



Avances y desafíos genéticos en salmónidos

Rumbo a la Domesticación de la Especie

Por Christian Pérez Mallea

- Hay diversos programas genéticos en nuestro país y el extranjero buscando la selección de planteles más eficientes y productivamente atractivos a los diferentes mercados de destino, con notables avances.
- La genética ha unido a empresas e investigadores en esta cruzada, obteniendo de paso ejemplares que se alejan cada vez más de las poblaciones silvestres que les dieron origen.

Los programas de selección genética en salmónidos se remontan a comienzos de los `70s en Noruega con salmón Atlántico (*Salmo Salar*), trabajo que fue conducido en sus inicios con el fuerte apoyo del Gobierno de ese país, para ser emulado —más de una década después— en Chile. En ambos casos, el objetivo es optimizar los resultados productivos de los peces mediante genética (cuantitativa y molecular), eligiendo los ejemplares con mejor desempeño, para que hereden ciertas características ideales a sus descendientes y con ello mejoren las de toda su progenie.

Desde su origen, los programas se han concentrado principalmente en los rasgos que más contribuyen a la productividad de estos peces, como crecimiento, tamaño, rendimiento de filete y contenido de grasa, por ejemplo. Sin embargo, ahora el foco también está puesto en características no tan

directamente vinculadas con la producción, como resistencia a enfermedades y digestibilidad de insumos vegetales, dando cuenta del cambio en las necesidades de una industria en constante evolución.

Además, como en otros ámbitos de la producción animal, no está demás mirar los avances conseguidos por las industrias de pollos y cerdos que, debido a la ventaja que llevan en años de experiencia, han logrado significativos progresos.

Rasgos de Mayor Interés

Los diversos entrevistados de este artículo coincidieron en que crecimiento es el rasgo más buscado por todos, al que siguen, de acuerdo con el genetista de Marine Harvest Chile, Robert Deerenberg, el tamaño de los ejemplares y ciertas características de la carne, como el color y rendimiento de

filete, resistencia al *gaping* y porcentaje de grasa. “La sobrevivencia total hasta peso de cosecha, entendida como robustez, también es uno de los rasgos que seleccionamos y que probablemente escalará posiciones entre los más buscados por las distintas empresas debido a las pérdidas producidas, especialmente durante el cultivo en agua de mar”, explica.

El gerente Zona Sur de Diagnotec, Javier Moya, añade el rendimiento del pez, maduración tardía (especialmente en *S. Salar*), óptima expresión de color en músculo y un bajo porcentaje de grasa visceral. “Secundariamente hay numerosas características que también se miden y que se establecen en su momento con la empresa, tales como: resistencia a enfermedades, esmoltificación y éxito de ingreso al mar”.

A su vez, el director del programa de

Origen y Desarrollo de un Programa Genético

La génesis de todo programa genético clásico comienza con la definición de los parámetros o perfiles a mejorar (crecimiento, peso de cosecha, mejor condición, etc.) y la selección del material biológico (núcleo genético de familias) con el cual trabajar. Cada cruzamiento realizado genera una familia, la cual se incuba en forma separada hasta los 5 grs., momento en que se marcan (generalmente entre 100 y 200, puede variar) peces de cada familia con *pit-tags*. Posteriormente, los peces marcados se juntan con el resto de la producción y se realiza un seguimiento de todos los rasgos que se pueda medir (crecimiento, largo, factor de condición, mortalidad, etc.). En ese momento se hace un *ranking* de las familias de acuerdo con sus características fenotípicas y el criterio que privilegia cada empresa. Esos parámetros o perfiles corresponden a una definición fundamentalmente práctica y con sentido económico, por lo que pueden variar de acuerdo con cada situación en particular.

De ahí en adelante, las cruzas responden a la selección de los ejemplares con mejores perfiles fenotípicos para lograr una ganancia genética de acuerdo con un clásico modelo animal. Existen una serie de detalles y variaciones en relación con el programa descrito, sin embargo, una de las principales es la incorporación de herramientas moleculares y genómicas al desarrollo del plan. Este es lo que Diagnotec definió hace ya algunos años como “Planes de Manejo Genético Integral”. Por ejemplo, la selección original del material con el cual formar el comienzo del programa, se puede beneficiar y potenciar incorporando marcadores moleculares tales como microsatélites para evitar procesos de consanguinidad. Asimismo, es posible incorporar marcadores de selección ubicados en zonas genómicas relacionadas con algún carácter productivo de interés (QTLs) y herramientas de expresión génica.

Fuente: Javier Moya, gerente Zona Sur de Diagnotec.

genética de Landcatch Natural Selection, Dr. Alan Tinch, incluye la resistencia a enfermedades. “Además, ha ido creciendo la relevancia que tiene el valor del pescado en la planta de proceso, de modo que rasgos como el rendimiento de filete y niveles de grasa son cada vez más importantes”. Agrega que es muy difícil establecer una medición directa de cuán eficiente es la alimentación en un pez en particular, “de modo que lo que hacemos

es determinar una relación entre crecimiento y porcentaje de grasa para obtener una predicción indirecta de la eficiencia de los ejemplares”.

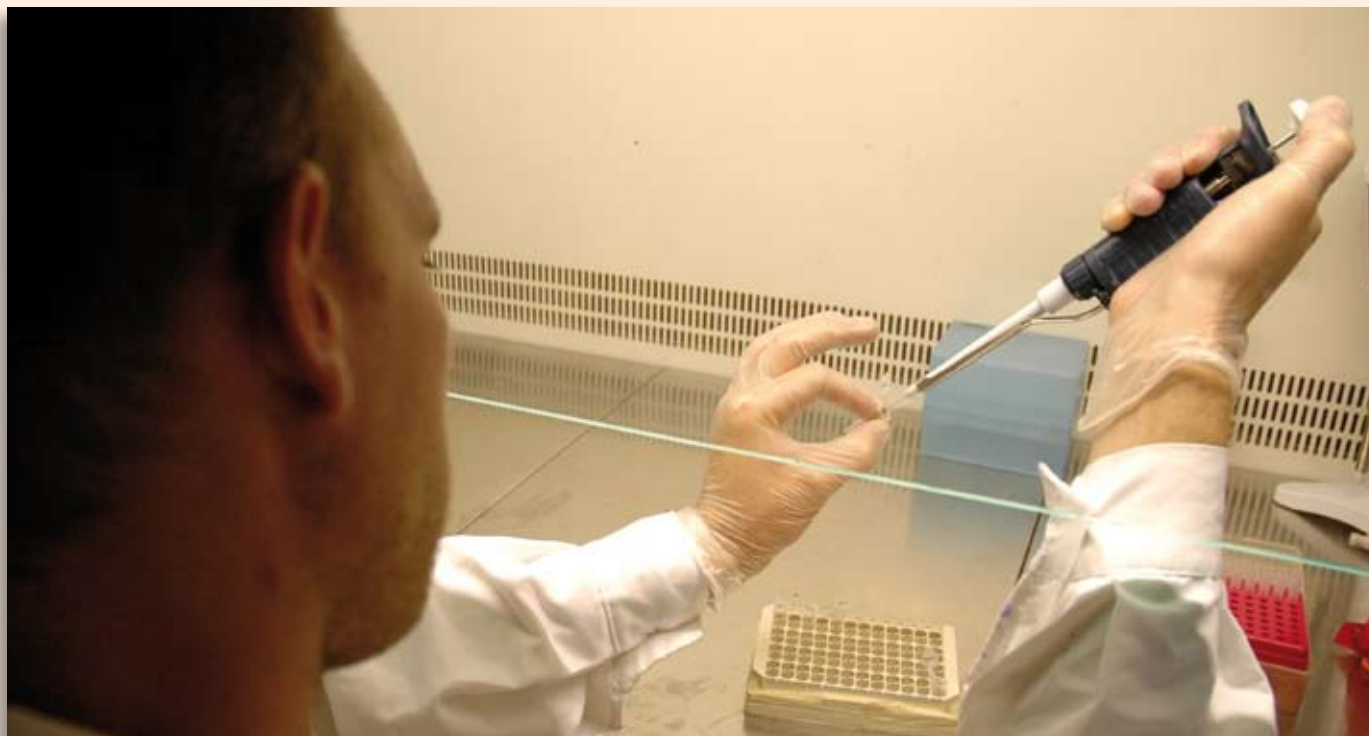
El asesor del Programa de Mejoramiento Genético de Trucha Arco Iris de Piscícola Huililco, Dr. Cristián Araneda, incluye entre los rasgos ideales color del músculo, contenido de astaxantina muscular y, específicamente

en trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), el color plateado de la piel. “Asimismo, hay interés en comenzar a seleccionar para resistencia genética a enfermedades, pero las pruebas de desafío aún complican el tema”.

El gerente de Investigación de Aquainnovo, Dr. Roberto Neira, precisa que la selección responde a los distintos mercados. “Por ejemplo, en Japón es muy apreciada la trucha cuando tiene una coloración plateada similar al salmón, convirtiéndose en algo incluso más importante que el peso, pues determina la diferencia entre un producto que es *premium* de uno que no lo es. En tanto, en otros mercados, esa característica no tiene tanta o ninguna importancia”.

A su vez, el gerente técnico de AquaChile, Rodger Miranda, señala que la optimización productiva alcanzada mediante los programas genéticos se traduce en una mayor competitividad en los mercados y menores costos, “pues logras un producto que es más eficiente para cumplir su ciclo de crecimiento y cosecha. En nuestros programas genéticos, por ejemplo, se consiguen resultados similares a los descritos en la literatura, es decir, un 10% más de crecimiento por cada generación”.

Hay bastante coincidencia en que para obtener resultados en los distintos rasgos, se requieren al menos cuatro —y ojalá diez— generaciones de selección, lo que sumado a lo multidisciplinario de gran parte de los progresos, limita a los especialistas al momento de aventurar porcentajes de mejora para cada atributo. No obstante, en ciertas características, como las fechas de desove —que se han alterado hasta en 15 días en cuatro generaciones de salmón coho (*Oncorhynchus kisutch*)—, se pueden apreciar más claramente los notables cambios.



Digestibilidad de Insumos Vegetales

Probablemente una de las variables que más ha cambiado en el entorno de los salmones cultivados durante el último tiempo es la formulación de los alimentos que consumen, donde la incorporación año a año de mayores porcentajes de ingredientes vegetales es un fenómeno evidente. Aunque al seleccionar por crecimiento peces que han sido alimentados con dietas altas en ingredientes vegetales, indirectamente se están eligiendo los ejemplares que tienen un mejor comportamiento y digestibilidad de esas materias primas, la incógnita a resolver pareciera ser si adaptar los individuos a las nuevas dietas o adecuar las nuevas dietas a los requerimientos de los peces.

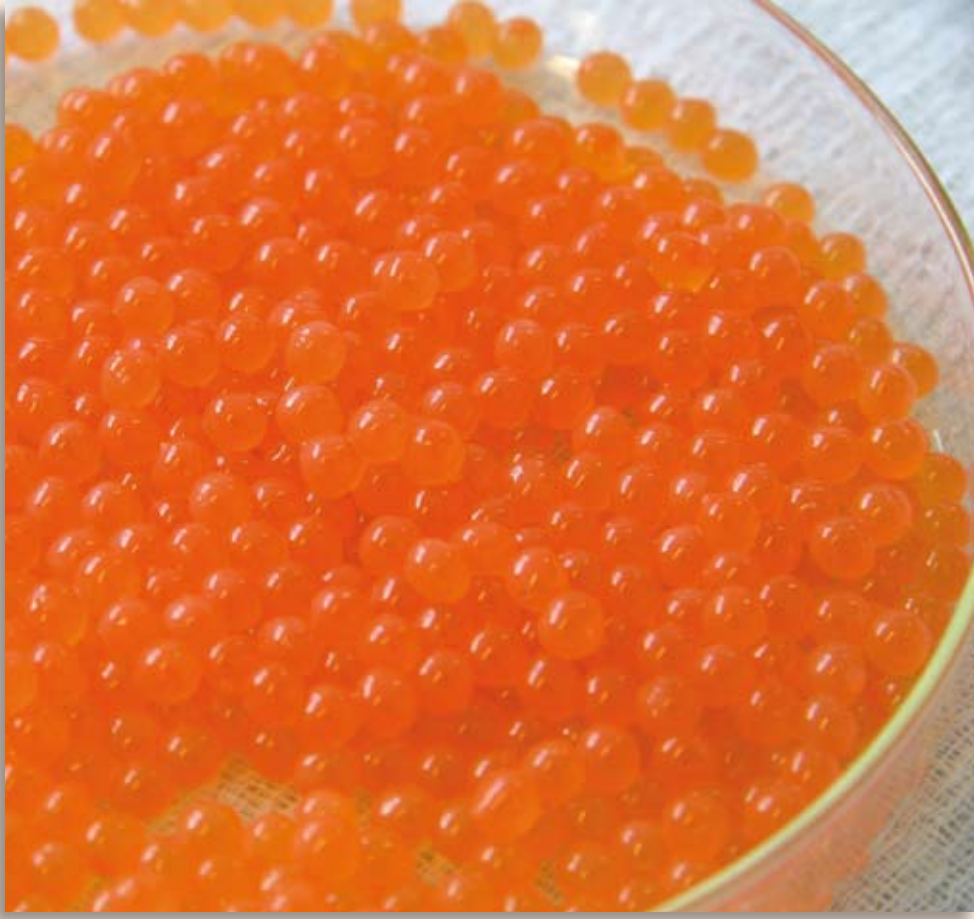
Al respecto, la gerente general de Australbiotech, Virginia Garretón, sostiene que habría que saber si existe alguna variedad

de salmón que tenga una mejor capacidad de digerir dietas vegetales. “Si la respuesta es sí, entonces existe una posibilidad teórica de introducir esta característica en salmones. Ahora, dado que los salmones en la naturaleza no se alimentan de dietas vegetales, no es muy alta la probabilidad de que existan salmones con buena capacidad para digerir estas dietas”. En este sentido, la ejecutiva valora la utilidad que podría tener la obtención de animales transgénicos, aunque reconoce que todavía son muy rechazados por los consumidores, concluyendo que en la actualidad es más factible avanzar en mejorar las formulaciones y los insumos que se utilizan en los alimentos basados en materias primas vegetales.

El Dr. Araneda sostiene que ambos caminos no son divergentes y que la solución puede venir de una interacción. “Desarrollar por mejoramiento genético líneas de peces que se adapten mejor a

una dieta con nutrientes de origen vegetal, mejorar genéticamente los vegetales para producir nutrientes con mejor digestibilidad y menores componentes anti-nutricionales, además de optimizar las formulaciones”. Precisa que lo más abordable desde el punto de vista genético pasa por “identificar biomarcadores (por medio de expresión génica) o marcadores de ADN (mediante análisis de asociación) que permitan realizar selección asistida, para identificar los peces que mejor aprovechan las dietas vegetales y así complementar y aumentar la eficiencia de los métodos tradicionales de selección”.

Mientras, el Dr. Tinch apuesta a encontrar tendencias en los componentes del alimento, para saber cuánta proteína y aceite vegetal se utiliza actualmente y cómo será esto en el futuro. “Además, idealmente buscamos peces que tengan un alto rendimiento con dietas con alta y baja incorporación de insumos vegetales, pues significaría tener planteles



que puedan ir a mercados con distintos niveles de inclusión de harina y aceite de pescado. Sospecho que esa relación no es de un 100% y terminaremos eligiendo aquellos animales que tengan un desempeño promedio con ambos tipos de alimento”.

En este contexto, Javier Moya comenta que Diagnostec junto con la Universidad de Santiago y empresas del sector, desarrollan en la actualidad el único proyecto en Chile en el área de la Inmunogenómica, con la participación de destacados investigadores nacionales y europeos. Uno de los objetivos del proyecto es evaluar y determinar, utilizando tecnologías y herramientas inmunológicas y genómicas de punta, cuál es el efecto de diferentes suplementos alimenticios y antioxidantes en el estado de salud general del

salmón. “Es decir, conocer cuál es el real efecto en términos productivos de un cambio de dieta que puede generar una mejora en el aspecto nutricional, pero un efecto desconocido en el aspecto inmunológico. De esta forma, es necesario definir y evaluar los dos aspectos en forma sinérgica. En la actualidad tenemos una batería de anticuerpos relacionados con genes inmunológicos que representarán la primera plataforma de evaluación del estado de salud en salmónes desarrollada en Chile”, puntualiza.

Acerca de proyectos en camino, revela que junto con la Universidad de Santiago e investigadores europeos y de Canadá, también participan en una iniciativa relacionada con la evaluación de dietas existentes para salmónidos. “En este proyecto,

al igual que el de Inmunogenómica, se utilizarán herramientas histológicas y genómicas de vanguardia para seleccionar genes relacionados que permitan generar un perfil de evaluación del efecto de diferentes fuentes de alimentos. De este modo, se podrá comprar el alimento que se ajuste mejor a los peces, en lugar de que éstos deban adaptarse a las diferentes dietas”. Como es característico en este tipo de proyectos, una herramienta a utilizar corresponde a los microarreglos (*microarrays*), sin embargo un objetivo principal es definir y evaluar cómo incorporar la información genómica y/o molecular en planes de manejo genético. Esto no es un tema menor, ya que aunque parece estar de moda utilizar este tipo de técnicas, es importante comprender cómo aplicarlas realmente en un contexto productivo y no de investigación. “En tal sentido, Diagnostec es pionera en la aplicación de herramientas genéticas y genómicas, a nivel comercial, en la industria chilena del salmón. Es destacable que en la actualidad otras iniciativas y grupos estén desarrollando esfuerzos similares a la senda trazada por nosotros, ya que aquí lo importante es el esfuerzo país que debemos potenciar”, añade Moya.

A su vez, el Dr. Neira agrega que Aquainnovo también trabajará en este ámbito, buscando —entre otros— genes asociados al aprovechamiento de insumos vegetales en especies omnívoras, “para ver cuáles están funcionando ahí y si hay algunos de ellos en salmónes. Parte de nuestro quehacer lo realizaremos con universidades del Hemisferio Norte, para aunar esfuerzos y llegar antes a la solución”.

El Consorcio Aquainnovo

El gerente de Investigación de Aquainnovo, Dr. Roberto Neira, revela que pretenden impulsar un modelo de desarrollo de empresa de alta tecnología en genética y biotecnología en acuicultura, como el existente en la industria de aves y cerdos, es decir, un negocio de gran inversión que pretenderá cubrir con sus servicios un porcentaje importante de la demanda nacional en el corto plazo, y mundial en el mediano y largo plazo, teniendo entre otros objetivos específicos: generar infraestructura permanente para la investigación, desarrollo e innovación en el campo de la biotecnología y genética molecular para la industria acuícola; un centro experimental; un laboratorio líder de genética molecular y de biotecnología; desarrollar planes de innovación para la adopción de herramientas de genética molecular y biotecnología en los programas de mejoramiento genético; así como la incorporación de recursos humanos altamente calificados (PhDs) incluyendo el ofrecimiento de becas para doctorado y financiamiento de tesis de Magíster y Doctor (ver más en www.aquainnovo.com).

El Dr. Neira explica que esta empresa es producto de un consorcio recientemente iniciado que tiene ciertas obligaciones específicas de investigación con la Corporación de Fomento de la Producción (Corfo) durante sus primeros cinco años, entre las que destaca investigar resistencia genética a *Piscirickettsia salmonis* y a *Caligus rogercresseyi*. "Para eso, la Universidad de Chile ha adquirido el compromiso de llevar adelante esa investigación. Además, desarrollaremos investigación en una amplia gama de temas que apuntan a mejorar la eficiencia de la industria en nuestro ámbito".

En tanto, el jefe del Centro de Investigación y Transferencia Acuícola de Aquainnovo, Jean Paul Lhorente, agrega que están prestando servicios a diversas empresas. "Tanto a las que ya cuentan con un programa genético, como a aquellas que parten de cero. Además, incorporamos algunas tecnologías que complementan los programas genéticos, como la triploidía, por ejemplo, para ofrecer un servicio más integral".

De igual forma, con la certeza de que en el mundo académico hay investigadores bastante capacitados, que trabajan a nivel de ciencia básica o pre-competitiva, pero que no tienen un buen *link* con los problemas que hay que resolver en la industria, Lhorente afirma que "nuestro rol es ocupar ese espacio, complementando y coordinando ambos mundos, junto con entregar un producto final para los proyectos y esfuerzos que se hagan. Aquí hay una oportunidad concreta para que a través de Aquainnovo no sólo la Universidad de Chile, sino también otras universidades vendan los productos de su investigación".

Aquainnovo está conformada por Empresas Aquachile (83%), la Universidad de Chile (15%) y SGS Aquatic Health (2%).

Fuente: Dr. Roberto Neira y www.aquainnovo.com

Resistencia a Enfermedades

El Dr. Neira asegura que los peces van a crecer más rápidamente, aprovecharán mejor el alimento y alcanzarán mayor calidad nutricional. Sin embargo, respecto de las enfermedades, señala que el cambio es impredecible, pues estima que se pueden conseguir progresos específicos con algunas patologías y las demás sólo podrán ser controladas mediante un manejo sanitario integral, donde la genética es sólo parte del aporte. “Por ejemplo, cuando inicié mi trabajo con salmón coho a comienzos de los `90, el gran problema era la Enfermedad Bacteriana del Riñón (BKD) y muchos

productores solicitaban resistencia genética a ese patógeno. Hoy esa enfermedad ya no es de gran importancia económica y ha sido reemplazada por otras”.

Coincidiendo con lo anterior, el Dr. Tinch comenta que incorporaron la selección por resistencia al virus de la Necrosis Pancreática Infecciosa (IPNV) en su programa genético entre 1998 y 1999 en Escocia, enviando grupos centinela al interior de plantales enfrentados productivamente a la enfermedad, para luego registrar qué familias mostraron mejor sobrevivencia. Luego, incorporaron esa información al programa genético para, desde esa fecha al presente, mantener una

selección constante con cada clase anual (*year/class*) y así apuntar a ejemplares menos susceptibles a tal patógeno. “Ahora que la enfermedad se ha movido hacia agua dulce, a estadios en que no hay aplicación posible de vacunas ni respuesta inmune, la genética que se enfocó en un problema de agua mar nos está ayudando en agua dulce”.

El investigador escocés detalla que han realizado un análisis genómico que intenta identificar genes que tienen un efecto en resistencia a IPNV, desarrollando marcadores moleculares que este año fueron usados por primera vez comercialmente en Escocia para mejorar el rendimiento. “Gran parte del *stock*

La Experiencia de Agrosuper en Cerdos

Considerando que la industria porcina tiene bastantes más años de experiencia en genética, es ilustrativo descubrir algunos de los rasgos que han mejorado, consiguiendo en líneas maternas incrementar: cerdos nacidos vivos; selección para favorecer la presencia de gen ESR, utilizado para aumentar nacidos vivos; habilidad materna para criarlos; capacidad de sobrevivencia de los lechones; eliminación del color del pelo; peso al destete; y rusticidad o sobrevivencia. Mientras, en líneas paternas han optimizado: ganancia diaria de peso; conversión de alimento; disminución del contenido de grasa; color de la carne; porcentaje de infiltración grasa; productos sin presencia de carnes pálidas, exudativas y blandas (PSE); sin gen Napole o RN, para evitar las carnes pálidas y ácidas en el jamón; y sin gen Halothano o del estrés, para evitar pérdidas de calidad de carne y bajar la mortalidad de los animales.

A su vez, respecto del desarrollo de resistencia específica e inespecífica a enfermedades, han logrado detectar resistencia a una enfermedad del cerdo provocada por cepas específicas de *Escherichia coli*. Actualmente trabajan en resistencia no específica a enfermedades, es decir, a rusticidad o robustez, preocupándose de no afectar los parámetros productivos. Para ello, han identificado una serie de marcadores genéticos, que se están monitoreando para determinar aquellos que están más relacionados con la resistencia a enfermedades.

Finalmente, entre los avances que han conseguido durante los últimos diez años, han incrementado en forma anual: +0.20 nacidos vivos por hembra al año; -1.6 días en alcanzar los 120 kg. de peso; y -0.054 kilos en la conversión de alimento a los 120 kg.

Fuente: Dr. Wolfgang Peralta, Agrosuper.



de ovas que producimos en Escocia va hacia Chile, por lo tanto, habrá un efecto directo en los peces chilenos. Además, estamos en las etapas preliminares del análisis genético para resistencia a *Piscirickettsia salmonis* (SRS) con el Dr. Pedro Smith de la Universidad de Chile, así como dirigimos un estudio similar con *Pancreas Disease* para el mercado europeo y un trabajo enfocado en robustez y resistencia inespecífica a enfermedades”, explica.

Poniendo énfasis en las mismas enfermedades, Javier Moya menciona que Diagnotec e investigadores de las universidades de Santiago y de Chile, participan en el proyecto Innova “Utilización de la genómica funcional para el mejoramiento de la resistencia genética a las enfermedades de la Necrosis Pancreática Infecciosa y *Piscirickettsia salmonis*”. En tanto,

el Dr. Araneda precisa que hasta la fecha no existen trabajos de mejora genética de largo plazo que permitan producir líneas de peces resistentes, salvo uno realizado por investigadores japoneses en las décadas de los `70 y `80, que lograron producir dos líneas de truchas arco iris, una resistente y otra susceptible a infección por IPNV. “La idea es lograr producir estas líneas, sin embargo es difícil, pues si se altera el pez, el patógeno también cambia para adaptarse a su nuevo blanco, de modo que es una lucha constante producir líneas genéticamente resistentes a patógenos”. Añade que los principales avances a nivel molecular están en la identificación de regiones cromosómicas (llamadas QTL o *quantitative trait locus*), “donde probablemente existen genes que tienen variantes que confieren mayor o menor resistencia a algunas patologías, pero

aún no se avanza a realizar selección asistida por marcadores para resistencia genética. Hay varios QTLs identificados en este sentido, pero nadie todavía los usa”.

Dando cuenta de la importancia de la genética, el director de I+D del instituto noruego de investigación VESO, Dr. Paul Midtlyng, reveló que a nivel experimental comprobaron que la selección por resistencia a IPNV podría disminuir hasta en 50% la mortalidad para esta patología, agregando que los beneficios de la selección genética son complementarios a los de la vacunación. “La vacunación es una medida temporal, pues hay que vacunar cada clase anual para obtener protección. En tanto, lo bueno de los programas genéticos, es que cada clase anual es un poco mejor que su predecesora. Combinando resistencia y vacunación

contra IPNV, muchos de los problemas que enfrentamos entre cinco y diez años atrás con *post-smolts* desaparecieron”.

A su vez, el Dr. Neira explica que en la búsqueda de resistencia genética a SRS y a *Caligus rogercresseyi*, van a hacer uso de tecnologías de pruebas de desafío —algo que aún no se ha hecho con caligus en Chile— para poder discriminar peces que respondan distinto ante la confrontación con el patógeno.

En el caso de SRS buscarán diferencias en la expresión de genes entre individuos que sean resistentes frente a algunos que sean más susceptibles durante desafíos. Con tal propósito, utilizarán una tecnología basada en *microarrays*, mientras con *C. rogercresseyi*

están implementando marcadores genéticos, “tecnología que hemos utilizado exitosamente con anterioridad” —agrega— asociados con diferencias en la reacción de los peces frente al desafío, para asistir la selección.

Virginia Garretón complementa las anteriores apreciaciones afirmando que “llegó el minuto de darse cuenta que la industria requiere investigación de buen nivel donde apoyarse, y que puede ser el momento de hacer una lista de las prioridades para los próximos diez años y diseñar una estrategia para lograr avanzar de forma seria en la solución de éstas. Quizás es el momento de asociarse con el Gobierno y crear un fondo de financiamiento conjunto para formar profesionales científicos en áreas claves,

realizar ya las investigaciones más urgentes, crear un centro experimental alineado con esas prioridades definidas, etc. Un buen ejemplo de esto es el consorcio Aquainnovo”, destaca.

Otro gran aporte podría llegar desde el consorcio internacional que trabaja la secuenciación del genoma del salmón, cGRASP¹ (Consortium for Genomics Research on Atlantic Salmon Project), donde Chile ya decidió aportar económicamente y es representado por Corfo. La importancia de sus resultados está en que acelerarían enormemente el conocimiento que se tiene respecto del funcionamiento de los genes, cuáles son y dónde están, permitiendo respuestas más rápidas y mayores avances en la investigación.





A su vez, en el apoyo a la investigación acerca de resistencia a enfermedades, el Instituto Tecnológico del Salmón (Intesal) participa como empresa asociada en tres proyectos: “Desarrollo de una nueva metodología para la identificación y selección de salmónidos genéticamente resistentes al ectoparásito *Caligus rogercresseyi*”, ejecutado por la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV) y la Universidad de Concepción; “Caracterización fenotípica, genómica y proteómica de *Piscirickettsia salmonis* presentes en la salmonicultura”, encabezado por la Universidad Austral de Chile; y “Determinación de resistencia y susceptibilidad a *Piscirickettsia salmonis* en especies salmonídeas en cultivo”, encabezado por la PUCV y con la participación de Intesal, ADL Diagnostic, El Golfo y Centrovét como empresas asociadas.

Además, destaca el programa de vigilancia coordinado por Intesal, que genera una búsqueda de patentes e investigación en ciertos temas, tales como genética. La empresa ejecutora, IALE, entrega informes de vigilancia para saber qué tipo de I+D se ha hecho hasta el momento.

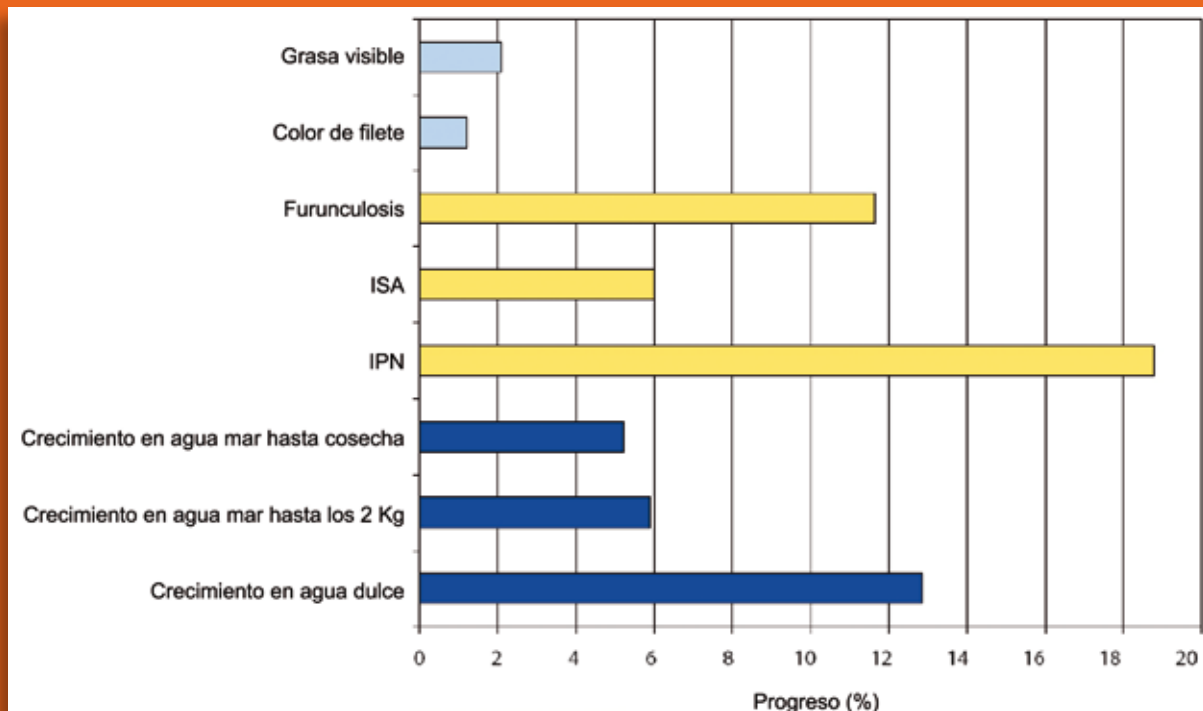
La Futura Domesticación

Aunque no forma parte de los objetivos de los programas genéticos, pareciera muy probable que los salmones adopten con el paso de los años una característica propia de gran parte de las especies que conforman el ganado (*livestock*): la domesticación, con una potencial mejora en los resultados productivos.

Al respecto, el Dr. Tinch sostiene que “es un interesante proceso que aún no hemos visto y del que sólo conocemos sus resultados, pues sabemos cómo es un animal silvestre y uno domesticado. Estamos en ese proceso con los salmónidos, no hemos llegado a tal punto, pero definitivamente tomará cierto número de generaciones para que suceda. Así también, no sabemos cómo lucirá ese pez, pero reconocemos que nuestro trabajo como genetistas ha sido adaptar un animal al entorno productivo. Indirectamente, estamos seleccionando aquellos planteles que se adaptan mejor en el ambiente de cultivo y aquellos que se estresen más en tales condiciones no se desempeñarán tan bien”, añadiendo que no le sorprendería que entre los rasgos de ese nuevo tipo de salmones estuviera una menor agresividad y un mayor acostumbramiento a los sistemas de alimentación.

Expectativas de mejora para las ovas 2005-2006 de Aqua Gen

A partir del perfil genético de los peces que conforman el programa genético, es posible proyectar mejoras en comparación con el promedio de la población. Por ejemplo, la empresa noruega Aqua Gen realiza selección por resistencia a enfermedades desde el año 1998, permitiéndole obtener plantales con un desempeño superior al de ejemplares sin selección genética. En la generación de ovas comercializadas los años 2005-2006, se pueden apreciar altas expectativas de optimización, especialmente en resistencia a enfermedades y en crecimiento.



Fuente: "Genetic background for Aqua Gen Atlantic salmon eggs 2005/2006" en "Information Letter N° 1/2005", www.aquagen.no

En tanto, el Dr. Neira plantea que es inevitable, más que conveniente o no, que una especie que se ha extraído del medio natural y se lleva a cultivo, sufra un gran estrés inicial. "Al cabo de algunas generaciones, sólo por mantener esa especie en confinamiento, se produce un proceso de domesticación que no se puede evitar, pues hay una adaptación a ese ambiente por selección natural", destacando que "recientemente hemos estado aprendiendo que en este proceso hay

cierto tipo de cosas que ayudan a obtener individuos que produzcan un mayor beneficio económico. El *welfare* o bienestar animal es uno de esos aspectos".

Considerando que las condiciones climáticas en Chile son distintas a las existentes en los países en que estas especies viven en forma silvestre, la selección genética de aquellos ejemplares que mejor se adaptan a las características locales parece

imprescindible.

Asimismo, tal como el Programa Territorial Integrado (PTI) del Cluster del Salmón puso a la genética entre sus prioridades, probablemente todas las productoras que conforman la industria nacional deberían seguir ese ejemplo, invirtiendo en investigación que podría traer grandes beneficios económicos al sector.