos costos y beneficios en términos del valor neto presente. Este valor neto presente puede entonces compararse con el obtenido con aquél obtenido de usos alternativos de los recursos limitados que una nación pudiera tener en ese momento para invertir. En el caso que nos compete, a pesar de la baja tasa reproductiva asumida hasta a una elevada tasa de descuento del 15 por ciento, el BE se mantuvo altamente positivo y la RCB fue aproximadamente 75 por ciento de aquella de la situación de base.

El precio de los peces tuvo un gran efecto tanto en el BE como en la RCB. Aunque el precio está casi siempre fuera del control de planificadores y piscicultores, los peces más grandes con frecuencia logran precios más altos en el mercado. Por lo tanto un beneficio adicional (y no contemplado) del programa de selección podría ser mejores precios en el futuro.

6.8.3 Rendimiento operacional

El año en el que se obtienen rendimientos por primera vez probablemente será reflejo de cuando el programa entrara plenamente en funcionamiento, incluyendo la distribución de las poblaciones a los criaderos. Puede haber retrasos en estas actividades a pesar de estarse obteniendo una ganancia genética en el núcleo. Cuando antes se obtengan beneficios, mejor, pero, a pesar de un retraso de dos años el BE y la RCB aun así fueron muy favorables.

La eficiencia reproductiva asumida para la situación de base (Cuadro 6.2) fue considerada como la más baja para emprender un programa de mejoramiento genético, pero también como una que puede ser fácilmente mejorada con tecnología disponible y accesible. A pesar de lo anterior, dio por resultado un BE muy favorable y una RCB de 8,5 después de 10 años (Cuadro 6.3). Se puede lograr una eficiencia reproductiva de nivel 3 con una tecnología sencilla y barata, y ésta puede estar en la mira de cualquier programa de mejoramiento genético nacional. En el nivel 4 con una eficiencia reproductiva mejorada, tanto el BE como la RCB se incrementaron de manera extraordinaria. Pudiera argumentarse que para lograr una mayor eficiencia reproductiva en los criaderos, los gobiernos tendrían que realizar una inversión adicional para transferir la tecnología

a los responsables de los criaderos. Ciertos ejemplos demostraron que a pesar de una inversión adicional sustancial en capacitar al personal del criadero, el BE y la RCB seguían siendo muy favorables y la inversión había merecido la pena.

6.8.4 *Resumen del análisis de sensibilidad*

- Las prácticas de gestión en el núcleo que podrían reducir la varianza del ambiente y por lo tanto incrementar las heredabilidades muy probablemente tendrán un efecto moderado en la rentabilidad.
- El costo de un mayor consumo de alimento como una respuesta correlacionada a la selección para una mayor tasa de crecimiento debería tomarse en cuenta para evitar sobreestimaciones brutas del BE y de la RCB del programa.
- La inversión inicial, los costos anuales y la elección de la tasa de descuento probablemente tendrán un efecto relativamente pequeño en el BE y la BCR, mientras que el efecto del precio de los peces puede ser sustancial.
- Cuanto antes se logren los primeros beneficios, más altos serán el BE y la RCB. Sin embargo, la mayor aportación al BE y la RCB provino de mejoras en la eficiencia reproductiva tanto en el núcleo como en los criaderos. Este último factor, la eficiencia reproductiva, es el que probablemente repercutirá más en el BE y la RCB.

6.9 Posibilidad de éxito

Los resultados presentados en las secciones anteriores son deterministas (se utilizaron ecuaciones matemáticas para predecir resultados) y asumiendo de manera implícita una seguridad total de los resultados. Sin embargo, el mejoramiento genético mediante selección es un proceso estocástico que abarca muestras de genes cuando se eligen los padres de cada generación y cuando dichos padres tienen descendencia. Una manera de evaluar la probabilidad de éxito de un programa de mejoramiento genético consiste en analizar la variabilidad prevista en respuesta a la selección⁷⁶. El coeficiente de variación calculado utilizando las ecuaciones

⁷⁶ Nicholas, F.W. 1989. Incorporation of new reproductive technology in genetic improvement programmes. En Hill, W.G. Mackay, T.F.C. (eds), Evolution and animal breeding, CAB International, Wallingford, United Kingdom, pp. 203-209.

Cuadro 6.4 Límite superior e inferior (probabilidad de 95%) del BE y la RCB en los diferentes niveles de eficiencia reproductiva

Eficiencia reproductiva ^a	Límite del BE y BCR	EB (millones de dólares EE.UU.)	BCR
Nivel 1	Superior	1,17	3,17
	Inferior	0,79	2,46
Nivel 2	Superior	4,60	9,53
	Inferior	3,44	7,40
Nivel 3	Superior	36,11	68,08
	Inferior	27,90	52,82
Nivel 4	Superior	261,25	486,32
	Inferior	202,56	377,30

^a Ver Cuadro 6.2 para la definición de los niveles 1 a 4.

proporcionadas por Nicholas (1989) fue suficientemente bajo como para inspirar confianza en el desenlace del programa, y si se fijaban límites de confianza para BE y RCB, éstos arrojaban valores favorables incluso para el nivel de reproducción más bajo estudiado (Cuadro 6.4). Por lo tanto, el riesgo de fracasar debido a razones técnicas es extremadamente bajo. Por supuesto, el fracaso debido a desastres naturales o a falta de continuidad de propósitos puede ocurrir, pero resulta muy difícil abordar este tipo de causas de manera sistemática.

6.10 Conclusiones

Es necesario incluir distintas consideraciones económicas en los programas de mejoramiento genético para subrayar de manera lógica y relativa las diferentes características del objetivo de reproducción, las cuales, a su vez, permiten evaluar el efecto económico del programa en la industria en general. La metodología utilizada ejemplifica la multiplicidad de factores que pueden influir en el resultado de un programa de mejoramiento genético. Se pueden identificar y brindar la máxima atención a los factores a los que el beneficio económico y la relación costos/beneficios sean más sensibles. Tanto el BE como la RCB fueron más sensibles a la eficiencia reproductiva en el núcleo y en los criaderos, un factor que determina el número de peces en los que se expresa el mejoramiento genético. Este hallazgo cuantitativo concuerda con la percepción generalizada de que la multiplicación y diseminación de variedades mejoradas o crías es de suma

importancia para un enfoque exhaustivo del mejoramiento genético. El modelo (véase el nota a pie 71) puede utilizarse para investigar otros factores que se sospeche influirán en el resultado de un programa de mejoramiento genético (por ej. transferencia menos frecuente de reproductores a criaderos y expresión de sólo una fracción de la respuesta de selección en el núcleo en el ambiente de producción debido a genotipo por interacción ambiental). Puede utilizarse «a la inversa» para analizar la conveniencia de establecer un programa de mejoramiento genético para criaderos y sectores de producción de tamaños específicos.

Con eficiencias reproductivas conservadoras (nivel 2 en el Cuadro 6.1), pueden obtenerse valores de BE y RCB atractivos (por encima de 4,0 y 8,5 millones de dólares EE.UU., respectivamente). La implementación de tecnología reproductiva disponible, probada y económica (nivel 3 en el Cuadro 6.1) dio por resultado incrementos de BE y RCB superiores a 32 y 60 millones de dólares EE.UU., respectivamente. En el caso de especies fáciles de cultivar como la tilapia, que son viables y poseen una elevada eficiencia reproductiva, el nivel 3 debería ser la meta inicial de los programas de mejoramiento genético nacionales y alcanzarse el nivel 4 en cuanto mejoren sus habilidades en los criaderos.

Desde un punto de vista nacional, invertir en programas de mejoramiento genético de especies acuáticas cultivadas es una buena decisión. Además, una variedad de «alto rendimiento» que esté al alcance de los productores puede ser un incentivo para adoptar mejores prácticas en otras áreas (gerencia, nutrición, salud animal y mercadeo).

7 EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS Y SUPERVISIÓN DE LOS PROGRAMAS DE MEJORAMIENTO GENÉTICO⁷⁷

7.1 Introducción

Los programas de mejoramiento genético (Capítulos 4, 5 y 6) plantean la necesidad de evaluar y manejar los riesgos ecológicos inherentes a la introducción intencional y escapes no intencionados de organismos mejorados a los ecosistemas acuáticos. La evaluación y manejo del riesgo ecológico es fundamentalmente un proceso social guiado por la información científica y el análisis. La importancia de los valores humanos es clara en la definición del término «evaluación de riesgos»:

- **Riesgo** se refiere a la probabilidad de que ocurra un daño a partir de un peligro o un conjunto de peligros.
- **Daño** se refiere a las consecuencias indeseables para los humanos y las cosas que ellos valoran.
- **Peligro** se refiere a un suceso que tiene el potencial de causar un daño.

Los procesos para evaluar los riesgos en el ámbito de los recursos naturales, por consiguiente, combinan deliberaciones de partes interesadas⁷⁸ con análisis científicos. Diversas consultas de expertos internacionales, dirigidas conjuntamente con la FAO, han identificado algunos elementos importantes de las evaluaciones de riesgos ecológicos para los peces mejorados genéticamente⁷⁹ mientras que un equipo internacional ha

⁷⁷ Contribución de Anne R. Kapuscinski.

⁷⁸ Cualquiera que tiene un interés en el asunto, o aquel que comparte la carga de los riesgos de una cierta decisión. Un individuo o el representante de un grupo que influye o es influido por los asuntos en cuestión.

⁷⁹ Gupta, M.V.; Bartley, D.M.; Acosta, B.O. (eds). 2004. Use of genetically improved and alien species for aquaculture and conservation of aquatic biodiversity in Africa. WorldFish Center Contribution No. 1707. Penang, Malaysia. 107 pp. Nairobi Declaration en Gupta *et al.*, 2004.

WorldFish Center. 2003. Dhaka Declaration on Ecological Risk Assessment of Genetically Improved Fish. WorldFish Center Contribution No. 1704, Penang, Malaysia.

Pullin, R.S.V.; Bartley, D.M.; Kooiman, J. (eds). 1999. Towards policies for conservation and sustainable use of aquatic genetic resources. ICLARM Conf. Proc. 59, 277 pp.

elaborado la primera síntesis global de los planteamientos y metodologías en curso⁸⁰.

Estas directrices tratan de las evaluaciones previsibles de riesgos con el fin de predecir la probabilidad y consecuencias de sucesos potencialmente dañinos durante y antes de la diseminación de peces mejorados genéticamente. El enfoque se centra en el posible daño ecológico a las poblaciones silvestres de especies acuáticas o a los ecosistemas que las sustentan; el daño ecológico puede implicar cambios indeseables en la genética, la población, la comunidad o el ecosistema. Estas directrices también tratan del manejo de los riesgos, incluyendo la supervisión, como parte de los programas de diseminación.

7.2 El Código de Conducta

Los programas de mejoramiento genético no deben socavar las metas de conservación de la diversidad genética de las especies acuáticas silvestres y proteger la integridad de las comunidades y ecosistemas acuáticos, como se señala en los artículos 6.2, 7.2.2., 9.1.2, 9.31 y 9.3.5 del Código de Conducta. La participación de las partes interesadas en el proceso de evaluación de riesgos se menciona en los artículos 6.13 y 6.16. El Artículo 9.1.2 proporciona bases claras para incorporar la evaluación y manejo de riesgos ecológicos a los programas de mejoramiento genético:

Los Estados deben promover el desarrollo y la gestión responsable de la acuicultura, incluyendo la evaluación anticipada de los efectos que tiene el desarrollo de la acuicultura sobre la diversidad genética y la integridad del ecosistema, con base en la mejor información científica disponible.

⁸⁰ Este capítulo contiene el trabajo de 44 científicos y especialistas de políticas de 19 países, cuya labor comenzó en un taller en el Centro Mundial de Pesca en 2005 y fue publicado en un libro de expertos. Llegaron a la conclusión que su síntesis de evaluación de riesgos y metodologías gerenciales se aplican ampliamente a diferentes clases de líneas mejoradas genéticamente en acuicultura. Kapuscinski, A.R.; Hayes, K.R.; Li, S; Dana, G. (eds). 2007. Environmental risk assessment of genetically modified organisms: Volume 3, Methodologies for transgenic fish. CAB International, Wallingford, UK, 304 pp.

7.3 Principios

*7.3.1 Los marcos para la evaluación y gestión de los riesgos ecológicos difieren de una nación a otra, pero todos los marcos eficaces contienen pasos sistemáticos similares que se van fortaleciendo*⁸¹.

7.3.2 La totalidad del proceso para evaluar y gerenciar los riesgos ecológicos debe combinar un análisis científico interdisciplinario con deliberaciones de múltiples partes interesadas.

Los marcos aceptables para la evaluación y gestión de riesgos tienen determinados pasos en común (Cuadro 7.1). Los organismos responsables deben identificar quién llevará a cabo los distintos pasos que componen su marco de evaluación y manejo de riesgos, determinar las áreas de especialidad requeridas y las partes interesadas relevantes, y decidir cómo involucrar a expertos y partes interesadas en el proceso⁸². Al vincular el análisis científico con las deliberaciones de múltiples partes interesadas, cada jurisdicción política necesitará determinar el grado de participación de la parte interesada que mejor se adecue a la sociedad y los recursos disponibles. Las deliberaciones transparentes y equitativas entre las partes interesadas relevantes pueden mejorar la legitimidad y la confianza del público en las evaluaciones de riesgos y las recomendaciones sobre gestión de riesgos, así como mejorar la calidad de la evaluación debido a que:

- permiten identificar todos los asuntos de interés;

⁸¹ Hayes, K.R.; Kapuscinski, A.R.; Dana, G.; Li, S.; Devlin, R.H. 2007. Introduction to environmental risk assessment for transgenic fish. Páginas 1-28 en Kapuscinski *et al.* (eds) (ver nota a pie 80).

Nelson, K.C.; Basiao, Z.; Cooper, A.M.; Dey, M.; Lorenzo Hernandez, M.; Kunawasen, S.; Li, S.; Fonticiella, D.; Ratner, B.D.; Toledo, M.I.; Leelapatra, W. 2007. Problem formulation and options assessment: science-guided deliberation in risk assessment of transgenic fish. Páginas 29-60 en Kapuscinski *et al.* (eds) (ver nota a pie 80).

⁸² Para más información sobre la incorporación de las deliberaciones de las múltiples partes interesadas: Hayes *et al.* 2007 y Nelson *et al.*, 2007 (ver nota a pie 81); y Nelson, K.C.; Banker, M.J. 2007. *Problem formulation and options assessment handbook: A guide to the PFOA process and how to integrate it into environmental risk assessment (ERA) of genetically modified organisms (GMOs)*. GMO-ERA Project. Disponible en: www.gmoera.umn.edu

Cuadro 7.1 Pasos individualizados en la mayoría de los marcos de evaluación de riesgos y gerencia. La participación de las partes interesadas debería integrarse con un análisis técnico cabal, particularmente para tratar los asuntos en cursiva^a

Deliberaciones de múltiples partes interesadas incorporado por las partes acerca en cada paso	Paso	Cuestiones claves tratadas en este paso
	Evaluación del riesgo	Identificar y priorizar los peligros
	Estimación del riesgo	
	Calcular la exposición a cada peligro principal y probabilidad de daños que resulten de la exposición a peligros.	¿Qué es la exposición al peligro y probabilidad del peligro? ¿Cuál será el daño que traerá traerá la materialización del peligro y cómo de severo es?
	Estimación cuantitativa (cuando es posible), semicuantitativa o cualitativa.	¿Cuáles son las conclusiones de la evaluación del riesgo (matriz de la probabilidad estimada del daño trazado contra la severidad del daño)?
	Identificar y analizar las incertidumbres	¿Cómo de seguro es el conocimiento utilizado para identificar los peligros, calcular las probabilidades y predecir los daños? ¿Qué incertidumbres pueden ser eliminadas? ¿Qué incertidumbres necesitan ser tratadas en la evaluación?
	Gestión de riesgo	
	Planificación de la reducción de riesgos Implementación del plan	¿Qué se puede hacer para reducir el riesgo a niveles aceptables, ya sea reduciendo la probabilidad o mitigando las consecuencias? ¿Son aceptables las medidas de reducción de riesgos?
	Seguimiento	¿Son aceptables las actividades de seguimiento? ¿Cómo de efectivas son las medidas implementadas para la reducción de riesgos? ¿Son tan buenas, mejores o peores que lo planeado?
	Medidas correctivas	¿Qué acciones correctivas se van a tomar si los resultados son inaceptables? ¿Las acciones han calmado la(s) preocupación(es) adecuadamente?

^a Hayes *et al.*, 2007 y Nelson *et al.*, 2007 (ver nota a pie 81); Nelson y Banker, 2007 (ver nota a pie 82).

- incorporan importantes conocimientos aportados por las partes acerca del sistema —por ejemplo, información sobre los peces silvestres en la zona— y que pudiera ser desconocido para los analistas de riesgos con orientación técnica;
- incorporan las perspectivas de las partes interesadas en puntos clave del proceso; y
- aseguran que las conclusiones de la evaluación de riesgos y los modos de abordar la gerencia de riesgos sean significativas para todas las partes interesadas.

7.3.3 Cada evaluación de riesgos ecológicos deberá girar alrededor de una peligrosa cadena de eventos que comienza con el posible ingreso al ecosistema de organismos alterados genéticamente y define los sucesos posteriores que presenten un daño potencial.

La necesidad de evaluar los riesgos genéticos y otros riesgos ecológicos surge a raíz de los cambios en la estructura y características genéticas del organismo alterado genéticamente. Varios pasos de la evaluación de riesgos requieren de datos empíricos respecto a dichos cambios comparados con la población o poblaciones cultivadas actualmente en el área geográfica y con cualquier pariente silvestre⁸³ en el ecosistema acuático, y cómo tales cambios pudieran conducir o no a un daño ecológico. La Figura 7.1 presenta un ejemplo general de la cadena de sucesos que tendrían que ocurrir para terminar causando un daño ecológico.

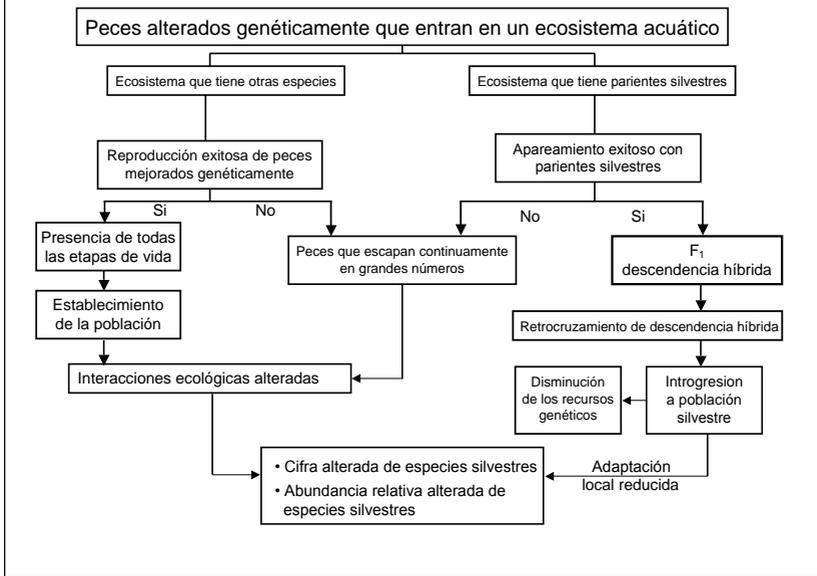
7.3.4 Al comenzar el proceso de evaluación de riesgos, los expertos y partes interesadas pertinentes deben deliberar para describir la cadena de eventos de interés, identificar y priorizar los peligros y daños a lo largo de la cadena y acordar sobre los niveles de riesgo aceptables.

Los resultados de las deliberaciones de los expertos pertinentes y las partes interesadas potencialmente afectadas dan a las autoridades que toman decisiones una base socialmente confiable para asignar recursos limitados a la evaluación de los peligros de máxima prioridad y daños. En

⁸³ Cualquier especie en el ecosistema con la cual el pez alterado genéticamente se puede entrecruzar, incluyendo la misma especie del pez alterado genéticamente o íntimamente relacionada.

Figura 7.1

Cadena general de los eventos que conducen a cambios ecológicos debido a los escapes de peces alterados genéticamente. Se muestran sólo los eventos que podrían causar un daño



consecuencia, el resto del proceso para evaluar y gerenciar los riesgos se enfoca en los peligros prioritarios seleccionados (Cuadro 7.1).⁸⁴

7.3.5 Enfocar la evaluación y manejo de riesgos en los puntos finales medibles para los peligros priorizados.

Es fundamental que se elijan cuidadosamente los puntos finales medibles para los cambios ecológicos que las partes interesadas y los analistas hayan considerado indeseables⁸⁵. Los analistas de riesgos pueden

⁸⁴ Más orientación sobre cómo priorizar peligros en Hayes *et al.*, 2007 (ver nota a pie 81).

⁸⁵ Los valores de referencia expresan explícitamente los elementos valiosos del ecosistema que las partes interesadas están tratando de proteger al realizar la evaluación de riesgos ecológicos (Hayes *et al.*, 2007, ver nota a pie 81).

Figura 7.2

Esquema de una matriz de la evaluación cualitativa de riesgos para calcular la probabilidad (eje vertical) y gravedad (eje horizontal) del daño. Las evaluaciones cuantitativas de riesgos son preferibles a las evaluaciones cualitativas o semicuantitativas, pero requieren de más datos

Probabilidad del daño	Frecuente				Riesgo máximo
	Casi nunca	Riesgo mínimo			
		Muy bajo		Muy alto	

entonces enfocarse en calcular la probabilidad y gravedad del daño para cada punto final (Figura 7.2). Deben identificarse los puntos finales de la evaluación de riesgos (qué se está tratando de proteger con la evaluación de riesgos) para cada peligro priorizado a lo largo de la cadena de sucesos (Figura 7.1). Cuando resulte difícil evaluar un punto final de gran interés, los analistas de riesgos deberían identificar y evaluar las medidas de los puntos finales (lo que se pueda medir) que sean buenos indicadores científicos para saber si un daño ecológico ocurrirá o no. Por ejemplo, si un pez alterado genéticamente se alimenta de una especie silvestre que las partes interesadas acuerdan proteger a un nivel de abundancia específico (valor de referencia de evaluación), podría ser más fácil evaluar los efectos en la supervivencia de adultos silvestres (valor de referencia de medición) que predecir cambios en la abundancia general de la especie silvestre.

La capacidad para proporcionar predicciones honestas y precisas de los riesgos disminuye a medida que aumenta la duración de la cadena de sucesos peligrosos debido a interacciones cada vez más complejas y sucesivas entre los organismos modificados genéticamente y las especies

silvestres y su hábitat. Por lo tanto, resulta recomendable establecer un equilibrio cuidadoso entre la realidad, la complejidad y las preocupaciones de las partes interesadas, eligiendo evaluaciones de puntos finales que sean claramente relevantes a estas preocupaciones, pero que ocurren antes (más que después) en la cadena de sucesos. Un equipo interdisciplinario de expertos debe definir los puntos finales (preferentemente por medio de deliberaciones con múltiples partes interesadas) e identificar los métodos de evaluación apropiados y los datos existentes. El área de especialidad relevante variará dependiendo del caso e idealmente incluirá a biólogos acuáticos y ecologistas, y a personas entrenadas en métodos para evaluar riesgos.

7.3.6 *Evaluación y gerencia de riesgos de casos individuales*

Cualquier programa de cultivo puede modificar la estructura y características genéticas de los organismos cultivados (Capítulos 3 y 4). Ningún método de mejoramiento genético presenta intrínsecamente mayor o menor riesgo ambiental que otro. Más bien, los riesgos deben ser evaluados caso por caso basándose en las características del sistema de producción acuícola (especialmente sus patrones y la frecuencia de escapes a la naturaleza), los organismos modificados genéticamente y los ecosistemas que podrían resultar afectados⁸⁶.

7.4 **Evaluación de los efectos genéticos**⁸⁷

El flujo de genes desde los individuos modificados genéticamente hacia sus parientes silvestres es un proceso importante mediante el cual los peces alterados genéticamente pueden afectar a las poblaciones de peces silvestres. Los principales asuntos de interés son si el flujo de genes da por resultado introgresión (incorporación) de genes del organismo mejorado a la reserva genética silvestre, y si esto lleva a consecuencias genéticas y

⁸⁶ Existe un amplio acuerdo sobre la necesidad de evaluar los riesgos ecológicos caso por caso; por ejemplo el Protocolo de Cartagena sobre Bioseguridad, Artículo 15 y Anexo III. Ver también la Declaración de Bellagio en Pullin, R.S.V.; Bartley, D.M.; Kooiman, J. (eds). 1999. *Towards policies for conservation and sustainable use of aquatic genetic resources*. ICLARM Conf. Proc. 59, 277 pp.

⁸⁷ Kapuscinski, A.R.; Hard, J.J.; Paulson, K.; Neira, R.; Ponniah, A.; Kamornrat, W.; Mwanja, W.; Fleming, I.A.; Gallardo, J.; Devlin, R. H.; Trisak, J. 2007. Approaches to assessing gene flow. Pages 112-150 in Kapuscinski *et al.* (eds) (ver nota a pie 80).

ecológicas dañinas (Figura 7.1). Los analistas de riesgos deberán evaluar los puntos finales que deben producirse en una cadena de sucesos para terminar en una introgresión. Pueden hacer esto dividiendo la evaluación en dos puntos finales principales, ingreso e introgresión; dividiéndolos luego en sucesos secundarios y resulte más fácil evaluar que si se tratara el ingreso o la introgresión como una sola variable.⁸⁸

Para predecir la probabilidad de estos sucesos y sus efectos genéticos se requiere de datos sobre cómo la modificación genética afecta la aptitud biológica⁸⁹ de los peces cultivados y cómo ese valor adaptativo puede cambiar si los peces escapan al ambiente y se cruzan con los parientes silvestres del entorno. También se requieren datos de base sobre los parientes silvestres, como la estructura genética de la población y la distribución espacial de los adultos reproductores. La recopilación de datos empíricos relativos al caso para evaluar todos los elementos secundarios del flujo de genes puede ser una labor intimidante. Para disminuir la necesidad de datos, los analistas de riesgos pueden seguir una estrategia de paso por paso y asumir que ocurrirá un suceso específico conducente a un ingreso o introgresión (en vez de obtener datos para calcular su probabilidad) y luego proceder a calcular el siguiente suceso en la cadena.⁹⁰

La introgresión de genotipos modificados en las poblaciones silvestres puede ocasionar varias disminuciones en los recursos genéticos (Figura 7.1): frecuencias alteradas de alelos nativos, pérdida de característica genética o pérdida de variación genética en la población silvestre afectada. La introgresión podría conducir a depresión exogámica debido a una disrupción de complejos coadaptados de genes de la población silvestre. Estos cambios genéticos pueden reducir el valor adaptativo de las poblaciones silvestres y su capacidad para adaptarse a

⁸⁸ Una guía extensa para la evaluación de los subcomponentes se encuentra en Kapuscinski *et al.*, 2007 (ver nota a pie 87).

⁸⁹ Grado en el cual un organismo pasa sus genes a futuras generaciones. La aptitud biológica está determinada por el efecto conjunto de las características que comprende el ciclo biológico del organismo, como la viabilidad de las especies juveniles y adultas, la fertilidad, el apareamiento exitoso y la edad de la maduración sexual. Muir, W.M.; Howard, R.D. 2001. Fitness components and ecological risk of transgenic release: a model using Japanese medaka (*Oryzias latipes*). *American Naturalist* 158:1-16.

⁹⁰ Sugerencias para esta estrategia aparecen en Kapuscinski *et al.*, 2007 (ver nota a pie 87).

variaciones ambientales como el cambio climático o transformaciones del hábitat (causadas, por ejemplo, por presas u otras construcciones). Dichos riesgos son de una preocupación particular para las poblaciones silvestres ya disminuidas o en un centro de origen de alguna especie.

7.5 Evaluación de los efectos ecológicos⁹¹

Los organismos alterados genéticamente pueden causar efectos en la ecología más allá de los que causan en la genética de las poblaciones silvestres (Figura 7.1). Estos efectos ecológicos son posibles incluso cuando no hay entrecruzamiento de los peces cultivados con las poblaciones silvestres. La incorporación de un nuevo elemento a un ecosistema puede detonar que el ecosistema pase de un estado inicial a un nuevo estado. La finalidad de evaluar los riesgos ecológicos es predecir si pudiera ocurrir un nuevo estado que implique cambios socialmente indeseables, por ejemplo, extinción de especies, abundancia de la población alterada o funciones modificadas del ecosistema.

La evaluación predictiva de los riesgos ecológicos debe involucrar cuatro fases interdependientes⁹².

- (1) tipificación de las propiedades bióticas y abióticas del ecosistema(s) receptor(es) que pudieran resultar afectadas por los peces alterados genéticamente;
- (2) medición de los cambios intencionados y no intencionados en las características de los peces alterados genéticamente, concentrándose en los cambios que podrían modificar sus interacciones con el ecosistema;
- (3) determinación de las interacciones previstas entre los peces alterados genéticamente y el ecosistema, como la competencia de interferencia con otras especies de peces o pastoreo de vegetación acuática; y

⁹¹ Devlin, R.H.; Sundström, L.F.; Johnsson, J.I.; I.A Fleming, I.A.; Hayes, K.R.; Ojwang, W.O.; Bambaradeniya, C.; Zakaraia-Ismail, M. 2007. Assessing ecological effects of transgenic fish prior to entry into nature. Páginas 151-187 en Kapuscinski *et al.*, (eds) (ver nota a pie 80).

⁹² Instrucciones para llevar a cabo cada fase aparecen en Devlin *et al.*, 2007 (ver nota a pie 91).

- (4) cálculo de la escala y probabilidad de los efectos ecológicos resultantes de cada interacción de peces alterados genéticamente con el ecosistema.

En cada fase, los asesores deberán integrar la información proveniente de distintas fuentes, incluyendo expertos y partes interesadas pertinentes; datos de referencia sobre ecosistemas receptores potenciales (por ej., de estudios de campo); y datos empíricos de experimentos diseñados adecuadamente que incorporen condiciones seminaturales. Los asesores de riesgos deberán determinar el confinamiento apropiado de los peces alterados genéticamente en los experimentos de evaluación de riesgos⁹³, tomando en consideración los recursos disponibles y aquello que se desconoce de estos peces. Incluso cuando se aplica este planteamiento sistemático de cuatro fases, una evaluación probable de riesgos de los efectos ecológicos será una tarea compleja que implicará fuentes importantes de incertidumbre. Los peces alterados genéticamente pueden comportarse de manera diferente en los experimentos para evaluar riesgos que si estuvieran en su hábitat natural, y se debe especialmente a las interacciones genotipo-ambiente, reduciendo el valor de la aplicación de los resultados a los ambientes naturales. Los estudios para obtener datos específicos de un caso sobre las consecuencias ecológicas deberán simular una serie de condiciones ecológicas representativas del ecosistema acuático potencialmente afectado.

7.6 Análisis de incertidumbre⁹⁴

Todas las evaluaciones de riesgos están sujetas a incertidumbre. La confiabilidad de una evaluación de riesgos ecológicos depende de la identificación y tratamiento de las distintas fuentes de incertidumbre. «Tratar» una incertidumbre significa analizarla, eliminarla (resolverla) o llevarla a través de las cadenas de cálculos y juicios de toda la evaluación de riesgos. La identificación sistemática y tratamiento de incertidumbres puede ayudar a revelar cuándo aplicar un planteamiento preventivo (Capítulo 11). Distintos tipos de incertidumbre surgen de distintos

⁹³ Instrucciones para los experimentos seminaturales y los experimentos reducidos aparecen en Kapuscinski *et al.*, 2007, capítulos 5, 6 y 8 (ver nota a pie 80).

⁹⁴ Hayes, K.R.; Regan, H.M.; Burgman, M.A. 2007. Introduction to the concepts and methods of uncertainty analysis. Páginas 188-208 en Kapuscinski *et al.*, (eds) (ver nota a pie 80).

mecanismos, por lo que los analistas de riesgos han formulado métodos matemáticos y cualitativos apropiados para identificar, tratar y comunicar cada tipo⁹⁵. Es extremadamente importante construir capacidades y experiencia práctica en la aplicación de estos métodos para evaluar los riesgos de los peces alterados genéticamente. Las partes responsables de llevar a cabo las evaluaciones del riesgo ecológico deberán recibir capacitación para:

- identificar las incertidumbres a través de métodos de deliberación de las partes interesadas y expertos;
- tratar las incertidumbres utilizando métodos apropiados o contratar a expertos cualificados para que lo hagan;
- comprender los resultados del tratamiento de cada incertidumbre identificada; y
- representar y comunicar los tratamientos de incertidumbre de una manera confiable y transparente.

7.7 Gestión del riesgo ecológico

El manejo del riesgo ecológico tiene por objeto reducir los riesgos identificados a niveles aceptables⁹⁶. Puede incluir medidas de confinamiento y programas de seguimiento. Cuando una evaluación de riesgos identifica riesgos probables pero manejables, se debe formular y aplicar un plan de manejo de riesgos que forme parte integral de la diseminación de peces mejorados genéticamente. Los planes de manejo de riesgos se deben basar en las conclusiones derivadas de una evaluación de riesgos para que se enfoquen en los riesgos priorizados y estén respaldados por el entendimiento compartido de quienes participaron en la evaluación.

⁹⁵ Una síntesis de los métodos para tratar las fuentes de incertidumbre aparece en Hayes *et al.*, 2007 (ver nota a pie 94).

⁹⁶ Un amplio diálogo entre los interesados en llegar a un acuerdo sobre los niveles aceptables para la disminución de riesgos, hará más fácil la aceptación social de la decisión.

7.7.1 *Cría en confinamiento de los organismos alterados genéticamente*⁹⁷

Ningún método de contención es 100 por ciento eficaz, entonces los gestores de riesgos deben considerar el uso y aplicación de medidas de contención así como las mejores prácticas de manejo⁹⁸ de la contención. Pueden ser necesarios múltiples métodos de contención para reducir el número de escapes de un sistema acuícola a niveles aceptables. Las medidas de contención pueden enfocarse en prevenir escapes o reducir sus efectos si estos ocurrieran. Para prevenir los escapes pueden utilizarse barreras químicas, como temperaturas letales del agua o pH; barreras mecánicas, como mamparas; o barreras geográficas, como criar una especie marina en un sistema cerrado de agua salada en aguas interiores. Las barreras biológicas, como una triploidia inducida que vuelve funcionalmente estériles a los adultos de algunas especies de peces, pueden utilizarse para reducir el flujo de genes (y, en consecuencia, los riesgos genéticos) y el establecimiento de poblaciones (reduciéndose así los riesgos ecológicos). Pero la esterilización no elimina todos los riesgos ambientales. Los peces estériles que escapan podrían aun competir con los peces silvestres por los recursos limitados o participar en comportamiento de cortejo y desove, perturbando la reproducción en las poblaciones silvestres.⁹⁹

7.7.2 *Vigilancia de la presencia y efectos ecológicos de los organismos alterados genéticamente*¹⁰⁰

La mejor manera de detectar escapes y los primeros indicios de cambios ecológicos indeseables es mediante un programa de vigilancia bien

⁹⁷ Mair, G.C.; Nam, Y.K.; Solar, I.I. 2007. Risk management: Reducing risk through confinement of transgenic fish. Páginas 209-238 en Kapuscinski *et al.* (2007) (ver nota a pie 80).

⁹⁸ Las mejores prácticas gerenciales variarán según el sistema de acuicultura y puede ser muy difícil implementar en un contexto de pocos recursos. Una guía general sobre las mejores practicas gerenciales se encuentra en Mair *et al.*, 2007 (ver nota a pie 97).

⁹⁹ Agricultural Biotechnology Research Advisory Committee (ABRAC). 1995. *Performance Standards for Safely Conducting Research with Genetically Modified Fish and Shellfish*. Partes I y II, USDA, Office of Agricultural Biotechnology, Washington D.C. Disponible en: www.isb.vt.edu/perfstands/psmain.cfm

¹⁰⁰ Senanan, W.; Hard, J.J.; Alcivar-Warren, A.; Trisak, J.; Zakaria-Ismail, M.; Lorenzo Hernandez, M. 2007. Risk management: post-approval monitoring and remediation. Páginas 239-271 en Kapuscinski *et al.* (2007) (ver nota a pie 80).

diseñado que integre los métodos típicos de muestreo de campo de pesquerías con técnicas de estadísticas y que utilice marcadores genéticos basados en el ADN para detectar a los ejemplares alterados genéticamente. La vigilancia debe ser planeada para detectar uno o más puntos finales en varios niveles ecológicos:

1. presencia de individuos alterados genéticamente en el ecosistema;
2. presencia de una primera generación de descendencia híbrida (de la reproducción exitosa de ejemplares que escapan con parientes silvestres);
3. presencia de descendencia híbrida retrocruzada (de la reproducción exitosa de híbridos de la primera generación con parientes silvestres);
4. presencia de ejemplares alterados genéticamente en todas las etapas de vida;
5. cambio en la población de ejemplares genéticamente alterados y ejemplares silvestres; y
6. cambios en el número de especies acuáticas locales y su abundancia relativa.

Los puntos finales 1-5 pueden suceder luego de una a varias generaciones después de que los peces alterados genéticamente entran en un ecosistema, permitiendo la detección relativamente temprana de cualquier efecto ecológico. Resulta más fácil y rápido detectar estos puntos finales que supervisar los cambios en el nivel de comunidad en la composición de las especies (punto final 6). Este último punto final puede tardar varias generaciones en manifestarse, resulta difícil de detectar y podría deberse también a otros peligros (por ej., daño del hábitat), dificultando distinguir los efectos debido a los organismos alterados genéticamente. Por ejemplo, la detección relativamente temprana de peces alterados genéticamente en todas las etapas de vida en una zona vigilada (punto final 4) indicaría que dichos individuos se están reproduciendo lo suficientemente bien como para interactuar ampliamente con otras especies. Se necesitaría una vigilancia mas prolongada y de mayor complejidad para determinar si la interacción entre estos peces alterados genéticamente y otras especies conduce a cambios indeseables en la composición de la comunidad de peces (punto final 6).

Una supervisión prematura puede permitir respuestas correctivas (o los planes de contingencia señalados en el Capítulo 11) lo más temprano posible. Las respuestas correctivas pueden incluir el mejoramiento de las medidas de contención, el retiro de los peces genéticamente alterados de su ambiente silvestre (esto rara vez es viable y resulta muy costoso) y la restricción de la posterior utilización de los peces genéticamente alterados en la acuicultura. Las instancias decisorias deben darse cuenta de que resulta extremadamente difícil y costoso remediar los efectos ecológicos adversos una vez que se han extendido. La vigilancia puede también confirmar la conclusión de la evaluación de riesgos sobre la seguridad ecológica. Un programa de supervisión debe tener una elevada probabilidad de detectar los cambios que ocurren realmente utilizando, entre otras cosas, diseños apropiados de muestreo, herramientas científicas y análisis de datos¹⁰¹.

7.8 Restricciones y oportunidades

La evaluación de riesgos ecológicos y el manejo de peces alterados genéticamente son labores complejas que demandan recursos considerables. Las metodologías están evolucionando y la experiencia práctica es limitada. La necesidad de crear capacidad humana e institucional es generalizada. Las mayores necesidades¹⁰² son:

- llenar las deficiencias en los datos de referencia ecológicas y genéticas y mejorar el acceso a las bases de datos existentes;
- desarrollar métodos ampliamente utilizables para evaluar los riesgos ecológicos y manejar los peces alterados genéticamente;
- desarrollar programas de capacitación para la evaluación a fondo de riesgos para las personas que necesitan ejecutar procesos de evaluación de riesgos (gerentes, científicos y mediadores) y para ayudar a los formuladores de política a comprender cómo los resultados pueden influir en su toma de decisiones;

¹⁰¹ Una extensa orientación sobre estos aspectos de la vigilancia se encuentra en Senanan *et al.*, 2007 (ver nota a pie 100).

¹⁰² Nairobi Declaration, Dhaka Declaration (ver nota a pie 2); Kapuscinski *et al.*, 2007 (ver nota a pie 80).

- fortalecer las colaboraciones internacionales para conducir estudios de evaluación de riesgos en condiciones seminaturales y de confinamiento;
- fortalecer los marcos institucionales necesarios para determinar la toma de decisiones sobre riesgos en esta área; y
- promover lazos entre las instituciones pertinentes, así como programas cooperativos internacionales para abordar las necesidades ya mencionadas.

Los esfuerzos por satisfacer dichas necesidades también contribuirán a conservar la biodiversidad acuática y el desarrollo responsable de la acuicultura. Mejores datos de referencia sobre los componentes claves de las comunidades naturales de peces (por ej., sobre la diversidad genética de las poblaciones silvestres y los factores que afectan la composición de las especies) pueden ayudar a priorizar los esfuerzos para conservar la biodiversidad acuática, informar sobre el diseño de zonas para la acuicultura y la conservación (Capítulo 9) y anunciar las estrategias para la adaptación al cambio climático en el sector de pesquerías. Otros temas de interés relacionados con los impactos ecológicos de la acuicultura (por ej., la cría de especies exóticas o descargas de efluentes) y otras actividades de desarrollo (por ej., la construcción de presas) requieren marcos conceptuales para evaluar los riesgos sistemáticamente y otras metodologías similares. De este modo, los métodos ampliamente empleados y los programas de capacitación mejorarán la evaluación de los riesgos ecológicos del sector acuático en general.

7.9 Conclusión

Tanto la evaluación de los riesgos ecológicos de los peces mejorados genéticamente antes de su diseminación y la supervisión ecológica después de la diseminación son necesarios para alcanzar amplios beneficios sin socavar la conservación de la biodiversidad acuática. Las metodologías para la evaluación sistemática de riesgos permiten a los formuladores de política centrar los recursos limitados para la evaluación de riesgos entre cuestiones más prioritarias. Se debería incorporar técnicas científicas apropiadas en las deliberaciones de múltiples partes interesadas. Esto permite llegar a acuerdos respecto a los peligros priorizados, utilizar el conocimiento existente más relevante, enfocar las pruebas y recopilación de datos en llenar las deficiencias de información, aplicar análisis de

incertidumbre para mejorar la calidad de las conclusiones y mejorar la comprensión de los problemas y la confianza social en el proceso de evaluación de riesgos y sus conclusiones. Una vigilancia bien diseñada es esencial para la detección prematura de las señales de efectos indeseables en los peces alterados genéticamente en los ecosistemas naturales. La vigilancia efectiva, sin embargo, es compleja y requiere de gran experiencia técnica y compromiso de largo plazo.

La evaluación y el manejo de riesgos es un trabajo complicado que aun no se ha utilizado ampliamente en la acuicultura. A medida que la acuicultura se extiende y utiliza más organismos mejorados genéticamente, se vuelve más urgente la necesidad de refinar y aplicar procesos para el análisis de riesgos que abarque a científicos, múltiples partes interesadas y agencias reguladoras de gobierno. La evaluación y gerencia proactiva de riesgos puede conducir la acuicultura de organismos mejorados genéticamente hacia prácticas que protejan la naturaleza al mismo tiempo que apoye el cultivo de peces en forma exitosa.

8 PESQUERÍA BASADA EN EL CULTIVO¹⁰³

8.1 Principios generales

En estas directrices, la pesquería basada en el cultivo se refiere a las pesquerías de captura mantenidas por medio de la repoblación con material que ha crecido dentro de las instalaciones acuícolas. El «material» está generalmente en sus primeras etapas de vida, pero podría también incluir juveniles o adultos. Existen tres categorías generales de pesquería basada en el cultivo:

1. aquella en donde el material reservado se destina a la reproducción entre ellos mismos y con las especies locales, aumentando o reestableciendo las poblaciones locales;
2. aquella en donde el material reservado se destina a la reproducción entre ellos mismos, pero no con las especies locales, creando de este modo una nueva población;
3. aquella en donde el material reservado no está destinado a la cría.

Un grupo internacional que trabaja en pesquerías costeras ha sugerido la utilización de la siguiente terminología

- repoblación, la liberación de los juveniles cultivados en las poblaciones silvestres con el fin de restaurar la biomasa de desove, severamente dañada, hasta el nivel en donde puedan producir otra vez en forma regular y substancial;
- mejoramiento de la población, la liberación de los juveniles cultivados en las poblaciones silvestres para aumentar el suministro natural de juveniles y optimizar las cosechas superando el límite de reclutamiento;
- «liberación con retorno» (*sea ranching*), la liberación de juveniles cultivados en medioambientes marinos abiertos y estuarios con el fin de cosecharlos cuando alcancen un tamaño mas grande durante las operaciones de «introducción, crecimiento y captura» (*put, grow and take*).

¹⁰³ Contribución de Devin M. Bartley.

Para manejar eficazmente los recursos genéticos en la pesquería basada en el cultivo, es esencial saber cuál de los objetivos mencionados es el que se busca. Se reconoce que estas categorías no están aisladas, por ejemplo, un pez en la categoría 3 puede reproducirse. Esto no es la medida del éxito de dicha pesquería, pero debe ser considerado en el análisis del riesgo. El éxito de las pesquerías basadas en el cultivo dependerá de los contextos sociales, económicos y ecológicos en el que son aplicados. La utilización de criaderos, en apoyo a las pesquerías, es una táctica gerencial que debe ser integrada dentro del plan de gestión general de pesquerías y masa de agua. No surtirá efecto alguno el simplemente liberar los organismos en la masa de agua sin tomar las previsiones necesarias para la gerencia de recursos, sin control sobre los pescadores y las prácticas de pesca, y sin protección del hábitat. Las orientaciones que se brindan aquí se enfocan en la gerencia de recursos genéticos de la pesquería basada en el cultivo.

8.2 Plan de administración de los recursos genéticos para la pesquería basada en el cultivo

No siempre se ha logrado el objetivo de aumentar la producción de pesquería mediante el uso de organismos criados en piscifactorías en la gerencia de pesquería. Esto se debe parcialmente a que los acuiculturistas producen peces jóvenes que sobreviven bien en el criadero, pero luego se los libera para que sobrevivan en ambientes silvestres completamente diferentes (Capítulo 3). Un pez domesticado que está adaptado a ser alimentado regularmente con dietas compuestas no sobrevivirá bien en la mayoría de los hábitats naturales. Por consiguiente, un plan gerencial de recurso genético para la pesquería basada en el cultivo debe ser muy diferente de los planes de mejoramiento de cría descrito en los capítulos 4-6. Los planes gerenciales generales se sintetizan más abajo para las tres categorías principales de la pesquería basada en el cultivo.

8.2.1 Pesquería basada en el cultivo donde el material reservado se destina a la reproducción con las especies locales

Cuando el objetivo de la pesquería basada en el cultivo es el de repoblar o aumentar la reproducción natural de las poblaciones naturales de las especies locales, la gerencia de recursos genéticos debería esforzarse para recrear el nivel natural de la diversidad genética en el material reservado. El ambiente del criadero debería ser tan natural como sea posible para

que no se introduzcan presiones de selección artificial. Esto requiere la elección correcta de las variedades a reservarse y también del criadero modificador y las técnicas de cría con el fin de minimizar la selección artificial o involuntaria.

8.2.1.1 Elección del material correcto

El material a ser reservado debería armonizar con la diversidad genética de las poblaciones naturales. Esto se logra mejor utilizando la reserva de genitores capturados en su hábitat natural. Si se dispone de poca reserva silvestre, como en el caso de varias poblaciones naturales amenazadas o extintas localmente, la identificación del material genético debería ser utilizada para identificar un material muy similar. Cuando no se dispone de datos genéticos para la identificación de la población, se puede utilizar información sustituta, por ej. elegir las poblaciones del mismo hábitat acuático (masa de agua o corriente de agua, como un afluente) con un ciclo biológico, crecimiento, color, forma y caracteres de comportamiento similares. Se debería evitar la transferencia de las poblaciones entre diferentes cuencas o ecoregiones. Para optimizar el tamaño de una población efectiva y reducir la deriva genética, la reserva de genitores (Capítulo 3) debiera estar disponible tan pronto como el pez reproductor esté listo para el apareamiento.

Para los programas de largo plazo es aconsejable desarrollar un plan de cría rotacional en donde se utilicen la reserva de genitores para producir material de reserva, luego son liberados una vez más en el hábitat natural, y luego se trae una nueva reserva de genitores al criadero. La coordinación exacta de esta rotación dependerá del éxito del programa y la disponibilidad de la reserva de genitores naturales. Para las especies que sólo desovan una vez (por ej. el salmón del Pacífico) o donde es necesario matar a los reproductores para lograr la fertilización (por ej. algunos esturiones) esta rotación no es aplicable.

8.2.1.2 Elección del procedimiento correcto en los criaderos

Los peces se adaptarán a las prácticas gerenciales del criadero en un corto plazo y, en un plazo más largo, las condiciones del criadero ejercerán presiones selectivas sobre ellos (Capítulo 3). Las técnicas utilizadas en los criaderos deberían estar diseñadas para minimizar estas influencias (esto

es, reducir la selección de domesticación) cuando el material reservado está destinado a sobrevivir y a criarse en el hábitat natural. Las orientaciones sobre los protocolos de cría específicos para minimizar la endogamia y la pérdida de la diversidad genética se discuten en el Capítulo 3.

Las modificaciones típicas de los criaderos para reducir la selección artificial incluyen:

- provisión de alimento vivo, del hábitat natural en lo posible, antes que piensos compuestos;
- provisión de un hábitat más natural como grava, plantas y parcelas, antes que contenedores estériles y canales;
- provisión de una cantidad limitada de depredadores para enseñar a otros cómo evadir a los depredadores;
- luz natural/ciclos oscuros;
- liberación de peces más jóvenes que no se han adaptado a las condiciones de los criaderos. Sin embargo, esto debería ser evaluado ya que peces más adultos podrían sobrevivir mejor;
- desovar a peces durante toda la temporada de desove (es decir, no reunir simplemente mucha freza cuando es conveniente para alcanzar las metas de producción);
- no transferir peces entre los criaderos que están situados en diferentes cuencas o afluentes solamente para alcanzar las metas de producción.

8.2.2 Pesquería basada en el cultivo donde el material reservado se destina a la reproducción entre ellos mismos sin mezclarse con las especies locales

Esto puede surgir cuando el pez reservado para la pesquería basada en el cultivo tiene diferentes estrategias de reproducción que aquellas de las locales, porque son de diferentes especies o, si son iguales a las especies locales, tienen diferentes patrones de migración u otros comportamientos, como las preferencias del apareamiento. El ejemplo más común es la repoblación regular de especies exóticas o de variedades específicas de peces, como el salmón para la pesquería basada en el cultivo. Si se liberan peces fértiles para la reproducción, se espera que se desarrollen poblaciones de peces autosostenibles para evitar la necesidad de continuas repoblaciones.

La liberación de peces exóticos viables que sean capaces de reproducirse es considerada el tipo de mejoramiento de la repoblación más expuesto al riesgo (Capítulo 7). La gestión de estas poblaciones requiere conocimientos profundos de genética y la historia natural de una especie o población. Aun así, los caracteres de la historia natural y el comportamiento de una variedad puede cambiar cuando se encuentra en un nuevo ambiente. Estas orientaciones fueron creadas para aconsejar sobre los procedimientos responsables en el uso de las especies exóticas (Capítulo 5)¹⁰⁴. Asumiendo que estas orientaciones fueron seguidas y que se ha determinado que la pesquería basada en el cultivo de peces exóticos es una opción gerencial aceptable, se debería elegir una población que tenga características de comportamiento apropiado (por ej., el tiempo y lugar de migración), y se deberían planear e implementar las medidas gerenciales de recursos genéticos para optimizar N_e y evitar la selección de domesticación (ver Capítulo 3).

8.2.3 Pesquería basada en el cultivo donde el material reservado no está destinado a reproducirse

En varias pesquerías basadas en el cultivo no existe la intención o posibilidad de crear poblaciones autosostenibles. En estos casos, la gerencia de recursos genéticos debería esforzarse para optimizar la productibilidad y reducir los impactos negativos al ecosistema. La producción de peces estériles es el mejor medio para reducir las posibilidades de reproducción entre los peces reservados y las especies locales. La creación de triploides, es decir, agregando otro juego de cromosomas, es el método más común para producir peces estériles. La triploidia puede ser inducida por la temperatura, presión o tratamientos químicos para obtener gametos y desarrollar embriones. Esto se logra fácilmente en varias especies como los ostiones, salmón o trucha, pero es difícil en escala comercial para otras como la tilapia.

También se ha utilizado la liberación de individuos de un solo sexo, es decir monosexual, para reducir las posibilidades de reproducción. Los grupos monosexuales pueden obtenerse por medio de la manipulación

¹⁰⁴ Por ejemplo, International Council for the Exploration of the Sea ICES Code of Practice on the Introductions and Transfers of Marine Organisms 2004. www.ices.dk/reports/general/2004/ICESCOP2004.pdf

genética o administrando hormonas sexuales en el tiempo oportuno. Al combinar la triploidia inducida con la población monosexual se reducirá las posibilidades de crías no deseadas.

Es necesaria la supervisión del material reservado para asegurar que el criadero esté produciendo el producto deseado (es decir, que los materiales reservados son todos triploides o todos del sexo deseado).

También es posible controlar la cría supervisando los esfuerzos pesqueros y eligiendo el hábitat que se está poblando. Los peces son a menudo reservados en masas de agua temporarias que se secan antes que puedan reproducirse, en aguas cerradas que no están conectadas con los hábitats de desove, o en áreas bajo presiones intensas de pesca donde son capturados el 100 por ciento de los peces reservados. Sin embargo, estas condiciones no son siempre el 100 por ciento efectivas para impedir toda la reproducción porque algunos peces pueden trasladarse a áreas donde la reproducción es posible o la pesca menos intensa. El uso de peces estériles bajo estas circunstancias reducirá posteriormente las posibilidades de reproducción no deseada.

8.3 Supervisión, evaluación y reporte

Como en todas las pesquerías, es esencial la supervisión de las pesquerías basadas en el cultivo y por ello, el material reservado debe ser identificable. Los programas de marcación en los criaderos están siendo requeridos en varias partes del mundo para evaluar las contribuciones de los criaderos a las pesquerías basadas en el cultivo. Las marcas físicas pueden identificar las contribuciones iniciales, pero si el pez reservado se reproduce en el hábitat natural sólo las marcas genéticas pueden señalar las contribuciones de los criaderos en las generaciones siguientes. Un aumento en la abundancia de especies reservadas es, casi siempre, un indicador de la contribución del criadero a una pesquería; cambios favorables en el medioambiente o una mejor gerencia de pesquería podrían asimismo impulsar incrementos naturales.

Adicionalmente, se ha demostrado que en ciertos casos los peces conservados desplazan a las poblaciones locales conespecíficas. Esta situación se debería evitar y es otra razón que demuestra la importancia de saber diferenciar entre las poblaciones de criadero y las silvestres en la evaluación general de siembra de peces como una estrategia de gestión.

Un enfoque precautorio para desarrollar una pesquería basada en el cultivo requiere del desarrollo de puntos de referencia (Capítulo 11); de la identificación de los puntos de referencia que una piscifactoría procurará alcanzar y de la limitación de aquellos puntos de referencia que se deben evitar y supervisión regular para observar hasta qué punto se han cumplido los puntos de referencia. Los puntos de referencia deberían relacionarse con los objetivos expuestos, la evaluación del riesgo y las medidas del éxito (ver Capítulo 11).

Mientras los criaderos liberen organismos viables que sean capaces de reproducirse con el fin de apoyar las pesquerías basadas en el cultivo, existe la posibilidad que se desarrollen poblaciones autosostenibles y de este modo prescindir de poblaciones adicionales. Esto es esencialmente evidente en los programas de recuperación para las especies amenazadas que podría combinar la repoblación con el mejoramiento del hábitat y de la legislación. La supervisión y las discusiones honestas con las partes interesadas son necesarias para determinar la necesidad poblaciones adicionales luego de que las poblaciones autosostenibles se hayan establecido.

La FAO recopila información de la cantidad y las especies que son liberadas en las masas de agua abiertas, incluyendo las masas de agua naturales, y seminaturales como los embalses y otras aguas administradas como los campos de arroz. A fin de evaluar la contribución de las pesquerías basadas en el cultivo a la producción pesquera nacional y global, los gerentes de los criaderos deberían comunicar la información completa y actual de todos los comunicados de las pesquerías basadas en el cultivo a sus oficinas de estadística nacional, para ser, luego, enviado a la FAO.

9 CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS GENÉTICOS DE PECES SILVESTRES Y LA ACUICULTURA¹⁰⁵

9.1 Introducción

Al adoptar el Código unánimemente, los Estados reconocieron que la conservación es un elemento necesario del uso responsable. Este capítulo trata del uso responsable de los recursos genéticos de peces silvestres para la acuicultura, resaltando su conservación. Los recursos genéticos de peces silvestres son un subconjunto muy valioso para todos los recursos genéticos que están disponibles para su utilización presente y futura en acuicultura y para estudios relacionados. Los recursos genéticos de peces silvestres son recursos genéticos de peces de vida libre por naturaleza y fueron mínimamente modificados por las actividades del hombre, sin embargo, es cada vez más difícil encontrar una población silvestre completamente sin cambios (ver la sección 9.2). El término silvestre es, por lo tanto, un término relativo, que significa lo más silvestre posible en circunstancias cambiantes.

Como todos los recursos genéticos de peces en la acuicultura, los recursos genéticos de peces silvestres comprenden ADN, genes, gametos, organismos individuales y poblaciones (Capítulo 1). Aunque no se menciona los recursos genéticos silvestres explícitamente, el Código los incluye implícitamente cuando menciona la biodiversidad, poblaciones cultivadas, recursos acuáticos vivos, diversidad genética, poblaciones silvestres, poblaciones cultivadas y alteradas genéticamente y de este modo, requiere su gestión (es decir, conservación y uso sostenible) y requiere el cuidado de su hábitat. El propósito de este capítulo es el de proveer una guía para los formuladores de políticas acuícolas y decisiones para que puedan promover una acuicultura responsable, proteger recursos genéticos silvestres de valor y cuando sea necesario, contribuir a su recuperación.

9.2 Recursos genéticos de peces silvestres

El estado salvaje en un pez es una cualidad especial, reconocida ampliamente por naturalistas y conservacionistas, como por pescadores comerciales y deportivos y por consumidores de pescado. Sin embargo,

¹⁰⁵ Contribución de Roger S.V. Pullin.

el verdadero estado salvaje acuático está disminuyendo y el estado salvaje de las poblaciones de vida libre está siendo seriamente comprometido. La pesquería de captura, la pérdida del hábitat y la degradación del ambiente acuático reduce las diversidades genéticas de las poblaciones acuáticas y otra biodiversidad. Las áreas acuáticas protegidas se vuelven menos naturales cuanto más intensivamente son gerenciadas y cuanto más influenciadas están por las áreas no protegidas a su alrededor.

Varias poblaciones autosostenibles en la naturaleza han sido derivadas de repoblaciones acordadas, de peces escapados de la acuicultura y de peces desechados de los acuarios. Dichas poblaciones incluyen a especies exóticas y nativas. Aquellos que descienden de peces que fueron de tipos silvestres o parecidos genéticamente a los tipos silvestres todavía representan a los recursos genéticos de peces silvestres. Aquellos que descienden de peces que estuvieron en varias etapas de domesticación, incluyendo variedades bien definidas, híbridos y otras formas alteradas genéticamente, son peces silvestres, análogos a los ganados silvestres que descienden de animales que escaparon de granjas o haciendas. Las formas silvestres son seleccionadas naturalmente de la domesticación para su adaptación en el hábitat natural. Los peces silvestres representan recursos genéticos valiosos para la pesquería de captura y para la investigación acuícola y áreas relacionadas. No existen recursos genéticos silvestres *per se* pero se los debería incluir para fines gerenciales.

Los siguientes tipos de peces contribuyen a la diversidad de los recursos genéticos silvestres: especies nativas de tipo silvestre; especies exóticas de vida libre; los descendientes de las introducciones y liberaciones de peces salvajes y las poblaciones de vida libre de especies que extendieron su línea natural previa cuando las barreras fueron removidas, esto es, introducciones al Mediterráneo vía el Canal de Suez. Varias de las poblaciones de peces silvestres del mundo son distinguibles de sus parientes de criaderos por su ubicación, apariencia, comportamiento y sobre todo, por la caracterización genética bioquímica. Aunque algunas poblaciones de peces cultivados son del tipo silvestre porque fueron recolectados como semilla silvestre - por ejemplo, larva de molusco - la mayoría so genéticamente diferentes de sus parientes de vida libre en las poblaciones salvajes, con frecuencias considerablemente diferentes para

muchos alelos¹⁰⁶. Hasta donde no se haya aplicado selección terminante u otra alteración genética, las generaciones sucesivas de reproducción cautiva producen peces que difieren cada vez más de los tipos silvestres (Capítulos 3 y 4).

En un sentido más amplio, los recursos genéticos silvestres para la acuicultura comprenden no sólo los de las especies de peces cultivados sino también los de las especies de todos los ecosistemas que respaldan la producción acuícola; por ejemplo, las poblaciones silvestres que son cosechadas para servir de alimento acuícola y los panctons y microorganismos de las granjas piscícolas que proveen alimentos, oxígeno y procesamiento de desechos. Por lo tanto, los recursos genéticos de estos organismos, de los cuales depende la producción acuícola, debe también ser documentada y conservada a través de medidas apropiadas aplicadas a las pesquerías de captura y el bienestar de los ecosistemas en los que se practica la acuicultura.

9.3 Importancia para la agricultura

La domesticación y el mejoramiento genético de la mayoría de los peces de criadero están por detrás de las plantas cultivadas y del ganado. La producción cautiva y los programas de cría se establecieron para muchas especies de peces cultivados pero no para todos. Por consiguiente, algunos peces son todavía criados como tipos silvestres o como poblaciones sin domesticar pero cercanos a los tipos silvestres. El cultivo de algas marinas depende bastante de la propagación de los tipos silvestres. Si la domesticación de peces es definida como reproducción continua controlada por más de 3 generaciones, sólo 30 especies de los peces de criadero, de 103 para los cuales la producción de 2004 superó 1 000 toneladas métricas, puede ser calificado como domesticado¹⁰⁷ (Capítulo 3). La acuicultura basada en la captura¹⁰⁸, las pesquerías basadas en el cultivo (Capítulo 8), que abarca semillas de peces recolectadas en el hábitat natural o semillas

¹⁰⁶ Elliot, N. y Evans, B. 2007. Genetic change in farm stocks: should there be concern? *World Aquaculture*, 36 (1): 6-8.

¹⁰⁷ Bilio, M. Controlled reproduction and domestication in aquaculture. The current state of the art. Part II. *Aquaculture Europe*, 32 (3): 5-23.

¹⁰⁸ Ottolenghi, F.; Silvestri, C.; Giordano, P.; Lovatelli, A. y New, M. 2004. Capture-based aquaculture. The fattening of eels, groupers, tunas and yellowtails. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 308p.

de criaderos de reservas de genitores recolectados en el hábitat natural y a pesquería de captura que suministra alimentos e ingredientes para preparar los alimentos para la acuicultura de todos los peces silvestres cosechados. Con el desarrollo de nuevas tecnologías para la reproducción en cautiverio, el cultivo de peces silvestres y sin domesticar disminuirá pero los recursos de peces silvestres seguirán siendo importantes para la acuicultura, para su uso en los programas de cría de peces y otros estudios relacionados. Esto es parecido a la importancia continua de los parientes silvestres de plantas cultivadas como fuente de diversidad genética a ser explotado por los cultivadores de plantas, a pesar del gran progreso en la genómica de plantas. Lo mismo se aplica a los peces en criaderos, a pesar del adelanto de la genómica de peces y la amplia utilización de tecnología genética moderna en la acuicultura. La acuicultura enfrentará varios desafíos como, por ejemplo, enfermedades nuevas y más virulentas, cambio climático y la necesidad de cortar los costos de producción y aumentar la productividad mejorando una amplia gama de características de rendimiento. La mayoría de los recursos genéticos que pueden contribuir a realizar estos desafíos son recursos genéticos silvestres. Son bienes muy valorados por el público a pesar de ser vulnerables, y en muchos casos, estar desapareciendo. Por consiguiente, es importante reconocer primeramente que los recursos genéticos son vitales para la futura sostenibilidad y rentabilidad de la acuicultura y en segundo lugar, invertir adecuadamente en su caracterización y conservación, a fin de asegurar su continua disponibilidad.

9.4 Diferentes enfoques de gestión

9.4.1 *Categorización y priorización*

Las poblaciones de peces silvestres pueden ser distinguidos genéticamente cuando hay una reducción en el intercambio de genes (flujo de genes) entre ellos y cuando existe presiones selectivas diferentes del ambiente (Capítulo 3). Se los encuentra como una población pequeña con altos índices de flujo de genes; las subpoblaciones parcialmente aisladas tienen algunas veces adaptaciones locales; poblaciones locales más aisladas a menudo tienen adaptaciones locales; poblaciones aisladas y cerradas; metapoblaciones conectadas a través de las migraciones. Para muchas especies en acuicultura, la meta general debe ser el de maximizar, dentro de lo posible, la continua disponibilidad de diversidad genética silvestre.

Normalmente la diversidad genética de especies está representada por variaciones en su ámbito geográfico, siendo las más diferentes, generalmente, las poblaciones más aisladas y no deterioradas. Lo fundamental es reunir suficiente dato genético para caracterizar, lo máximo posible, la diversidad genética de las especies y así poder identificar las poblaciones silvestres que representan las contribuciones más importantes a esa diversidad. En los libros de conservación, se los puede llamar unidades de conservación o unidades significativas de evolución. Representan componentes importantes de la diversidad genética total entre las especies. Además, algunas poblaciones locales, aunque parecidas superficialmente a las otras, son diferentes, especies crípticas y por ello cuentan con genes únicos y valiosos¹⁰⁹.

Es muy difícil priorizar entre una amplia diversidad de recursos genéticos silvestres para su conservación y acordar sobre las medidas de gestión, especialmente en donde los datos genéticos son limitados. Se recomienda un enfoque precautorio, dándole mayor prioridad a la conservación de los recursos genéticos que sean claramente distintos y que represente contribuciones importantes a la diversidad genética silvestre global de las especies, hasta donde se pueda saber, pero asumiendo también que todos los otros recursos genéticos son potencialmente importantes. Se debería consultar con un genetista profesional para entender toda la información disponible y compensar la deficiencia informativa¹¹⁰.

Los recursos genéticos silvestres de alta prioridad para la conservación abarcan las poblaciones en masas de agua separadas y cursos de agua, en y alrededor de diferentes islas y en diferentes bahías y estuarios. El aislamiento geográfico indica usualmente, el valor potencial y la particularidad de los recursos genéticos silvestres. Para las especies altamente migratorias, este criterio de aislamiento se aplica particularmente a las poblaciones de cría y en las etapas iniciales del ciclo biológico. Los recursos genéticos silvestres potencialmente diferentes y valiosos cuentan también con diferentes patrones de comportamiento, época de desove, y otros comportamientos. Las poblaciones cerca de los centros naturales de la

¹⁰⁹ Thorpe, J.P.; Solé-Cava, A.M. y Watts, P. 2000. Exploited marine invertebrates: genetics and fisheries. *Hydrobiologia*, 420: 165-184.

¹¹⁰ Pullin, R.S.V. 2000. Management of aquatic biodiversity and genetic resources. *Reviews in Fisheries Science*, 8 (4): 379-393.

diversidad genética de especies son importantes como recursos genéticos silvestres y se les debería otorgar alta prioridad de conservación, pero también es importante conservar poblaciones representativas a través del ámbito total natural de una especie, particularmente aquella cercana a sus límites y en hábitats extremos: por ejemplo, las poblaciones más al norte o al sur y aquellas en manantiales termales o alta salinidad. Se debería buscar asesoramiento profesional de genetistas de conservación con el fin de priorizar la conservación de los recursos genéticos silvestres. Si no se puede obtener dichos asesoramientos, se debería buscar en organizaciones internacionales, incluso la FAO, la Unión Internacional para la conservación de la Naturaleza (UICN)¹¹¹, las secretarías de convenciones internacionales —por ejemplo el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB)¹¹², Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas¹¹³, y la Convención sobre la conservación de las Especies Migratorias de Animales Silvestres¹¹⁴.

9.4.2 *Perspectivas intersectoriales*

El artículo 9.1.3 se refiere a la participación de los recursos en la acuicultura y otros sectores: «*Los Estados deberían formular y actualizar regularmente planes y estrategias para el desarrollo de la acuicultura, según proceda, para asegurar que el desarrollo de la acuicultura sea ecológicamente sostenible y permitir el uso racional de los recursos compartidos por ésta y otras actividades.*» Esto requiere de perspectivas intersectoriales. La conservación de recursos genéticos silvestres forma parte de la conservación natural, que es un sector por derecho propio. Los hábitats y las aguas de los recursos genéticos silvestres son utilizados por los humanos en diferentes medidas para la agricultura, acuicultura, conservación de la vida silvestre, ciencia forestal, industria, minería, conservación de la naturaleza, navegación, generación de energía, recreación y turismo, suministro de agua a asentamientos humanos y tratamiento y evacuación de residuos. La conservación de los recursos genéticos silvestres debe enfrentarse a las necesidades de todos estos otros sectores, ya que todos deben hacer frente a las necesidades de los otros.

¹¹¹ www.iucn.org

¹¹² www.biodiv.org

¹¹³ www.cites.org

¹¹⁴ www.cms.int

Reconciliar la acuicultura con la conservación de los recursos genéticos silvestres de vida libre es particularmente difícil. Algunas aguas que ofrecen oportunidades para la acuicultura contienen también recursos genéticos silvestres de gran importancia nacional e incluso internacional. Los piscicultores necesitan y deben ser autorizados a cultivar las especies de peces y variedades más productivas y rentables, como en la agricultura, dependiendo de su adhesión a la biodiversidad, bioseguridad, otras salvaguardias medioambientales y acceso legal y a la propiedad. Sin embargo, los peces que han escapado de granjas y los patógenos de piscifactorías pueden tener un impacto negativo sobre los recursos genéticos silvestres y sobre otra biodiversidad y hábitat natural.

A medida que la acuicultura se expande a las cuencas hidrográficas, áreas costeras y mar abierto, los formuladores de política y autoridades reguladoras deben considerar cada vez más qué tipo de pez van a permitir que sea cultivado y en qué lugar y la conservación de los recursos genéticos silvestres es un factor importante aquí. Las cuatro opciones, en orden de su creciente restricción y precaución en la búsqueda de las metas de conservación son: 1) permiso para la cría de cualquier pez; 2) permiso para la cría de una sola especie nativa; 3) permiso para la cría de una variedad de una especie nativa típica de esa localidad —observar aquí, sin embargo que la variedad o variedades de peces cultivados se volverán luego genéticamente diferentes a la variedad local silvestre; y 4) prohibición de toda acuicultura. Elegir entre estas opciones es difícil. Las ganancias para el desarrollo acuícola deben mantener un equilibrio con las pérdidas y los cambios de los recursos genéticos silvestres, otra biodiversidad y hábitat. Se recomienda seguir las disposiciones del Código para permitir solamente el desarrollo de la acuicultura responsable, lo que implica la determinación y seguimiento de las metas de conservación de la naturaleza, incluyendo los recursos genéticos silvestres y la salvaguardia de los intereses de otros sectores. Es clave adoptar una perspectiva intersectorial para lograr un balance entre el desarrollo y la conservación. Aún cuando esté limitado a unos pocos sectores por ejemplo, a la acuicultura, conservación de la naturaleza y gestión de los recursos del agua —una perspectiva intersectorial beneficiaría a otros sectores que dependen del bienestar del ecosistema acuático y servicios.

Las partes interesadas en estos y otros sectores deben reunirse, discutir y llegar a acuerdo balanceado, basado en los compromisos acordados

consensualmente, sacrificio y participación de los beneficios. Esto podría ser difícil porque históricamente muchas de las instituciones de acuicultura y de conservación han estado separadas, por ejemplo, el desarrollo de la acuicultura y el control de los procedimientos independientes del establecimiento y seguimiento de las metas de conservación. Las instituciones intersectoriales aun no están bien desarrolladas, aunque se las menciona en el Código con el fin de fomentar la responsabilidad en la acuicultura. Por lo tanto, se debería incentivar el desarrollo de las instituciones intersectoriales para que la acuicultura, la conservación y otros sectores puedan trabajar en armonía. Se debería mantener la perspectiva intersectorial no sólo antes o durante el desarrollo de la acuicultura sino también por medio del control constante e indefinido de la acuicultura y sus relaciones intersectoriales. Esto está reconocido también en el Artículo 7.6.8 que dispone que: *«las medidas de conservación y gestión y sus posibles interacciones debería mantenerse bajo permanente escrutinio.»*

9.4.3 Emparejamiento de la acuicultura con la conservación

Se recomienda el emparejamiento del desarrollo y supervisión de la acuicultura con medidas para y vigilancia de la conservación de los recursos genéticos silvestres como un medio lógico de asegurar el uso sostenible y la conservación a largo plazo de los recursos genéticos silvestres.¹¹⁵ La colaboración requiere de la zonificación de áreas designadas para la acuicultura y áreas para la conservación que estén completamente fuera de los límites y aisladas de las aguas para la acuicultura y granjas piscícolas, como también de los impactos de otros sectores potencialmente perjudiciales. En las áreas bien escogidas, se pueden cultivar una gran variedad de peces, siempre que la conservación de los recursos genéticos silvestres esté totalmente asegurada en áreas de conservación emparejadas, como las reservas naturales y los sitios sagrados. Pero la equiparación no sólo trata de separar la zonificación de la acuicultura y la conservación de los recursos genéticos silvestres. Debe abarcar la formulación de políticas conjuntas, acciones integradas,

¹¹⁵ Pullin, R.S.V. *en prensa*. Aquaculture and conservation of fish genetic resources: twinning objectives and opportunities. *En* Pioneering fish genetic resource management and seed dissemination programmes for Africa: adapting principles of selective breeding to the improvement of aquaculture in the Volta Basin and surrounding areas. CIFA Occasional Paper No. 29. FAO: Accra, Ghana.

supervisión y especialmente financiamiento conjunto, para que los dos sectores progresen de manera interdependiente. La utilización y conservación adoptan, luego, objetivos de gestión coincidentes y a partir de allí son cofinanciados continuamente.

Las áreas de conservación que se ajustan al estricto criterio de emparejamiento que se define aquí no siempre estarán disponibles. Muchas reservas naturales y áreas acuáticas protegidas, aunque no estén fuera de los impactos de la acuicultura, pesca y otros sectores y permitiendo algunas veces el uso racional de sus recursos acuáticos vivos, incluyendo a la pesca, desempeña un papel esencial en la conservación de los recursos genéticos¹¹⁶. A pesar de grandes esfuerzos, en donde parezca imposible identificar y establecer una o más áreas de conservación en un ecosistema determinado, como una cuenca hidrográfica o zona costera, debido a circunstancias ecológicas históricas o presentes y sociales, el concepto de emparejamiento puede ser ampliado, a nivel nacional o internacional. El requisito principal es el desarrollo de la acuicultura en cualquier lugar que pueda incluir la integridad de los recursos genéticos silvestres está ligado a la conservación *in situ* y *ex situ* complementario al de los recursos genéticos silvestres en alguna otra parte.

9.4.4 Conservación *in situ*

Por convención, se denomina recursos genéticos *in situ* a las distintas variedades, características y líneas de plantas cultivadas, los peces cultivados y el ganado cuando están situadas en las granjas que sería su ambiente natural. Sus parientes silvestres de vida libre se los llama también recursos genéticos *in situ*. Las áreas acuáticas protegidas bien gerenciadas son bancos de genes *in situ* para los recursos genéticos silvestres (Capítulo 10), aunque este papel no se reconoce frecuentemente y su gestión carece de un agrupamiento adecuado y el uso de datos genéticos. Los recursos genéticos silvestres sólo se encuentran en hábitats naturales o relativamente intactos. Los dos requisitos básicos para la conservación *in situ* de cualquier población silvestre en cualquier área protegida son: i) mantener un tamaño de población genéticamente efectivo; es decir, un

¹¹⁶ Convención de Ramsar sobre los humedales (www.ramsar.org), Grupos en los cuales se considera la presencia de poblaciones importantes de peces como un criterio para designar los sitios de Ramsar.

número efectivo de cría (N_e), con el fin de evitar la depresión endogámica y la pérdida de la variación genética en los cuales las poblaciones pequeñas y aisladas están siempre en peligro (ver Capítulo 3)¹¹⁷ y ii) prestar igual atención a la gestión de sus hábitats, con el fin de evitar su pérdida o degradación. A menos que este último sea fructuoso, los recursos genéticos que se tienen en mira para la conservación serán cambiados o perdidos. La presencia continua y la integridad de las aguas y las comunidades biológicas que acogen recursos genéticos silvestres particulares debe ser asegurado ante los desafíos de los cambios climáticos, entre otros, construcción de presas, inundaciones, sequías, introducción de especies exóticas y enfermedades, polución de sobrepesca, acrecimiento y toma de agua. En este respecto, la conservación *in situ* de los recursos genéticos silvestres enfrentan las mismas restricciones que toda la conservación de la naturaleza, pero las amenazas a los peces silvestres, especialmente los de agua dulce y los peces altamente migratorios, son mayores que los de aquéllos de todos los grupos de vertebrados utilizados como alimento por los humanos.

La conservación *in situ* de recursos genéticos silvestres amenazados e importantes no debería ser abandonada porque la población que queda para los fines de conservación tiene N_e bajos. La poblaciones pequeñas de recursos genéticos silvestres conservados *in situ* contribuyen a los esfuerzos de la conservación total para una especie en particular y son especialmente importantes donde representan a muestras raras o las únicas restantes de una población local genéticamente diferente, como variedad de ríos o lacustre. La conservación *in situ* de recursos genéticos silvestres tiene costos operacionales y de oportunidad y esto debe ser reconocido y compartido entre los beneficiarios públicos y privados.

Uno de los asunto claves respecto a todos los recursos genéticos silvestres *in situ*, incluyendo a los recursos genéticos, es el cómo asegurar su recolección responsable de la naturaleza, evitando la sobrercolección y la recolección no autorizada, y su intercambio y utilización justos a partir de entonces. En 1993, los Estados Miembros de la FAO negociaron un Código internacional de conducta para la recolección y transferencia de germoplasma vegetal¹¹⁸, cuyos objetivos pueden ser aplicados a los

¹¹⁷ Frankham, R. 1995. Conservation genetics. Annual Review of Genetics, 29: 305-327.

¹¹⁸ FAO. 1994. Código internacional de conducta para la recolección y transferencia de germoplasma vegetal. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: Roma, Italia. 20p.

recursos genéticos silvestres. El Convenio sobre la Diversidad Biológica¹¹⁹ —especialmente sus Artículos: 8, sobre la conservación *in situ*, y especialmente el 8j, sobre la participación equitativa de los beneficios; 15, sobre el acceso a los recursos genéticos; 17, sobre el intercambio de información y el 18 sobre la cooperación técnica y científica— y varios otros instrumentos nacionales e internacionales estipula sobre la gestión de toda la biodiversidad, incluyendo implícitamente los recursos genéticos silvestres pero que fueron aplicados más extensamente a otros recursos genéticos silvestres, especialmente a los parientes silvestres de plantas cultivadas.

9.4.5 Conservación *ex situ*

La conservación de los recursos genéticos como peces vivos se denomina conservación *in vivo*. Toda la conservación *in situ* de los recursos genéticos silvestres es *in vivo*, como las poblaciones de peces de diversos tamaños. La conservación *ex situ* de los recursos genéticos silvestres puede ser tanto *in vivo* como individuos o poblaciones mantenidos en establecimientos de investigación y acuarios o *in vitro* como esperma crioconservadas y raramente como embriones y como tejidos que contienen ADN. La conservación *in situ/ex situ* de los recursos genéticos silvestres como esperma crioconservado es quizás la tecnología más importante que se tiene disponible (Capítulo 10). La ausencia de tecnología semejante para la crioconservación de los huevos y embriones de todos los peces de aleta de criadero y la mayoría de los invertebrados acuáticos de criadero significa que los espermias crioconservados pueden solamente ser utilizados para fertilizar huevos de hembras vivas. Sin embargo, la crioconservación de los espermias es aún un medio muy importante para conservar los recursos genéticos silvestres, especialmente los recursos genéticos silvestres amenazados y para proporcionar de recursos genéticos silvestres a los programas de cría y otros estudios relacionados.

La conservación *ex situ/in situ* de los recursos genéticos silvestres, en la recopilación de estudios y acuarios, enfrenta las mismas restricciones que todas las crías cautivas para fines de conservación en los zoológicos y otros establecimientos: sobre todo, dado que las poblaciones alimentadas en cautiverio se vuelven genéticamente diferentes de sus parientes silvestres, que las instalaciones existentes a menudo limitan el tamaño

¹¹⁹ www.biodiv.org

de la población efectiva (N_e) y que la seguridad de fondos es limitado. Las sociedades públicas y privadas pueden ayudar a movilizar más recursos para la conservación *ex situ* de los recursos genéticos silvestres, compartir los costos y los beneficios, aunque el financiamiento público sea el principal proveedor. Las colecciones *ex situ/in situ* de los recursos genéticos silvestres son guardados para fines de investigación por varias organizaciones públicas, especialmente universidades, como también por el sector privado de la acuicultura. Los acuarios públicos y privados son también bancos de genes de peces vivos y algunos de esos peces puede ser un recurso genético para la acuicultura. Las colecciones *ex situ/in situ* de los recursos genéticos silvestres deberían ser gerenciados de tal manera que se los mantenga tan genéticamente próximo a su tipo silvestre como sea posible, minimizando, así, la pérdida de variación genética (Capítulos 3, 4 y 10).

La conservación *ex situ* de los recursos genéticos silvestres debería ser considerada primeramente como complementario a la conservación *in situ*, con especial énfasis en el último. Sin embargo, donde no queda ninguna o muy poca población silvestre inalterable y accesible de un recurso genético importante, la conservación *ex situ* se convierte en el método único o principal para asegurar su disponibilidad y su conservación a largo plazo. Como se recomendó más arriba, para la conservación *in situ*, todos los esfuerzos para conservar los recursos genéticos silvestres *ex situ* amenazados e importantes son valiosos y contribuyen a la conservación total de la diversidad genética de una especie determinada. Como en la conservación de animales poco comunes en los zoológicos y fondos de cría poco comunes, esto se aplica hasta cuando el material genético crioconservado representa sólo a unos pocos individuos o poblaciones y donde las poblaciones *in vivo* cuentan con N_e bajo.

En donde se lleven a cabo actividades acuícolas y conservación de recursos genéticos silvestres para la acuicultura, debería existir previsiones concurrentes para toda la conservación necesaria actual o pronosticada *in situ* y *ex situ* de los recursos genéticos silvestres. Se recomienda aquí, una vez más, un enfoque coordinado, con un apropiado desarrollo institucional y fomento de la capacidad para los métodos de conservación de recursos genéticos *in situ* y *ex situ*.

9.5 Información

Una información precisa y actual es de suma importancia para la gestión efectiva de los recursos genéticos silvestres. Para la zonificación de la acuicultura y áreas de conservación de recursos genéticos *in situ* efectiva, los recursos genéticos deben ser totalmente documentados incluyendo, en lo posible, la caracterización genética. Sólo con dicha información pueden ser priorizados para la conservación. A partir de entonces, la información debe ser recolectada para supervisar el estado de las poblaciones *in situ* y en donde sea posible, esfuerzos suplementarios en la conservación *ex situ*. Esta información debe ser compartida y diseminada en varios formatos como base de datos genéticos, publicaciones científicas y fuentes de accesos en línea. FishBase¹²⁰ es un buen ejemplo de sistema de información que puede ser utilizado para la grabación y diseminación de tal información, en lo referente a los recursos genéticos silvestres y de sus enlaces a otras bases de datos importantes. El Programa de Identificación de Especies de la FAO¹²¹ y las Hojas Informativas de Acuicultura¹²² contienen descripciones taxonómicas, basadas en la morfología, con datos genéticos limitados. Sin embargo, es muy probable que los sistemas de información para los recursos genéticos, incluidos los silvestres cambien al ir expandiéndose el alcance y la demanda para esta información. Orientaciones sobre los progresos de las fuentes de información de los recursos genéticos pueden encontrarse en la Comisión de Recursos genéticos para la Alimentación y la Agricultura de la FAO. Además, con el aumento de la aplicación de la conservación genética a una amplia gama de taxones, la información sobre los recursos genéticos silvestres está cada vez más disponible en organizaciones de conservación de la naturaleza nacionales, regionales e internacionales.

Los inventarios locales y nacionales, es decir, los listados computarizados y base de datos, de los recursos genéticos silvestres deberían ser establecidos desde una perspectiva global, para abarcar a todas las poblaciones de peces de vida libre, silvestres y otros —y sus gametos, ADN, genes e individuos accesibles. Este enfoque reconoce que la vida salvaje es un atributo relativo. Los inventarios deberían incluir a cada población y a otras formas de recursos genéticos silvestres: identificación exacta

¹²⁰ www.fishbase.org

¹²¹ <http://www.fao.org/fi/website/FIRRetrieveAction.do?dom=org&xml=sidp.xml>

¹²² <http://www.fao.org/fi/website/FISearch.do?dom=culturespecies>

y fidedigna específica (y según el caso intraespecífica) y nomenclatura científica, referencias a las fuentes de conocimientos y nomenclaturas locales y autóctonas, características particulares, datos de caracterización genética, estado de conservación, historial de uso en acuicultura y los peligros principales.

Específico del sitio, el manejo de los recursos genéticos silvestres *in situ* requiere fuentes más amplias de información e instrumentos de planeamiento porque comprende al manejo de los recursos genéticos en sí y el manejo de sus hábitats. La información debe, por lo tanto, originarse en todos los sectores donde pudieran tener impactos negativos sobre los hábitats, incluyendo todos los cambios posibles de las cuencas hidrográficas circundantes o zona costera y especialmente cualquier cambio previsible en la calidad y cantidad del agua. Algunos de los métodos a ser aplicados aquí, como los Sistemas de Información Geográfica están bien arraigados, aunque su aplicación en la conservación genética es relativamente nueva. El manejo de los hábitats naturales especialmente para la conservación de los recursos genéticos es también relativamente nuevo y la información publicada sobre las experiencias y sugerencias son limitadas. La práctica médica se enfrenta a una situación similar en su esfuerzo de sintetizar y diseminar información reciente con el fin de maximizar acciones efectivas, y se ha sugerido que la conservación podría aprender de algunos de sus métodos de procesamiento informativo¹²³.

Las fuentes de información de los diferentes tipos de hábitats de peces son generalmente menos desarrolladas que aquellas para la biología de los peces y en cada situación individual de un hábitat y sus recurso genético silvestre tendrá algunos caracteres únicos. La necesidad de comprender la ecología del hábitat de los peces es un requisito clave para la conservación¹²⁴ y se busca, cada vez más, consejos de ecologistas acuáticos que puedan ser aplicados a la gestión de los recursos genéticos silvestres *in situ*. Un buen ejemplo es la lista de sitios analizada por Ecopath que sirve como información para el manejo de ecosistemas¹²⁵.

¹²³ Fazey, J., Salisbury, J.G., LindenMayer, D.B., Maindonald, J. y R. Douglas, 2004. Can methods applied in medicine be used to summarize and disseminate conservation research? *Environmental Conservation*, 31 (3): 190-198.

¹²⁴ Rice, J.C. 2005. Understanding fish habitat ecology to achieve conservation. *Journal of Fish Biology*, 67 (Supplement B): 1-22.

¹²⁵ www.ecopath.org

Consejos expertos sobre la información para el manejo de los hábitats en la conservación de los recursos genéticos silvestres debe pedirse a los ecologistas acuáticos profesionales y geógrafos. Cuando no se puede obtener este consejo fácilmente, se puede buscar en la UICN.

9.6 Conservación acuícola de peces en peligro de extinción

El término «en peligro de extinción» se utiliza aquí en el sentido amplio de la palabra, abarcando a las especies enumeradas en la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas¹²⁶, todas las especies clasificadas en la Lista Roja de la UICN de especies amenazadas (donde se definen tres subcategorías —vulnerables, amenazadas y seriamente amenazadas)¹²⁷, y todas las especies y otros taxones calificados como amenazados por la legislación nacional. Los listados internacionales son importantes, sin embargo, las listas de especies en peligro deberían elaborarse también a un nivel nacional o local, de aquellas especies importantes localmente y que puedan estar amenazadas. Los formuladores de decisiones sobre la acuicultura podrían solicitar dichos listados de las pesquerías nacionales o los oficiales ambientales. Las principales estrategias para la conservación de todas las especies en peligro son para proteger y rehabilitar sus hábitats naturales de la degradación y para proteger sus poblaciones de los impactos negativos.

Las crías cautivas también pueden ser utilizadas para aumentar las poblaciones silvestres restantes y, donde ha habido extinciones locales, para su reintroducción.¹²⁸ Cuando es aplicado a los peces en peligro, puede ser calificado como acuicultura de conservación, pero sus intervenciones deben ser integradas en una estrategia de manejo total de recursos abarcando en otros, las áreas de conservación, el manejo de pesquerías y el acceso a los recursos naturales. La cría cautiva y la producción de semillas en criaderos han sido utilizados para asistir a la conservación y utilización de una amplia gama de peces en peligro, incluyendo el bagre gigante del Mekong, mahseers, almejas gigantes, especies ornamentales tales como la

¹²⁶ www.cites.org

¹²⁷ UICN. 1994. UICN Categorías de la Lista Roja. UICN, Gland, Suiza. 21p.

¹²⁸ UICN. 1998. UICN Guidelines for Re-introductions. UICN, Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido. 10p.

arowana, pez espátula y esturiones y varias especies, subespecies y una serie de salmones y truchas.

Varios acuarios públicos cuentan con peces en peligro entre sus colecciones, pero los esfuerzos de reproducción cautiva en los zoológicos para asistir a la conservación de los animales amenazados, particularmente pájaros y mamíferos, no se igualan a los esfuerzos realizados para los peces. Se han publicado directrices para la cría en cautiverio como una ayuda para la conservación de especies de peces en peligro.¹²⁹ Como con todas las crías *ex situ* de peces silvestres, el principio primordial para la cría en cautiverio para asistir en la conservación de peces en peligro es el de mantener la reserva de genitores y su descendencia lo más cercana posible genéticamente a las poblaciones de tipo silvestre que están siendo incrementadas o reestablecidas (Capítulo 3). Sin embargo, para los peces en peligro que están cerca de la extinción, la situación puede ser tan seria que cualquier cría cautiva, por más que comprometa estas metas genéticas y dependientes de N_c muy bajo, es mejor que ninguna.

9.7 Resumen

Los recursos genéticos de peces silvestres representan gran parte de la diversidad genética disponible para posteriores domesticaciones y mejoramiento genético de peces en criaderos.

Varios recursos genéticos silvestres están siendo amenazados con el cambio genético o la extinción. Estos parientes silvestres de especies cultivadas y potencialmente cultivables deben ser valorizados y protegidos con el fin de asegurar su disponibilidad futura para su uso en acuicultura.

Con un adecuado reconocimiento del valor de los recursos genéticos silvestres y la participación en los costos y beneficios de su conservación, aún hay tiempo y oportunidad para la acuicultura de evitar pérdidas de los recursos genéticos silvestres como experimentadas en el ganado y sectores de cultivo.

¹²⁹ Huntley, R.V.; Langton, R.W. 1994. Captive Breeding Guidelines. Aquatic Conservation Network, Inc., Ottawa, Ontario, Canadá. 62p.

La conservación *in situ* de los recursos genéticos silvestres debería ser reconocida como parte del sector de conservación de la naturaleza, y se debería continuar a través de la cooperación y acciones intersectoriales.

La conservación *ex situ* de los recursos genéticos silvestres es una opción importante para complementar los esfuerzos *in situ* para la acuicultura y la cría cautiva puede asistir a la conservación de algunos peces en peligro.

Para todos los aspectos de la gestión de recursos genéticos silvestres, una información precisa y actualizada es de importancia primordial.

Asimismo, se debería dar importancia a la asignación de fondos y la participación de los recursos naturales de otros sectores.

10 RESERVA DE LOS RECURSOS ACUÁTICOS GENÉTICOS¹³⁰

10.1 Introducción

Un banco de genes es una colección administrada de recursos genéticos. Los bancos de genes son necesarios siempre que los recursos genéticos fundamentales para el cultivo y la cosecha de animales y plantas están siendo amenazados. Mientras que las técnicas genéticas modernas hagan posible la reserva de cualquier tejido de planta o animal que contenga ADN, la mayoría de los bancos genes son colecciones de sus organismos enteros, sus células reproductivas o las etapas iniciales de vida. Un buen indicio que una colección es en realidad un banco es cuando uno puede efectuar un retiro. Las tecnologías utilizadas para el la reserva de un gen acuático son tan aplicables a la industria (colección de reserva de genitores, perspectivas de un nuevo material genético) como lo son para la conservación tradicional.

10.2 Bancos de genes *in situ* y *ex situ*

Un banco de gen puede ser *in situ* o *ex situ*, una distinción basada en gran parte en su ubicación física. Los bancos *ex situ*, que pueden ser colecciones de ADN, genes, células individuales, semillas u organismos enteros, se encuentran remotos de los organismos naturales o del hábitat cultivado, ellos son la clase más común de banco de genes y los más comunes entre el público. Los bancos *in situ* son poblaciones de organismos protegidos junto con su hábitat cultivado o natural, son menos comunes que los bancos *ex situ*, pero pueden ser más aceptables para las agencias y el público (ver Capítulo 12). Mientras que el Convenio sobre la Diversidad (CDB) considera los bancos *ex situ* como «complementarios» a los *in situ*, ambos se tratan explícitamente en los Artículos 7.2.2 y 9.3.1 (bancos *in situ* y *ex situ*) y 9.3.5 (bancos *ex situ*) en el Código de Conducta para la Pesca Responsable. Ambos son igual de importantes para los recursos genéticos acuáticos.

Los bancos de genes para los organismos acuáticos son más recientes que los bancos de semillas y los centros de inseminación de ganados, más conocidos entre el público. La mayor diferencia es que, a diferencia

¹³⁰ Contribución de Brian Harvey.

de las plantas y animales domesticados, los organismos acuáticos son todavía capturados de los ecosistemas silvestres o de las poblaciones de criaderos, por lo que su preservación en bancos de genes debería abarcar la preservación de los hábitats naturales (los sistemas de acuicultura aún no están siendo amenazados). La pérdida del hábitat significa que la opción de un banco de gen *in situ* de especies silvestres ya no existen para varias plantas y animales silvestres, pero continúa muy disponible para los peces de aletas, crustáceos y plantas acuáticas. Por lo tanto, los administradores de los bancos de genes acuáticos deben estar seguros acerca de las numerosas opciones para la conservación de los recursos genéticos de las especies acuáticas en cautiverio, para lo cual un banco *in situ* puede incluir no sólo una colección viva «en granja» de una especie en particular, sino también una parte del hábitat de sus parientes silvestres (Capítulo 9). En este capítulo, sólo se considera la primera opción *in situ*, sobre todo la conservación en granjas.

10.3 Historia

Los primeros bancos de genes de organismos acuáticos fueron colecciones pequeñas de espermas crioconservados reunidos por investigadores interesados en las poblaciones silvestres de peces de aleta. Su utilidad más obvia, sin embargo, fue el de salvaguardar los resultados de los programas de cría de la acuicultura. Varias de las colecciones que le siguieron duraron muy poco debido a un pobre planeamiento de inversión, escasa tecnología y falta de participación de los gobiernos. También surgió un número de «banco de genes vivos» (la mayoría peces de aleta) en forma de colecciones de reserva de genitores cautivos en criaderos estatales o privados.

Hoy en día, las colecciones administradas *ex situ* de germoplasma de animales acuáticos y organismos enteros son preservadas por gobiernos nacionales, estatales y nativos, compañías privadas, académicos y ONG. Algunos son partes de un esfuerzo coordinado nacional de conservación de germoplasma acuático. Mientras que estos bancos *ex situ* están bien difundidos, su terminología y tecnologías necesitan ser estandarizadas y las líneas de comunicación establecidas. Las sociedades entre grupos fortalecerán enormemente cualquier programa y debería ser incentivado.

10.4 Orientaciones sobre los bancos de gametos y embriones congelados

Un banco de genes representa un largo compromiso con el mantenimiento de la infraestructura. Aunque es relativamente fácil el establecimiento de un banco de gene, es muy difícil de mantener por más de una década, lo cual es su periodo de tiempo natural. Pueden ser utilizados exitosamente en pequeña escala (por ejemplo, en una sola granja) pero el modelo ganadero, que utiliza un depósito central (y financiado centralmente) y centros de registro es probablemente la mejor apuesta a largo plazo. Este modelo de uso múltiple es el que se contempla en la discusión siguiente.

El esperma de varias especies de peces de aleta de agua dulce ha sido crioconservado exitosamente (congelados indefinidamente en líquidos nitrógenos). El pez espermatozoide presenta menos problemas técnicos serios, aunque se han obstaculizado algunos progresos por la baja calidad literaria científica sobre el tema, lo que refleja varios intentos empíricos discutibles por la teoría criobiológica. Los investigadores y aquellos que establecen los bancos de genes deberían consultar más a fondo los estudios recientes¹³¹ sobre las directrices técnicas y se les alienta a difundir sus experiencias ampliamente, incluyendo entre la literatura comentada por sus pares.

Generalmente, el esperma de los peces está congelado y guardado en pajillas de plástico. La congelación en sí puede realizarse en el campo utilizando equipos portátiles de bajo costo. Aún no se puede congelar los huevos de los peces de aleta. Sin embargo, el esperma y el óvulo de algunos crustáceos han sido congelados exitosamente y la larva de los bivalvos (ostras, almejas, peines, mejillones) son aptos para la crioconservación; actualmente varios programas nacionales de investigación tienen como objetivo el la reserva de genes de bivalvos. Actualmente, los bancos de genes deberían fijarse como meta el espermatozoide de peces u óvulos de bivalvos y larva.

Los espermias crioconservados, los óvulos y la larva se guardan en líquido de nitrógeno. Los centros de cría de ganado deberían contar

¹³¹ Un ejemplo reciente está en Tiersch, T. y Mazik, P. (eds). 2000. Cryopreservation in aquatic species. World Aquaculture Society, Baton Rouge. 439 pp.

con depósitos seguros aptos para contratar espacio y personal. La duplicación en otro sitio es un resguardo extra, pero esto sólo es práctico en colecciones pequeñas. Si las especies a ser conservadas no han sido aún crioconservadas, el gasto principal en este tipo de banco *ex situ* será para el desarrollo o adquisición de tecnología; las fuentes abarcan investigadores académicos y gubernamentales, aunque algunas granjas privadas de peces han invertido también en el mejoramiento de las técnicas existentes.

10.5 Orientaciones sobre los bancos de genes vivos (colección de reserva de genitores)

Las colecciones aisladas de líneas de reproductores «puros» de peces vivos han formado parte de programas de cría a gran escala que producen peces para la venta a otras granjas, para la conservación y para su liberación en el hábitat silvestre. Los principales requisitos para este u otro tipo de banco de genes vivo son que las reservas conservadas permanezcan seguras y se mantenga su diversidad genética. Sin embargo, ellos deben reproducirse, lo que impone fuerzas selectivas y esto, inevitablemente, los hace alejar de su estado silvestre original (ver Capítulos 3 y 9). La cría en cautiverio de las poblaciones de peces amenazados se ha vuelto parte integrante del área de la reserva de genes. Las colecciones de reservas de genitores pueden también ser mantenidas en los laboratorios de investigación académica y acuarios públicos.

10.6 Gestión de datos

Mientras que se ha invertido mucho esfuerzo en desarrollar un software para la adquisición de bancos de genes de plantas y ganado y los acuerdos existentes sobre la reserva de genes han estimulado un cierto grado de estandarización, la mayoría de los bancos de genes de peces dependen aún de sistemas rudimentarios internos de mantenimiento de registros basados en el software de hoja de cálculo, ampliamente disponibles. Todos estos sistemas caseros han fallado al no poder ofrecer un buen registro del retiro, intercambios y sustituciones; y al no poder explicar los datos que mantienen los bancos de genes de plantas y ganado. Mientras que los requisitos para la reserva de genes de peces depende de la ubicación y del tipo de banco, los datos generalmente incluirán la procedencia (qué fue recolectado, dónde, por quien y bajo qué arreglo legal); identificación (especies y cuando sea posible la genética de la

población) y uso posterior (remoción y redepósito de las muestras, por quien y con qué propósito).¹³²

10.7 Implicaciones de las políticas

Al contar con contenedores apropiados, los recursos genéticos crioconservados son mucho más fáciles para transportar, a cualquier distancia, que los vivos. Y los que lo efectúan deben estar al tanto de la legislación nacional e internacional sobre las introducciones, transferencias y control de enfermedades.

Pocos gobiernos, hasta aquellos que son partes del CDB, cuentan con políticas sobre la reserva de genes acuáticos y aún el CDB elogia esos principios que demandan dichas políticas — especialmente, el acceso a los recursos genéticos y la participación es los beneficios derivan de ellos. Estos principios afecta a cada grupo interesado en la reserva de genes: comunidades, industria acuícola, grupos nativos, ONG y pesquerías y ministerios del medioambiente. El acceso a los recursos genéticos, especialmente aquellos extraídos de sus hábitats naturales y almacenados para su uso posterior, pueden, rápidamente, volverse un obstáculo político o legal. Por lo tanto, cada grupo debe comprender las políticas de los otros grupos en cuestión antes de emprender un programa de reserva de genes, debe lograr acuerdos previos sobre el acceso, almacenamiento y uso de esos recursos. Hasta ahora no existen formatos no estándares o principios generales para tales acuerdos que sean específicos a los recursos genéticos acuáticos.

La gestión de recursos y agencias de desarrollo, especialmente agencias internacionales, deberían trabajar hacia la estandarización de terminologías, políticas, tecnologías y mantenimiento de registros; es posible que sea necesario desarrollar políticas adicionales a medida que progresa la caracterización de recursos genéticos.

¹³² SpermSaver — Gene Bank Management Software. 2005. World Fisheries Trust, Victoria BC, Canadá. Esta es la versión beta del software del banking de genes de peces que trata todas estas áreas disponibles del World Fisheries Trust (www.worldfish.org).

10.8 Establecimiento de bancos de genes acuáticos

Cualquier grupo que desee establecer un banco de genes acuático *ex situ*, debería seguir los siguientes pasos:

- encontrar una institución a largo plazo para el programa (por ej. una pesquería o agencia agrícola) y un espacio físico a largo plazo para asegurar el almacenamiento (por ej. una estación privada o estatal de inseminación ganadera);
- asegurar financiamiento a corto plazo (es decir, agencias de subsidio) para la investigación y el financiamiento a largo plazo (fundamentalmente de gobiernos) para el almacenamiento seguro;
- adquirir la tecnología proveniente de la investigación interna o académica a través del financiamiento mencionado más arriba;
- capacitar regularmente al personal del campo en materia de tecnología, manejo de datos, permisos y legislación;
- estudiar e incorporar en el plan de gestión de banco de genes toda la legislación y regulaciones medioambientales y de pesquería, incluyendo aquellas sobre el control de enfermedades, transferencia de animales vivos y sus gametos y especies en peligro de extinción;
- desarrollar políticas sobre adquisición y liberación de material y en particular, sobre el acceso a los recursos genéticos y la participación de los beneficios que sobreviene de su uso;
- realizar las conexiones para los proveedores de los datos asociados sobre la adquisición (por ejemplo, el análisis moderno de ADN permite la caracterización de la estructura genética; un sistema de reserva de genes acuáticos estandarizado incorporaría los resultados de dichos análisis);
- desarrollar una declaración de misión y emplear a un especialista en comunicación con el fin de promover los objetivos, términos de uso y políticas de los bancos de genes con todos los socios.

11 UN ENFOQUE PRECAUTORIO¹³³

Para asegurar que el desarrollo de la acuicultura proceda de una manera responsable, la comunidad internacional a través, por ejemplo, del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) y el Código de Conducta para la Pesca Responsable de la FAO, varios gobiernos nacionales y ONG, entre otros, están haciendo un llamado para la adopción de un enfoque precautorio.

Todo desarrollo tiene sus efectos. La sociedad desea beneficiarse del desarrollo de nueva tecnología y de especies mejoradas genéticamente para el cultivo, al mismo tiempo que espera que los gobiernos las proteja de los efectos dañinos de ese desarrollo. Equilibrando los progresos de desarrollo y los impactos adversos de esos progresos es la esencia de un enfoque precautorio del uso de especies alteradas genéticamente (Capítulo 2) en la acuicultura.

Existe todavía un alto nivel de incertidumbre y debate sobre la probabilidad y la magnitud de los diversos impactos negativos de las especies alteradas genéticamente sobre el medioambiente y sobre la biodiversidad acuática. La comprensión actual de varias especies, ecosistemas acuáticos y las fuerzas que la estructura con frecuencia no es adecuada para predecir con precisión cómo una comunidad biológica o ecosistema responderá a la introducción de las especies alteradas genéticamente.

11.1 Un enfoque

El enfoque precautorio respaldado por la FAO y el CDB plantea que donde hayan amenazas serias o daños irreparables, la falta de certeza científica no debería tomarse como una razón para posponer las medidas eficaces para prevenir la degradación ambiental. Los elementos del enfoque precautorio desarrollado para capturar pesquerías e introducir especies¹³⁴ son como sigue:

¹³³ Contribución de Devin M. Bartley.

¹³⁴ FAO. 1997. Enfoque precautorio para la pesca de captura y las introducciones de especies. FAO Orientaciones Técnicas para la Pesca Responsable. No. 2. Roma, FAO. 64p.

- Los puntos de referencia se deberían establecer para ayudar a determinar las situaciones deseables y los impactos indeseables, es decir, fijar y limitar los puntos de referencia. Por ejemplo, el rendimiento máximo sostenible puede ser considerado un objetivo del punto de referencia, mientras que en el caso de un cierto número de peces cultivados que escaparon al hábitat natural podría ser un límite del punto de referencia. Algunos puntos de referencia potenciales están enumerados en el Cuadro 11.1. Los gerentes de recursos deben desarrollar valores cuantitativos para los puntos de referencia enumerados en el Cuadro 11.1.
- Los resultados indeseados, como las medidas correctivas o preventivas, deberían ser identificados, incluyendo la prohibición o cesación impuesta de actividades que conllevan riesgos inaceptables o que ya han tenido impactos adversos inaceptables. Las acciones precordadas o planes de contingencia deberían ser implementados oportunamente cuando se acercan al límite de los puntos de referencia o cuando los impactos adversos son aparentes. De este modo, serán necesarios la vigilancia de las instalaciones acuícolas, las especies locales y el medioambiente para saber cuando los puntos de referencia sean alcanzados. Dichas acciones podrían incluir la cría de peces estériles si la cría con las especies locales es un problema o si se efectúa un cambio en la contención o ubicación de las instalaciones. En cambio, si se utilizan buenas prácticas de cultivo y no se registran impactos adversos, se podría planear el desarrollo adicional siguiendo el mismo enfoque.
- Se debería dar prioridad al mantenimiento de la capacidad productiva del recurso donde existe una incertidumbre sobre el impacto de desarrollo. En las pesquerías de captura, esto significa que la prioridad se da a la conservación de las poblaciones por encima de la cosecha de las poblaciones cuando existe una incertidumbre. Esto se puede extender a la acuicultura en donde la productividad de las poblaciones locales debería ser mantenida cuando existe incertidumbre sobre el riesgo de las especies alteradas genéticamente afectándoles adversamente. Esto puede requerir la ubicación de

Cuadro 11.1 Puntos de referencia posibles para la aplicación de un enfoque precautorio a la gestión de recursos genéticos en acuicultura. O y L son el Objetivo y el Límite de los puntos de referencia, respectivamente

Propósito del establecimiento de puntos de referencia	Qué medir para el punto de referencia
<i>Genética</i>	
Coefficiente de endogamia (F) (Capítulo 3)	– Coeficiente de endogamia (F) (Capítulo 3).
Para establecer un nivel aceptable de flujo de genes/introgresión entre las poblaciones cultivadas y las silvestres (L)	– Número de peces silvestres y cultivados que intercambian genes. – Cambio en la frecuencia del gen en las poblaciones silvestres.
Para establecer un número aceptable de peces que será utilizado como reserva de genitores (T)	– Tamaño efectivo de las poblaciones (N_e) (Capítulo 3) de la reserva de genitores.
Para asegurar productos acuícolas estériles	– Número de peces triploides en los productos de criaderos.
Para conservar genes raros en el cultivo (O)	– Tamaño efectivo de la población (N_e) (Capítulo 3). – Frecuencia de genes en las poblaciones de criadero.
<i>Abundancia de la población nativa</i>	
Para evaluar el impacto de los escapes	– Número de peces escapados de la acuicultura. – Porcentaje de la disminución de peces nativos.
Para establecer el nivel de peligrosidad (L)	– Reducción del tamaño de la población después de un cierto período de tiempo (por ej. 10 años o 3 generaciones).
Para establecer impactos aceptables de pesquerías (O y L)	– Mortalidad de la pesca. – Rendimiento máximo sostenible.
Para establecer el riesgo de extinción (L)	– Tamaño efectivo de la población. – Probabilidad de extinción dentro de un tiempo determinado (por ej. 5 años). – Disminución del tamaño de la población (por ej. orden de la magnitud de la disminución luego de un cierto tiempo).
<i>Patógenos</i>	
Para prevenir la propagación de la enfermedad (L)	– Niveles de específicos patógenos en las poblaciones en criadero y silvestres (a menudo se fija 0 como objetivo y límite de un punto de referencia para los patógenos).

las granjas piscícolas en áreas alejados de los recursos locales valiosos (Capítulo 9).

- Los impactos de desarrollo deberían ser reversibles dentro de un límite de tiempo de 2-3 décadas. Este elemento lo vuelve como no-precautorio al uso de especies alteradas genéticamente reproductivamente viable en varias situaciones, no obstante un enfoque precautorio le puede seguir. Las especies introducidas para la acuicultura se han naturalizado y han establecido poblaciones autosostenibles en varias instancias, la erradicación de dichas poblaciones (es decir, la alteración del impacto) es difícil o imposible, especialmente en las áreas marinas, en las grandes masas de agua continentales y humedales y en los sistemas de ríos extensivos.
- La carga de la prueba debería tener lugar según los requisitos anteriores y el estándar de prueba debe ser proporcional a los riesgos y beneficios (es decir, un estándar más alto de prueba sería requerido cuando los riesgos relacionados a los beneficios son elevados). El enfoque precautorio indica que la carga de la prueba recae sobre los que proponen el uso o desarrollo de un recurso (es decir, la instalación acuícola debe probar que una especie alterada genéticamente no tendrá impactos adversos). Este es el enfoque «culpable hasta que demuestre lo contrario». La aplicación de esto, en situaciones reales, es muy complicada. Todos los casos que se permiten o prohíben actividades acuícolas deberían estar basado, lo máximo posible, en información científica y opiniones.

11.2 Conclusiones

Un enfoque precautorio admite incertidumbres y establece mecanismos para tratar los problemas potenciales. Dichos mecanismos pueden abarcar entre otros, políticas, programas de gestión, manejo de riesgos, sistemas de vigilancia y cambios en la gestión o desarrollo basado en la experiencia. De este modo, este enfoque tiene mucho en común con la ordenación adaptativa. El requisito para llevar a cabo la evaluación del impacto ambiental o para seguir los códigos de práctica, como los desarrollados por la Unión Europea¹³⁵, el Consejo Internacional para

¹³⁵ Directiva UE 90/220, sobre la liberación intencional en el medioambiente de organismos modificados genéticamente.

la Exploración del Mar y la Comisión Asesora Europea sobre Pesca Continental (CIEM/CAEPC) (Capítulo 5) son excelentes mecanismos que asisten para determinar si debería utilizarse las especies alteradas genéticamente.

El enfoque precautorio es una acción ante la incertidumbre anterior y durante el desarrollo. El enfoque no busca la disminución de la investigación ni de los esfuerzos para reducir la incertidumbre. Se deben tomar medidas en base a la mejor información científica disponible y mejorar la información científica disponible.

La aplicación de un enfoque precautorio debería medir los beneficios y los riesgos (Capítulo 7). De este modo, en aquellas áreas con necesidades de aumentar las proteínas y las oportunidades económicas, la acuicultura y el uso de las especies alteradas genéticamente pueden proveer beneficios que otros tipos de agricultura o desarrollo no pueden proveer. Así, se podría justificar niveles más altos de riesgos cuando se espera que los beneficios recibidos en un área necesitada sean substanciales. Sin embargo, las necesidades de futuras generaciones se deberían también tomar en cuenta, especialmente si las intervenciones de corto plazo presentan riesgos para mantener su amplitud de opciones para el uso y disponibilidad de los recursos genéticos silvestres y ecosistemas acuáticos.

Un enfoque precautorio a la utilización de especies alteradas genéticamente en acuicultura requiere la movilización de esfuerzos importantes con respecto a la gestión, vigilancia e investigación. Los puntos de referencia serán críticos y, por el momento, no se han acordado muy bien para niveles aceptables de diversidad genética o para los números de animales cultivados escapados, suficiente para causar impactos adversos. Los países deberían esforzarse en aplicar el enfoque y suministrar información a los formuladores de políticas nacionales y a la FAO para reducir la incertidumbre, para aprender de la experiencia y diseminar información a un público más amplio.

12 RELACIONES PÚBLICAS Y SENSIBILIZACIÓN DEL CONSUMIDOR¹³⁶

12.1 Introducción

La aceptación del consumidor de los organismos alterados genéticamente de la acuicultura es crítica para el éxito de los programas de cría. No sólo la gente decide si comprar o no productos de criaderos sino que también pueden ejercer presión sobre los formuladores de política e influenciar en la legislación que regula la importación y uso de organismos alterados genéticamente.

La sensibilización de la opinión pública no se considera en el Código de Conducta original, excepto de manera general. El Artículo 6.16 sobre los principios generales recomienda que «*Los Estados... deberían fomentar por medio de la enseñanza y la capacitación la toma de conciencia de éstos acerca de la pesca responsable*» (incluyendo la acuicultura). Aun así la aceptación del público de los productos alterados genéticamente es de suma importancia en la acuicultura, su papel en los medios de subsistencia y su impacto potencial sobre el medioambiente. El Convenio sobre la Diversidad Biológica y la Agenda 21 señalan que la sensibilización de la opinión pública es crucial para el desarrollo sostenible y la participación efectiva del público en la toma de decisiones¹³⁷.

Este capítulo previene a los formuladores de decisiones sobre algunos asuntos relacionados con las relaciones públicas. Los problemas surgen cuando se carece de información o de diferentes puntos de vista. Ambos tipos de problemas pueden ser prevenidos si los usuarios y los gerentes de tecnologías genéticas establecieran líneas de comunicación con las partes interesadas —y entre los mismos. Las metas de este capítulo son el de concientizar a los formuladores de política y defensores de la aplicación de tecnología genética sobre algunos asuntos no técnicos que pueden influir en el éxito de los programas de gestión de recursos genéticos y el de proponer los componentes de una comunicación general o estrategias

¹³⁶ Contribución de Devin M. Bartley.

¹³⁷ Raymond, R.D. 1999. Agricultural research and the art of public awareness. Páginas 217-224 en Pullin, R.S.V., D.M. Bartley y J. Kooiman (eds) Towards Policies for Conservation and Sustainable Use of Aquatic Genetic Resources. ICLARM Conf. Proc. 59. 277p.

de relaciones públicas con el fin de asistir en la diseminación de información exacta.

12.2 Estrategias de comunicación

Se necesita una estrategia de comunicación para ayudar a promover el uso responsable de tecnologías genéticas porque en casi todo el mundo, los consumidores y el público en general no comprenden cómo fue producido su alimento. Términos confusos, inconsistencia en la utilización de términos, afirmaciones exageradas de éxito o desastre, asuntos complicados, intentos intencionados de ocultar información o influir la opinión pública, aumentan la confusión y la desconfianza en las tecnologías genéticas. Esto es extremadamente lamentable porque el uso responsable de las tecnologías genéticas apropiadas puede beneficiar enormemente al consumidor y al medioambiente.

La estrategia de comunicación debería contar con objetivos definidos y una audiencia definida individualizada. Un enfoque exitoso de comunicación es el «enmarcar»¹³⁸ un campo temático. El enmarcado deliberado se concentra en ciertos aspectos de un tema (dentro del marco) mientras que omite otros aspectos (fuera del marco), con el fin de alcanzar el objetivo y obtener el apoyo de una audiencia (esto es, un consumidor o formulador de política). Por ejemplo, en una estrategia para promover la aceptación de peces mejorados genéticamente, el marco podría incluir el ahorro de los costos de cría o compra del pez que puede ser producido más eficientemente y no enfocarse en los detalles técnicos de cómo fue producido el pescado.

Una estrategia de comunicación puede «reenmarcar» un asunto cambiando el enfoque actual. Por ejemplo, algunos grupos han «enmarcado» a la acuicultura en la utilización excesiva de tierra o peces naturales en la producción de alimentos acuícolas. Al enfatizar la reducción de tierras y la necesidad de alimentos relacionados con la producción de peces mejorados genéticamente es posible «reenmarcar» la discusión en una manera más positiva (Cuadro 12.1).

¹³⁸ Annex 2: Sink or Swim: mobilizing key audiences through strategic communication. Suzanne Hawkes y Liz Scanlon. IMPACS, Septiembre 2006. (www.worldfish.org/images-pdfs/Projects/sinkorswim.pdf).

Cuadro 12.1 La «enmarcación» de la gestión genética en acuicultura ayuda a enfatizar los aspectos positivos con el fin de promover la aceptación de los programas de mejoramiento genético

«Marcos» actuales referentes a las tecnologías genéticas	Enfoque sugerido para un nuevo marco
Las tecnologías genéticas son costosas	Las tecnologías genéticas son rentables al producir un organismo que se cría bien y utiliza menos insumos. Las tecnologías genéticas pueden ser utilizadas para producir un color o una forma específica de pescado que a los consumidores no les importaría pagar un recargo.
Las tecnologías genéticas son complicadas	Las tecnologías genéticas se basan a menudo en las prácticas tradicionales de cría de animales. La biología reproductiva de peces facilita la aplicación de las tecnologías genéticas.
Las tecnologías genéticas son negativas para la biodiversidad nativa y el medioambiente	Las tecnologías genéticas en la acuicultura pueden reducir los impactos negativos sobre el medioambiente. Pueden ser utilizados para producir organismos que tengan una habilidad disminuida para interactuar con los silvestres; al crecer más eficientemente se arroja menos desechos al medioambiente; al contar con una mayor resistencia a las enfermedades habrá menos posibilidad de transmisión de enfermedades y menos uso de fármacos. Los gerentes de los recursos genéticos en la acuicultura deberían demostrar que ellos valoran altamente la diversidad genética silvestre —es la materia prima para todos los programas de mejoramiento genético.
Las tecnologías genéticas benefician a las grandes compañías	Los beneficios de los bajos costos de producción pasarán a los consumidores.
Las tecnologías genéticas elaboran productos que los consumidores le temen, por ej. son poco saludables, tienen mal sabor, son extraños	Las tecnologías genéticas pueden ser utilizadas para producir un pez sano que no tenga ningún ingrediente que no se encuentre en sus parientes silvestres.
Las tecnologías genéticas son dañinas para los organismos en criaderos	La domesticación mejorada y la eficiencia en la producción del cultivo de peces mejorados genéticamente, significará que el pez está menos estresado en el ambiente de cultivo, se alimenta mejor, tiene niveles de interacciones agresivas más bajos y serán menos susceptibles a las enfermedades.

Esto no quiere decir que los promotores de la gestión de recursos genéticos deban ocultar, retener o distorsionar la información. Deberían ser proactivos diseminando información positiva y exacta sobre las ventajas de la gestión de recursos genéticos.

Otros elementos que pueden ayudar a crear el «marco» se mencionan más abajo.

12.2.1 *Conoce a tu audiencia*

El conocer a la audiencia es la regla más básica de la sensibilización de la opinión pública. Lo «público» está compuesto por diversos y numeroso grupos de intereses diversos. Estos intereses diversos son lo que van a determinar sus necesidades informativas. Investigaciones sociológicas recientes han demostrado que la gente a menudo toma decisiones no sobre la base de la ciencia o la lógica sino sobre ideas preconcebidas profundamente arraigadas o sobre principios muy simples. Los consumidores quieren sentirse bien con lo que compran, ya sea porque es bueno para su salud, bueno para el medioambiente o tiene buen precio, los acuicultores quieren acceso a mercados lucrativos, los formuladores de política desean hacer lo mejor para la mayoría de sus constituyentes.

Los consumidores estarán más influenciados por los precios bajos de los peces mejorados genéticamente de alta calidad y que estén criados en forma más eficiente y con menos impactos ambientales. Los formuladores de política estarán influenciados por el aumento de consumidores y negocios que demanden estos caracteres. El crecimiento de los productos agrícolas «orgánicos» y pesquerías de captura ecocertificadas es un indicio que los consumidores quieren comprar un producto que tenga menos impactos medioambientales y sea más económico.

Porque los consumidores tienen sentimientos fuertes que son muy difíciles de influenciar y las leyes vigentes son difíciles de cambiar, se deben realizar encuestas con el fin de asegurar que cualquier tecnología genética utilizada en la producción es aceptada por los consumidores y no tendrán ninguna restricción asociada, ya sea legal o comercial. Por ejemplo, la hibridación entre especies diferentes está prohibida o requiere de permisos especiales en algunas áreas. Aunque hoy en día no existen organismos acuáticos modificados genéticamente (OMG) (es decir, transgénicos) disponibles a los consumidores, probablemente sean desarrollados y aprobados en el futuro. De esta manera, la aceptación de los consumidores y los socios comerciales de esta tecnología, debería ser examinada antes de su uso.

12.2.2 Establecer socios con el fin de promover los programas de gestión genética

Los defensores de las tecnologías genéticas en la acuicultura necesitan asociarse con varias partes interesadas para asegurar que se otorguen oportunidades a las tecnologías, que se utilicen responsablemente, y sean aceptadas por los consumidores y los formuladores de políticas (leer Capítulo 9 sobre los enfoques sectoriales). La acuicultura está siendo criticada por causar impactos negativos en el medioambiente debido al sobreuso de ciertos insumos y alta descarga de contaminantes. Los programas genéticos que reducen estos impactos por medio de una producción más eficiente, debería encontrar amplia aceptación en la industria acuícola y los sectores de conservación.

Las asociaciones estimularán la confianza hacia el producto y credibilidad en la información diseminada a través de los programas de mejoramiento genético. El «Consortio de Camarones» (*Shrimp Consortium*)¹³⁹ conformado por grupos internacionales de desarrollo y conservación e instituciones donantes sirve de ejemplo de cómo dichas asociaciones podrían trabajar en la promoción de los programas de mejoramiento genético.

Mientras que últimamente se ha dicho bastante sobre el papel de la acuicultura en «llenar el déficit de suministro» que surgió de la producción limitada de las pesquerías de captura, la acuicultura es solo una solución a este problema y los programas de mejoramiento genético podrían ayudar. Han surgido conflictos entre la acuicultura y las pesquerías de captura basadas en la competición y el acceso a los recursos y podría presentar una amenaza para ambos sectores. Se deberían realizar esfuerzos para conservar y proteger los recursos pesqueros silvestres (Capítulo 9) con el fin de promover las asociaciones y evitar los conflictos.

Se debería reconocer que existen áreas en donde no es apropiada la acuicultura, sin importar si se han utilizado tecnología genética o no. Es mejor no concentrarse en hacer frente a estas batallas que podrían distanciar a socios y resultar en operaciones acuícolas fallidas. La complementación de estrategias del Capítulo 9 y la designación de áreas

¹³⁹ <http://www.worldwildlife.org/ci/dialogues/shrimp.cfm>

en donde la acuicultura es limitada o excluida debería ser adoptada por el sector acuícola para que otras áreas más apropiadas para la acuicultura puedan ser desarrolladas totalmente, utilizando las mejores especies y variedades disponibles.

12.2.3 Aprender de otros sectores

Los sectores de cultivo terrestres son más avanzados que la acuicultura en el uso de las tecnologías genéticas y se pueden aprender buenas lecciones de ello. Algunas de estas lecciones son las siguientes:

En primer lugar, se debería enfatizar que los beneficios de los peces mejorados genéticamente se pasaran a los consumidores. El sector de la biotecnología vegetal está experimentando una fuerte resistencia del consumidor por el uso de organismos modificados genéticamente, mientras que el sector farmacéutico utiliza rutinariamente ingeniería genética moderna con escasa resistencia pública. Una explicación de esto es que el público percibe que los beneficios de la ingeniería genética vegetal benefician solamente a esta industria, mientras que la utilización de la biotecnología por las empresas farmacéuticas se percibe que beneficia a la gente enferma.

En segundo lugar, los asuntos éticos. Las preocupaciones de los consumidores se basan en el bienestar de los ganados producidos genéticamente y las condiciones generales de los animales de criadero. Han surgido preocupaciones similares, hasta un cierto punto, sobre los peces en criadero y los alterados genéticamente. Se deberían evitar las alteraciones genéticas que pueden causar deformaciones y se debería recalcar cómo los peces mejorados genéticamente podrían mejorar el bienestar en el cultivo debido al incremento de la domesticación. En el sector agrícola han surgido ciertos asuntos de seguridad alimentaria y la protección de la propiedad intelectual que pudiera privar a los granjeros de alimento adecuado. Las semillas para el cultivo que son esenciales para las comunidades rurales fueron esterilizadas genéticamente para que los granjeros no las pudieran replantar. Los defensores de los programas de mejoramiento genético deberían estar concientes de como las mejoras genéticas pueden afectar la seguridad alimentaria de las comunidades rurales.

Finalmente, todos los sectores están tratando la categorización como un tema controversial. La FAO y socios han elaborado directrices sobre la pesquería ecoetiquetada y se está desarrollando directrices de productos acuícolas; el *Marine Stewardship Council* y el *Forest Stewardship Council* han elaborado directrices para la industria privada. Estas directrices aún no tratan el criterio genético. Algunos foros intergubernamentales tienen etiquetas establecidas para ciertos productos terrestres de la biotecnología moderna (por ej. OMG) y algunos planes de etiquetas orgánicas no permiten ciertas tecnologías genéticas. En vista de la naturaleza sensible y complicada de este campo, las discusiones de cómo utilizar la información genética en estas directrices aún no esta lo suficientemente adelantadas como para ofrecer orientaciones. Se recomienda que los gerentes de los recursos genéticos y los partidarios de las tecnologías genéticas en la acuicultura prosigan este campo y se asocien como se ha recomendado con el fin de avanzar la información en el futuro.

12.2.4 Utilización de la terminología correcta consistente con la legislación nacional e internacional

El campo de la genética es complicado y a menudo controversial. La terminología precisa y el correcto uso de los términos y principios ayudará en la comunicación de una información útil y exacta y evitará los problemas asociados con malentendidos (Cuadro del Capítulo 2: «algunas terminologías»). Existen glosarios que ayudan a comprender mejor este complicado campo¹⁴⁰

12.3 Conclusión

Los beneficios de los programas de gestión genética son importantes pero, a menudo, son malentendidos por el público en general y los formuladores de política. Los comunicadores (ver nota al pie de página 138) afirman que las nuevas ideas son aceptadas, primeramente, por un pequeño grupo de «innovadores»; y luego, lentamente, por otros. Cuando el 15 por ciento de un grupo adopta una idea, puede ser propagada hacia los otros. Los promotores de tecnologías genéticas y programas de cría necesitan

¹⁴⁰ Glosario de la FAO sobre biotecnología (www.fao.org/biotech/index_glossary.asp); pesquerías (www.fao.org/fi/glossary/default.asp); y acuicultura (www.fao.org/fi/glossary/default.asp).

comunicar los aspectos positivos de estos programas a una amplia audiencia y buscar asociarse con otros usuarios de recursos acuáticos y sociedad civil con el fin de ayudar a alcanzar este nivel de 15 por ciento de aceptación. El uso responsable de las tecnologías genéticas puede ayudar a la acuicultura a producir más alimento en forma más eficiente y con menos efectos negativos sobre el medioambiente. Cuando una amplia audiencia se da cuenta de ello, podrá asistir a la acuicultura a integrarse a los planes multisectoriales de desarrollo de las comunidades locales. Estos hechos deberían formar parte de una estrategia de comunicación general que ayude a fomentar las relaciones públicas y la confianza del consumidor en los peces mejorados genéticamente.

ANEXO 1

DECLARACIÓN DE NAIROBI¹

CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD ACUÁTICA Y LA UTILIZACIÓN DE ESPECIES EXÓTICAS Y MEJORADAS GENÉTICAMENTE PARA LA ACUICULTURA EN ÁFRICA

ANTECEDENTES

Los peces son una fuente esencial de proteína animal para la gente de África y los recursos acuáticos juegan un papel central en el sostenimiento de la vida rural y urbana en casi toda la región, pero para el continente en su conjunto, el suministro de pescado per capita está disminuyendo y algunos pronósticos recientes de la oferta y la demanda indican que esta deficiencia aumentará en las próximas décadas. Para remediar esta deficiencia, las pesquerías de captura necesitan ser sostenibles y desarrollar el potencial de la acuicultura. Para lograr esto, se debe prestar atención a la protección de la rica biodiversidad acuática de África, especialmente, la rica diversidad de peces de agua dulce y a su papel en el sostenimiento de las pesquerías de captura y provisión de especies a la acuicultura.

Hoy en día, la producción de pescado de acuicultura en África es baja. Sin embargo, mientras la población aumenta, se proyecta que la demanda de pescado y el sector acuícola incrementarán. Para que esto suceda, se deben tomar en cuenta una gran gama de restricciones y considerar todas las prácticas de gestión. Se deberá mejorar la gestión de los estanques y la reserva de genitores, desarrollar una amplia gama de alimentos y mejorar el acceso al mercado.

Además, existe un considerable potencial para mejorar el rendimiento de las especies y variedades de peces utilizadas. En la actualidad, muchos de los peces utilizados en acuicultura en África derivan de poblaciones no domesticadas. Esto contrasta con el cultivo, el ganado y las aves de

¹ Gupta, M.V., Bartley, D.M., Acosta, B.O. (eds) 2004. Use of Genetically Improved and Alien Species for Aquaculture and Conservation of Aquatic Biodiversity in Africa. The WorldFish Conference Proceedings No. 68. La Declaración está disponible en www.cta.int/pubs/nairobi/declaration.pdf

corral, en donde se ha logrado un aumento en la producción a través de la aplicación de programas de cría y otros procedimientos de mejoramiento genético. Sin embargo, mientras que las variedades mejoradas y las especies introducidas tienen el potencial de incrementar la producción, existe un peligro claro de escapes en el medioambiente silvestre y posibles impactos negativos sobre la biodiversidad. Si se va a desarrollar el potencial total de la acuicultura sostenible en África, se deberían tratar estos puntos.

RECOMENDACIONES

1. Calidad de las semillas

Dado que la acuicultura de pequeña escala, con sistemas de bajo insumos o sistemas intensivos de gran escala, tiene el potencial de beneficiarse de la mejora genética, la calidad de la semilla debería estar disponible y ser utilizada en conjunción con una buena gestión de reserva de genitores y granjas piscícolas.

2. La genética y la gestión de reserva de genitores

Ya que los recursos genéticos en las poblaciones cultivadas pueden ser degradados como resultado de la cría en cautiverio, los aspectos genéticos de la gestión de reserva de genitores deberían ser un elemento básico dentro de la acuicultura y los programas de mejoramiento de la población.

3. Introducciones responsables

Las introducciones de peces, incluyendo las variedades mejoradas genéticamente y las especies exóticas, pueden tener un papel importante en el desarrollo de la acuicultura. Cualquier movimiento de peces entre los límites ecológicos naturales (por ej. cuenca hidrográfica) puede presentar un riesgo para la biodiversidad y necesita ser mejorado. También es necesario una amplia aplicación de protocolos, métodos de evaluación de riesgos y programas de supervisión para las introducciones de peces, incluyendo variedades mejoradas genéticamente y especies exóticas. Los Estados tienen una importante responsabilidad en el desarrollo e implementación de dichos protocolos y regulaciones relacionadas, el establecimiento de roles y responsabilidades claras y fomento de la capacidad. Dichos esfuerzos deben ir ligados con las obligaciones acordadas en el Código

de Conducta para la Pesca Responsable, el Convenio sobre la Diversidad Biológica y otros acuerdos internacionales.

4. Conservación de poblaciones silvestres

Las poblaciones silvestres únicas de especies importantes de tilapia, aún existe en varias partes de África. Se deberían identificar y gerenciar, como áreas de conservación, las áreas prioritarias en las cuales se debería evitar las introducciones de especies exóticas y variedades mejoradas genéticamente.

5. Problemas transfronterizos de la transferencia de peces

La mayoría de los asuntos y problemas relacionados con el movimiento de peces y el uso de variedades mejoradas genéticamente son comunes en la mayoría de los países de África. Se fomenta que los países: (a) busquen ejemplos de políticas y legislaciones factibles más allá de sus fronteras y las adopten para cubrir el vacío de sus políticas nacionales y (b) recurran a los organismos regionales o formen nuevos organismos con el fin de asistir en la coordinación de las actividades de gestión, incorporando las realidades ecológicas, en particular las cuencas hidrográficas transfronterizas.

6. Fortalecimiento del acceso a la información

La información de referencia sobre la diversidad genética de peces, la integridad medioambiental y las prácticas acuícolas existen pero aún no está completa o no es fácilmente accesible. Se debería fortalecer los mecanismos existentes para la recolección y diseminación de la información.

7. Control del movimiento de patógenos

Los códigos y protocolos aceptados internacionalmente para reducir el peligro del movimiento transfronterizo de patógenos (el termino utilizado aquí incluye a los parásitos) por medio del movimiento de peces incluyendo a las especies exóticas, existe, pero no tratan ninguna necesidad específica con respecto a las especies mejoradas genéticamente. Los Estados y organismos pertinentes debería evaluar los códigos y protocolos vigentes para la reducción de los riesgos del movimiento transfronterizo de patógenos a través del movimiento de peces incluyendo especies exóticas variedades mejoradas genéticamente y adaptarlos a las condiciones de África.

8. Sensibilización de los riesgos de la introducción de peces

Los formuladores de política, agencias del orden, partes interesadas y el público en general necesitan sensibilizarse con las políticas sobre el movimiento de especies exóticas y especies alteradas genéticamente y priorizarlas en sus agendas nacionales.

9. Participación de las partes interesadas

Algunas políticas referentes al movimiento de peces parecen difícil de implementarse, son desconocidas para los usuarios, crean conflictos de intereses, o son vistas como restrictivas, en parte porque han sido desarrolladas con consulta y participación mínima. La formulación de políticas y legislación referentes al movimiento de peces debería comprometer a todas las partes interesadas en un proceso participativo. Además, los gobiernos deberían establecer grupos de consulta conectados con otros organismos independientes y de expertos competentes como la FAO, UICN y el Centro Mundial de Pesca (una vez Centro Internacional para la Ordenación de los Recursos Acuáticos Vivos [ICLARM]).

10. Responsabilidad por los impactos negativos al medioambiente

Aunque los beneficios económicos pueden derivarse del uso de especies exóticas o mejoradas genéticamente en acuicultura, en varios casos, aquellos a los que beneficia, no corren con los costos asociados con los impactos negativos al medioambiente. En vista de ello, debería de existir disposiciones para la responsabilidad, cumplimiento (por ej. incentivos) y restablecimiento, dentro de las políticas y legislaciones referentes al movimiento y uso de especies de peces exóticas y mejoradas genéticamente en acuicultura.

Estas Orientaciones técnicas han sido desarrolladas con el fin de apoyar secciones del Código de Conducta para la Pesca Responsable de la FAO en los aspectos de la gestión de recursos genéticos. Se proveen sugerencias en la administración y domesticación de las reservas de genitores, programas de mejoramiento genético, programas de difusión para los peces mejorados genéticamente, consideraciones económicas en los programas de mejoramiento genético, monitoreo y evaluación de riesgos, pesca basada en el cultivo, conservación de los recursos genéticos pesqueros, bancos de genes, un enfoque preventivo y relaciones públicas. El manejo efectivo de los recursos genéticos, la evaluación y supervisión de los riesgos pueden ayudar a promover la acuicultura responsable aumentando la producción económica y el rendimiento y ayudando a minimizar los impactos negativos sobre el medioambiente. Los beneficios resultantes de la aplicación responsable de los principios genéticos en la acuicultura deberían comunicarse a los consumidores, formuladores de política, científicos y otros interesados en la pesca responsable y en la acuicultura.

