



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA ACUÍCOLA

HERRAMIENTAS EN INGENIERÍA GENÉTICA USADAS PARA
MEJORAR EL CRECIMIENTO Y SUPERVIVENCIA EN EL CULTIVO DE
PECES

HERRERA CANALES EDWARD STEEVEN
INGENIERO ACUÍCULTOR

MACHALA
2022



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA ACUÍCOLA

HERRAMIENTAS EN INGENIERÍA GENÉTICA USADAS PARA
MEJORAR EL CRECIMIENTO Y SUPERVIVENCIA EN EL
CULTIVO DE PECES

HERRERA CANALES EDWARD STEEVEN
INGENIERO ACUÍCULTOR

MACHALA
2022



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA ACUÍCOLA

EXAMEN COMPLEXIVO

HERRAMIENTAS EN INGENIERÍA GENÉTICA USADAS PARA MEJORAR EL
CRECIMIENTO Y SUPERVIVENCIA EN EL CULTIVO DE PECES

HERRERA CANALES EDWARD STEEVEN
INGENIERO ACUÍCULTOR

SORROZA OCHOA LITA SCARLETT

MACHALA, 23 DE AGOSTO DE 2022

MACHALA
23 de agosto de 2022

herrera 2da revisión plagio

por Edward Herrera Canales

Fecha de entrega: 19-jul-2022 03:13p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1870287367

Nombre del archivo: para_turniting_2.docx (28.66K)

Total de palabras: 3624

Total de caracteres: 20233

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, HERRERA CANALES EDWARD STEEVEN, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado Herramientas en ingeniería genética usadas para mejorar el crecimiento y supervivencia en el cultivo de peces, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 23 de agosto de 2022



HERRERA CANALES EDWARD STEEVEN
0705706018

Resumen

En la acuicultura es casual que para optimizar el rendimiento se recurra a la genética para incrementar la resistencia a enfermedades y el crecimiento. Esta investigación aborda el tema de las herramientas de ingeniería genética usadas para mejorar la producción en peces de cultivo, debido a que esta fuente de alimento suple de proteína a la población humana, por ello deben ser más eficientes a medida que la población crece. Para obtener mayor cantidad de alimento hay una gran variedad de tecnologías disponibles, como por ejemplo la transgénesis, la selección genética y el uso de vacunas recombinantes. Éstas tecnologías ayudarán a que la acuicultura se convierta en la mayor fuente de proteína de origen animal, ya que, los peces tienen mayor potencial que los cultivos de animales terrestres en respuesta a programas de mejora genética. Las disponibilidades existentes de secuenciaciones de genomas completos de las principales especies de cultivo ayudan a obtener programas de mejoramiento en diferentes áreas de la producción. Finalmente, las herramientas genéticas contribuyen a producir más con menos recursos y suplementos que se suelen usar en cultivos convencionales.

Palabras clave: tecnologías, peces, selección genética.

Abstract

In aquaculture usually, to optimize performance genetics are used to increase resistance to diseases and growth. This research is about the issue of genetic engineering tools used to improve production in farmed fish, because this food source supplies protein to the human population, so they must be more efficient as the population grows. To get more food, there are a wide variety of technologies available, such as transgenesis, genetic selection, and the use of recombinant vaccines. These technologies will help aquaculture become the largest source of animal protein since fish have greater potential than land-based animal crops in response to genetic improvement programs. The existing readiness of genome sequencing of the main crop species helps to obtain breeding programs in different areas of production. Finally, genetic tools contribute to producing more with fewer resources and supplements than are usually used in conventional crops.

Keywords: technologies, fish, genetic selection.

Índice de Contenido

I. Introducción.....	5
II. Desarrollo.....	7
2.1 Acuicultura y su Importancia en la Seguridad Alimentaria.....	7
2.2 Problemáticas en el Cultivo de Peces	9
2.3 Beneficios de las Herramientas Genéticas en el Cultivo de Peces	10
2.4 Herramientas Genéticas que se Usan en el Cultivo de Peces	13
2.4.1 Vacuna	13
2.4.1.1 Herramientas Usadas en Vacunas.....	13
2.4.1.1.1 Mejoras Realizadas	13
2.4.2 Selección Genética.....	14
2.4.2.1 Herramientas Usadas en Selección Genética.....	14
2.4.2.1.1 Mejoras Realizadas	15
2.4.3 Edición Genética - Transgénesis.....	16
2.4.3.1 Herramientas Usadas en la Transgénesis	16
2.4.3.1.1 Mejoras Realizadas	17
III. Conclusión	19
IV. Bibliografía.....	20

Índice de Figuras

Figura 1	8
----------------	---

Índice de Tablas

Tabla 1	10
---------------	----

Tabla 2	11
---------------	----

I. Introducción

La presente investigación es referente a las herramientas de ingeniería genética usadas para mejorar el crecimiento y supervivencia en el cultivo de peces, se puede entender como los medios tecnológicos de vanguardia en el campo genético de especies acuáticas para selección, edición y optimización de características de interés económico como: mayor biomasa en menor tiempo y tolerancia a la presencia de agentes infecciosos, mejorando así el rendimiento de los cultivos.

Para analizar esta problemática, es necesario mencionar sus causas. Jeong et al (2020) afirman que la cría de los peces en espacios cerrados, acondiciona el ambiente idóneo para brotes de enfermedades infecciosas que ocasionan mortalidades y pérdidas económicas considerables. La acuicultura ofrece mayor alimento en un periodo de tiempo más corto, por tanto, la respuesta de selección genética a aplicar éstas tecnologías en acuicultura de peces, es mucho más alta que en animales de granja donde la mejora genética avanza 1% - 2% por generación y en animales acuáticos 5% - 10% por generación, ya que en peces se tiene toda la variabilidad genética disponible. Naturalmente sin intervención tecnológica genética, la acuicultura es el sector de alimentos cultivados de más rápido crecimiento y pronto se convertirá en la principal fuente de pescado, mariscos y proteína animal para la dieta humana.

La investigación de esta área de la ingeniería genética se realizó por el interés de obtener información de resultados de mejoras genéticas que hayan optimizado el crecimiento y supervivencia en el cultivo de peces mejorando la calidad y rentabilidad que los sectores agrícolas, ganaderos y pesca industrial no suplen. Para el empresario piscícola ahora es más accesible la secuenciación del genoma completo de un reproductor de una especie de cultivo para referencia en la selección de genes. Según (*The Cost of Sequencing a Human Genome*, 2021) cuando se

secuenció el genoma humano el año 2005 costó cerca de 2.7 mil millones de dólares, el costo actual de secuenciación de un genoma completo está por debajo de los 1.000 dólares.

En el ámbito profesional, como productor acuicultor académico, el interés versó en conocer las herramientas genéticas comúnmente usadas en la optimización del crecimiento y supervivencia de los peces en cultivo.

En acuicultura para optimizar los cultivos se han dedicado investigaciones con enfoque a resistencia a enfermedades, reducir su incidencia, y mejorar el crecimiento, estos enfoques incluyen técnicas como: vacunas, transgénesis, selección asistida por marcadores genéticos y CRISPR-Cas9.

II. Desarrollo

2.1 Acuicultura y su Importancia en la Seguridad Alimentaria

La acuicultura tiene un papel crucial y cada vez mayor en la seguridad alimentaria y la estabilidad económica en todo el mundo (Anderson et al., 2017).

Sin embargo, a diferencia de los sectores de la ganadería y los cultivos terrestres, la acuicultura se basa en el cultivo de un grupo enorme y diverso de especies de peces y mariscos, que comprende aproximadamente 543 especies animales diferentes, incluidos 362 peces, 104 moluscos, 62 crustáceos, otros 9 invertebrados acuáticos y 6 ranas y reptiles (Houston et al., 2020).

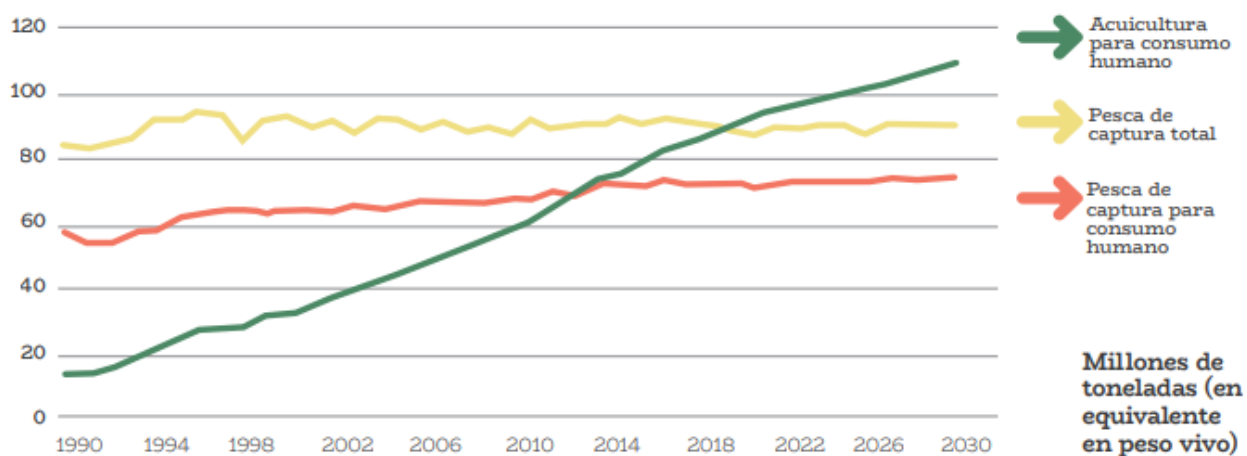
El cultivo de aproximadamente 70 de estas especies sustenta el 80 % del volumen de producción acuícola mundial, en comparación con sólo tres especies de ganado (cerdo, pollo y vaca), que representan el 80 % de la producción mundial de carne, y cuatro especies vegetales (arroz, trigo, maíz y patatas), que constituyen la base de dos tercios de la producción mundial de cultivos (Troell et al., 2014).

Los peces componen el grupo más variado entre los vertebrados, dentro de los cuales un número minúsculo de especies se usan con fines comerciales y de investigación; las especies con estos intereses son los salmónidos, truchas, tilapias, y bagres entre otros (Khalil et al., 2017).

Molares et al (2021) mencionan usando datos publicados por la FAO que, la acuicultura proporciona 53% del pescado dedicado al consumo humano, lo que indica un crecimiento anual entre 5% y 8%. Según esta tendencia, se tiene la expectativa que ocurra incrementos ininterrumpidos hasta 2030, ante un atasco en la oferta de la labor pesquera, como indica el siguiente gráfico.

Figura 1

Producción mundial de la pesca de captura y acuicultura 1990-2030.



Fuente: (Molares et al., 2021).

Molares et al (2021) señalan que, el crecimiento de la actividad acuícola no es uniforme en todo el mundo. Aquellos países que reportan mayor crecimiento en esta actividad están en Asia, América Latina y África, cuyas tasas de crecimiento anual son mayor a 6%. Antagónicamente, están países de Europa y Norteamérica, que juntos tienen tasas de crecimiento anual menores al 2% en el lapso de 2000-2014. Por otro lado Anderson et al (2017) coinciden, ya que afirman; “más del 90% de la acuicultura mundial se produce en países de ingresos bajos y medianos, donde realiza importantes contribuciones a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, sea directamente a través del consumo humano o indirectamente a través del crecimiento”.

Dado que se prevé que una población mundial en aumento alcance los 9600 millones en 2050, el aumento sostenible del suministro de alimentos y, más específicamente, de la producción de proteína animal, es un desafío clave. Los animales no solo necesitan volverse más productivos, sino que, lo que es más importante, también necesitan volverse más eficientes (de Verdal et al., 2017).

Los costos de alimentación representan del 30 al 70 % de los costos totales de producción en la acuicultura; se ha trabajado mucho en enfoques nutricionales y de cría para mejorar la eficiencia alimenticia (EF), pero solo se ha dedicado una cantidad limitada de investigación al uso de la genética, a pesar de su potencial (de Verdal et al., 2017).

2.2 Problemáticas en el Cultivo de Peces

Mejorar la EF, que es uno de los rasgos económicos más importantes para la cadena de suministro acuícola, es clave para reducir los costos de producción en la acuicultura y lograr la sostenibilidad de la industria (de Verdal et al., 2017).

Además, debido a que la cría de peces ocurre en lugares cerrados, acondiciona un ambiente idóneo para el debilitamiento del sistema inmune mediante estrés y proporciona un nicho adecuado para proliferación de agentes patógenos, lo que ocasiona pérdidas económicas durante el ciclo productivo. Adams (2019) señala que en estos esquemas de cría se estima que hasta un 10% del total de animales acuáticos mueren por enfermedades infecciosas, lo que en escala mundial equivale monetariamente a más 10.000 millones de dólares americanos anualmente.

Jennings et al (2016) mencionan también que la paulatina intensificación de la producción acuícola plantea problemas ambientales, como la destrucción del hábitat y los brotes de enfermedades infecciosas, que tienen un impacto negativo en la salud y el bienestar de las poblaciones cultivadas (y potencialmente silvestres) y pueden verse exacerbados por el cambio climático.

Maulu et al (2021) señalan también ante problemáticas ambientales bajo el contexto de calentamiento global generalizado que, la probabilidad de olas de calor está aumentando y con ella la probabilidad de estreptococosis también. Hasta ahora, la gran mayoría de la industria de la tilapia se basa en la estrategia de tratamiento con antibióticos posterior a la infección, con pocos

productores comerciales a gran escala cambiando a una estrategia de vacunación previa a la infección para controlar la infección y reducir la mortalidad por estreptococosis.

2.3 Beneficios de las Herramientas Genéticas en el Cultivo de Peces

La inversión en programas de reproducción selectiva, genera retorno económico porque la selección genética tiene como objetivo mejorar la productividad de características económicas importantes, que dan como resultado cambios permanentes, acumulativos y sostenibles en la población de una granja durante generaciones de selección (Yoshida et al., 2019).

Mediante la siguiente tabla se puede visualizar la mejora de productividad y eficiencia gracias a la cría selectiva (de Verdal et al., 2017).

Tabla 1

Mejora de la productividad y eficiencia gracias a la cría selectiva.

Species	Trait	Performance		
		1960	2005	Δ (%)
Pigs†‡	Growth g day ⁻¹	629	925	47
	FCR	3.24	2.65	18
Broilers§	Growth g day ⁻¹	10	40	400
	FCR	2.85	1.98	30
Laying hens¶	# eggs per year	230	315	30
	FCR (g g ⁻¹ egg)	3.13	2.28	27
Nile tilapia††	Growth g day ⁻¹	0.61	4.75	780
	FCR	1.58	1.45	8

Nota. La eficiencia mejorada también significa que se convierten más nutrientes en los tejidos de los peces, lo que reduce la carga de nutrientes en el medio ambiente.

Fuente: (de Verdal et al., 2017)

Delphino et al (2022) señalaron en una tabla de su elaboración en su trabajo sobre evaluación económica del uso de la genética para controlar la *Streptococcus agalactiae* en tilapia del Nilo, que el porcentaje relativo de supervivencia (RPS) en alevines de tilapia del Nilo seleccionados genéticamente, tuvieron resultados que señalaron que tanto en los sistemas de

producción en estanques como en jaulas, son significativamente más resistentes a *Streptococcus agalactiae* que los alevines estándar.

Tabla 2

Información sobre el porcentaje relativo de supervivencia (RPS) relacionado con el uso de alevines de tilapia del Nilo seleccionados genéticamente resistentes a la estreptocosis en el sistema de cultivo en estanques y jaulas.

Production system	Source	Models	Mortality (%)		RPS (%)
			Genetically selected fingerlings	Normal fingerlings	
Pond	Field trial	Trial 1	29.55	43.45	32
		Trial 2	33.05	43.45	24
	Experimental validation	IP infection model	28.67	49.67	42
		Cohab infection model	32.33	43	25
	Literature reviews	Generation G0	66.5	99.5	33
		Generation G1	66.5	78.9	16
Generation G1		27.9	58.06	52	
Cage	Field trial ^a	Trial 1	17.21	25.01	31
		Trial 2	21.42	23.29	8

Nota. ^a Tanto los alevines seleccionados genéticamente como los normales fueron vacunados durante el experimento para imitar la práctica de vacunación de los peces en el cultivo en jaulas, como se indica en el texto.

Fuente: (Delphino et al., 2022).

La cría selectiva para la mejora genética de los rasgos de producción tiene un gran potencial para aumentar la eficiencia y reducir la huella ambiental de la acuicultura. A pesar de su diversidad, las especies acuícolas tienden a compartir dos características clave que mejoran su potencial para la mejora genética. En primer lugar, permanecen en las primeras etapas del proceso de domesticación, que está relacionado con una mayor diversidad genética dentro de la especie. En segundo lugar, son muy fecundos, con una fecundación típicamente externa (Houston et al., 2020).

Según, Gjedrem & Rye (2018) este potencial para la mejora acumulativa y permanente de los rasgos de producción es evidente a partir de las ganancias genéticas típicamente altas en los programas de mejoramiento de la acuicultura; por ejemplo, un aumento de crecimiento promedio

del 13% por generación en el salmón del Atlántico (*Salmo salar*), que es sustancialmente más alto que el crecimiento observado en los programas de cría de especies de ganado terrestre. Respecto a las ventajas de organismos acuáticos en la mejora genética Gratacap et al (2019) señalan que, la alta fecundidad y la fertilización externa de la mayoría de las especies acuícolas pueden facilitar la edición del genoma para la investigación y aplicación a una escala que no es posible en los animales terrestres de cultivo.

Una de las posibilidades de las herramientas genéticas para el mejor rendimiento, es la mejora de las cualidades para el consumo y aptitudes productivas mediante parientes silvestres. Además, estas tecnologías podrían jugar un papel clave en la capacidad de adaptación del sector agropecuario en general frente al cambio climático, y de protección al medio ambiente, ya que, evitan el uso de agentes antimicrobianos y plaguicidas (Green Deal, 2019).

A continuación, posibilidades del uso de las técnicas de mejora genética en acuicultura según (Green Deal, 2019):

- Aumentar la producción y sustentabilidad del sector agroalimentario.
- Contribuye a paliar el uso de antimicrobianos y plaguicidas, dando resistencia a enfermedades.
- Maximizar el progreso de novedosas variedades productivas mediante parientes silvestres con métodos que no intervengan con poblaciones naturales del medio silvestre.
- Asegurar el consumo de alimentos sostenibles y saludables, mermando el desecho, aumentando la calidad, cualidades nutricionales y sus componentes.

2.4 Herramientas Genéticas que se Usan en el Cultivo de Peces

2.4.1 Vacuna

Los contras de la vacunación son: solo es usada en peces de un tamaño considerable, impidiendo así la protección contra patógenos a una edad temprana; realizar la vacunación a una población grande es laboriosa; los costos de elaboración de vacuna son considerables; y las demás deficiencias son el estrés que involucra para el pez vacunarlos, sumándole a esto el corto plazo de tiempo en que la vacuna puede proteger al organismo (Elaswad & Dunham, 2018).

2.4.1.1 Herramientas Usadas en Vacunas

Las herramientas usadas en vacunas incluyen (a) enzimas de restricción, (b) ADN ligasas y (c) vectores de transferencia.

2.4.1.1.1 Mejoras Realizadas

Una enfermedad prevalente en el cultivo de *Salmo salar* en fase de crecimiento; es decir en agua marina, es HSMI (inflamación del músculo esquelético y del corazón), causada por PRV (orthoreovirus de Piscine). En dos ensayos experimentales de vacunación en salmón del Atlántico, utilizando vacunas de ADN que expresan diferentes combinaciones de proteínas PRV, encontramos que la expresión de las proteínas no estructurales μ NS combinadas con la proteína de unión celular σ 1 se asoció con una tendencia creciente en la expresión génica de marcadores de linfocitos en el bazo, e indujo un efecto protector moderado contra HSMI (Haatveit et al., 2018).

Calumnaris es una enfermedad causada por *Flavobacterium columnare* es un patógeno oportunista; una bacteria Gram-negativa que causa pérdidas sustanciales entre las especies de peces cultivadas, en especial el bagre de canal (*Ictalurus punctatus*). En una evaluación de vacuna con proteína recombinante de la bacteria; chaperona DnaK, para protección contra la enfermedad se demostró que la respuesta dominante de anticuerpos IgM de la mucosa a *F. columnare* es a ésta

proteína ubicada en la fracción extracelular. Mediante inmersión con vacuna viva atenuada (Aislamiento de *F. columnare*, rDnaK), se demostró después de 6 semanas con desafío de laboratorio que aumentó la supervivencia > 30 % en relación con el tratamiento de control (Lange et al., 2019).

2.4.2 Selección Genética

El programa de selección mejora la genética a largo plazo, durante pocas o varias generaciones. Estas mejoras están enfocadas en características como resistencia a enfermedades durante pocas o varias generaciones, y la tasa de crecimiento. Para obtener la más óptima mejora posible, se debe plantear la mejor utilización de la variabilidad genética dentro y entre poblaciones para la resistencia a enfermedades particulares. Además, al organismo secuenciado, se puede hacer un análisis de SNP (polimorfismo de nucleótido único) entre sus alelos para evaluar la heterocigosidad de la especie de forma aproximada (Elaswad & Dunham, 2018).

2.4.2.1 Herramientas Usadas en Selección Genética

Uno de los subproductos más útiles de la secuenciación del genoma completo es el desarrollo de miles de marcadores de ADN. A medida que se llevaron a cabo proyectos de secuenciación del genoma completo, se identificaron un gran número de marcadores polimórficos. La secuenciación del genoma completo con plantillas de secuenciación diploide permite la identificación tanto de microsatélites como de SNP (Abdelrahman et al., 2017).

Los QTL (locus de rasgos cuantitativos) son rasgos continuos, medibles y poligénicos (controlados por dos o más genes) características como el peso corporal y la altura. Los QTL son importantes para estudiar la arquitectura genética de un rasgo fenotípico y se pueden utilizar en la identificación de genes candidatos de interés (los genes candidatos son genes preespecificados en los que la variación genética se correlaciona con la variación fenotípica de un rasgo) (Lu et al.,

2017). En muchos estudios, los QTL se asignaron a una región más de un millón de pares de bases, lo que facilitó la identificación de genes candidatos con la ayuda de un mapeo fino (Abdelrahman et al., 2017).

2.4.2.1.1 Mejoras Realizadas

La imputación de genotipos en tilapia del Nilo para el crecimiento y rendimiento de filete, reduce el costo de la selección genómica al genotipado de una pequeña proporción de animales (p. ej., padres o animales influyentes) usando un panel SNP (polimorfismo de nucleótido único) denso y selección de candidatos usando un panel LD (baja densidad) SNP, y luego imputando (prediciendo) los genotipos faltantes desde el panel inferior al HD (alta densidad) SNP. En especies acuícolas, estas estrategias rentables han sido evaluadas y reportadas para generar precisiones de predicción genómica similares a las obtenidas cuando todos los candidatos de selección son genotipados con paneles HD SNP (Yoshida et al., 2019).

La cepa de tilapia del Nilo genéticamente mejorada cultivada en Bangladesh, GIFT. En una comparación de crecimiento, rendimiento y rentabilidad frente a cepas no GIFT, se obtuvo que la cepa mejorada genéticamente, tuvo una tasa de crecimiento más rápida en monocultivo y policultivo (27% y 36% respectivamente) que la tilapia no GIFT. En las estadísticas de rendimiento también fueron diferentes entre ambas cepas en las modalidades policultivo y monocultivo (9,3 ton/ha/ciclo para GIFT y 7,8 ton/ha/ciclo para no GIFT en policultivo; 8.1 ton/ha/ciclo para GIFT y 6. 2 ton/ha/ciclo para no GIFT en monocultivo) (Tran et al., 2021).

2.4.3 Edición Genética - Transgénesis

Se han generado líneas de peces transgénicos para lograr varios objetivos, como la mejora de la tasa de crecimiento, tolerancia al frío. En cuanto a la resistencia a enfermedades, se han producido varias líneas de peces transgénicos que expresan diferentes genes.

Con respecto a la inserción de ADN extraño, los peces editados genéticamente se dividen en dos categorías: (a) peces editados genéticamente sin inserción de ADN extraño (peces editados genéticamente no transgénicos o sin trans-gén) y (b) peces editados genéticamente con inserción de ADN extraño en el genoma debido al uso de construcciones de plásmidos que expresan gRNA/Cas9 (peces transgénicos editados por genes) (Elaswad & Dunham, 2018).

Actualmente, los estudios relacionados con el genoma de varias especies de peces incluyen resistencia a enfermedades, crecimiento y peces que no deben reproducirse, para evitar la introgresión (traslado de genes de una especie a otra) con el stock silvestre y evitar las consecuencias negativas para la producción de la maduración temprana; en este contexto, se ha utilizado CRISPR/Cas9 para obtener peces estériles (Gratacap et al., 2019).

Actualmente los estudios relacionados con el genoma de varias especies de peces incluyen resistencia a enfermedades, crecimiento y peces que no deben reproducirse.

2.4.3.1 Herramientas Usadas en la Transgénesis

Las herramientas de edición del genoma incluyen (a) nucleasas con dedos de zinc (ZFN), (b) nucleasas efectoras de tipo activador de la transcripción (TALEN) y (c) repeticiones palindrómicas cortas agrupadas regularmente interespaciadas (CRISPR) - proteína 9 asociada a CRISPR (Cas9) (Elaswad & Dunham, 2018).

2.4.3.1.1 Mejoras Realizadas

La lactoferrina es una proteína responsable de la unión, el transporte y el metabolismo de los iones de hierro. La lactoferrina se secreta en varios fluidos corporales, principalmente leche y otros fluidos biológicos con múltiples funciones (García-Montoya et al., 2012). La lactoferrina tiene propiedades antibacterianas de amplio espectro, antivirales, antiparasitarias y actividades antifúngicas. La transferencia de lactoferrina humana impulsada por el promotor de b-actina de la carpa a la carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idellus*) retrasó la aparición de signos clínicos en alevines de carpa herbívora inyectados con el virus hemorrágico de la carpa herbívora (GCHV). La carpa herbívora transgénica con lactoferrina también exhibió una mayor resistencia a *A. hydrophila*, con una actividad fagocítica mejorada y una alta tasa de eliminación de bacterias, mientras que la actividad de la lisozima sérica no cambió en comparación con los peces no transgénicos (Elaswad & Dunham, 2018).

Los alevines de bagre de canal (*Ictalurus punctatus*) editados con el gen de la miostatina (MSTN) con CRISPR-Cas9 tenían más células musculares ($p < 0,01$) que los controles, y el peso corporal medio de los alevines editados con genes aumentó en un 29,7 % que los controles (Khalil et al., 2017).

La miostatina es un regulador clave del crecimiento del músculo esquelético en todos los vertebrados y regula la diferenciación de mioblastos in vitro. La alteración de la miostatina, a través de la desactivación de genes o la sobreexpresión de inhibidores, aumenta de forma destacada la masa muscular. Estos resultados demuestran que CRISPR/Cas9 es una herramienta altamente eficiente para editar el genoma. Este enfoque puede hacer que la especie obtenga un crecimiento sin precedentes aumentando la productividad con la edición del genoma, abriendo vías que faciliten la mejora genética y genómica (Khalil et al., 2017).

Daughaday & Rotwein (1989) afirman que el eje de hormona del crecimiento (GH) – factor de crecimiento similar a la insulina (IGF) es un regulador positivo del crecimiento en vertebrados. Cleveland et al (2018) usaron CRISPR/Cas9 para interrumpir la expresión de una proteína IGFBP-2b funcional mediante la orientación conjunta para la edición de genes de los subtipos IGFBP-2b1 e IGFBP-2b2, que representan duplicados de genes específicos de salmónidos.

En trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) se realizó edición del genoma mediante CRISPR/Cas9, el gen diana fue *gfbp-2b1/2b2* cuyo resultado fue la mejora del crecimiento. A pesar de la reducción de IGF-I e IGFBP-2b en el plasma de los mutantes, el retraso del crecimiento en los mutantes fue menos grave entre 10 y 12 meses después de la eclosión ($P < 0,05$), lo que sugiere que se produjo una respuesta de crecimiento compensatoria (Cleveland et al., 2018).

III. Conclusión

Mientras la demanda alimenticia incrementa paralelamente con el crecimiento poblacional, las tecnologías implementadas en los cultivos tienen la tarea de hacer más eficiente la producción de biomasa y la supervivencia.

Las secuenciaciones de genomas completos de especies de interés acuícola sirven de referencia para implementar mejoras a través de selección de marcadores genéticos que expresen mejoras cuantitativas. Ahora tienen un costo accesible para los empresarios que deseen invertir en proyectos de I+D para mejoras genéticas a largo plazo, aunque en el mercado ya existen alevines comerciales con características mejoradas.

Las mejoras genéticas representan una inversión grande al inicio de la cría, pero a medida que se usa la progenie de los reproductores para siguientes cultivos, la respuesta a selecciones genéticas paulatinas por generaciones incrementa entre 5% a 10%.

Las tecnologías de mejoras genéticas tienen impactos positivos tanto económicamente, debido al rendimiento y supervivencia mejoradas en los cultivos, siendo la tasa de retorno más grande que con peces estándar; ambientalmente, debido al uso reducido de agentes antimicrobianos y plaguicidas que pueden ocasionar resistencia a las enfermedades.

Un efecto positivo secundario de la mejora genética es que el área de cultivo se optimiza, produciendo más en un área más pequeña, ya que el cultivo se intensifica ante la resistencia a enfermedades ocasionadas por el hacinamiento.

Debido al cambio climático generalizado mundialmente, se necesitarán animales resistentes a factores como estrés y temperaturas fuera del rango óptimo para el crecimiento y/o conversión alimenticia.

IV. Bibliografía

- Abdelrahman, H., ElHady, M., Alcivar-Warren, A., Allen, S., Al-Tobasei, R., Bao, L., Beck, B., Blackburn, H., Bosworth, B., Buchanan, J., Chappell, J., Daniels, W., Dong, S., Dunham, R., Durland, E., Elaswad, A., Gomez-Chiarri, M., Gosh, K., Guo, X., ... Zhou, T. (2017). Aquaculture genomics, genetics and breeding in the United States: Current status, challenges, and priorities for future research. *BMC Genomics*, *18*(1), 1–23. <https://doi.org/10.1186/s12864-017-3557-1>
- Adams, A. (2019). Progress, challenges and opportunities in fish vaccine development. *Fish and Shellfish Immunology*, *90*(April), 210–214. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.04.066>
- Anderson, J. L., Asche, F., Garlock, T., & Chu, J. (2017). Aquaculture: Its role in the future of food. *Frontiers of Economics and Globalization*, *17*, 159–173. <https://doi.org/10.1108/S1574-871520170000017011>
- Cleveland, B. M., Yamaguchi, G., Radler, L. M., & Shimizu, M. (2018). Editing the duplicated insulin-like growth factor binding protein-2b gene in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Scientific Reports*, *8*(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-34326-6>
- Daughaday, W. H., & Rotwein, P. (1989). Insulin-like growth factors I and II. Peptide, messenger ribonucleic acid and gene structures, serum, and tissue concentrations. *Endocrine Reviews*, *10*(1), 68–91. <https://doi.org/10.1210/edrv-10-1-68>
- de Verdal, H., Komen, H., Quillet, E., Chatain, B., Allal, F., Benzie, J. A. H., & Vandeputte, M. (2017). Improving feed efficiency in fish using selective breeding: a review. *Reviews in Aquaculture*, *10*(4), 1–19. <https://doi.org/10.1111/raq.12202>
- Delphino, M., Joshi, R., & Tola, A. (2022). Economic appraisal of using genetics to control *Streptococcus agalactiae* in Nile tilapia under cage and pond farming system in Malaysia. *Scientific Reports*, *12*(8), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12649-9>
- Elaswad, A., & Dunham, R. (2018). Disease reduction in aquaculture with genetic and genomic technology: current and future approaches. *Reviews in Aquaculture*, *10*(4), 876–898. <https://doi.org/10.1111/raq.12205>
- García-Montoya, I. A., Cendón, T. S., Arévalo-Gallegos, S., & Rascón-Cruz, Q. (2012). Lactoferrin a multiple bioactive protein: An overview. *Biochimica et Biophysica Acta - General Subjects*, *1820*(3), 226–236. <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2011.06.018>
- Gjedrem, T., & Rye, M. (2018). Selection response in fish and shellfish: a review. *Reviews in Aquaculture*, *10*(1), 168–179. <https://doi.org/10.1111/raq.12154>
- Gratacap, R. L., Wargelius, A., Edvardsen, R. B., & Houston, R. D. (2019). Potential of Genome Editing to Improve Aquaculture Breeding and Production. *Trends in Genetics*, *35*(9), 672–684. <https://doi.org/10.1016/j.tig.2019.06.006>
- Green Deal. (2019). Las nuevas técnicas de mejora genética, el Pacto Verde y la Estrategia de la granja a la Mesa. *Mapa*, 1–2.
- Haatveit, H. M., Hodneland, K., Braaen, S., Hansen, E. F., Nyman, I. B., Dahle, M. K., Frost, P., & Rimstad, E. (2018). DNA vaccine expressing the non-structural proteins of Piscine

- orthoreovirus delay the kinetics of PRV infection and induces moderate protection against heart -and skeletal muscle inflammation in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Vaccine*, *36*(50), 7599–7608. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2018.10.094>
- Houston, R. D., Bean, T. P., Macqueen, D. J., Gundappa, M. K., Jin, Y. H., Jenkins, T. L., Selly, S. L. C., Martin, S. A. M., Stevens, J. R., Santos, E. M., Davie, A., & Robledo, D. (2020). Harnessing genomics to fast-track genetic improvement in aquaculture. *Nature Reviews Genetics*, *21*(7), 389–409. <https://doi.org/10.1038/s41576-020-0227-y>
- Jennings, S., Stentiford, G. D., Leocadio, A. M., Jeffery, K. R., Metcalfe, J. D., Katsiadaki, I., Auchterlonie, N. A., Mangi, S. C., Pinnegar, J. K., Ellis, T., Peeler, E. J., Luisetti, T., Baker-Austin, C., Brown, M., Catchpole, T. L., Clyne, F. J., Dye, S. R., Edmonds, N. J., Hyder, K., ... Verner-Jeffreys, D. W. (2016). Aquatic food security: insights into challenges and solutions from an analysis of interactions between fisheries, aquaculture, food safety, human health, fish and human welfare, economy and environment. *Fish and Fisheries*, *17*(4), 893–938. <https://doi.org/10.1111/faf.12152>
- Jeong, K. H., Kim, H. J., & Kim, H. J. (2020). Current status and future directions of fish vaccines employing virus-like particles. *Fish and Shellfish Immunology*, *100*(April 2019), 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.02.060>
- Khalil, K., Elayat, M., Khalifa, E., Daghash, S., Elasad, A., Miller, M., Abdelrahman, H., Ye, Z., Odin, R., Drescher, D., Vo, K., Gosh, K., Bugg, W., Robinson, D., & Dunham, R. (2017). Generation of Myostatin Gene-Edited Channel Catfish (*Ictalurus punctatus*) via Zygote Injection of CRISPR/Cas9 System. *Scientific Reports*, *7*(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-07223-7>
- Lange, M. D., Abernathy, J., & Farmer, B. D. (2019). Evaluation of a recombinant flavobacterium columnare DnaK protein vaccine as a means of protection against columnaris disease in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Frontiers in Immunology*, *10*(JUN), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2019.01175>
- Lu, C., Laghari, M. Y., Zheng, X., Cao, D., Zhang, X., Kuang, Y., Li, C., Cheng, L., Mahboob, S., Al-Ghanim, K. A., Wang, S., Wang, G., Sun, J., Zhang, Y., & Sun, X. (2017). Mapping quantitative trait loci and identifying candidate genes affecting feed conversion ratio based onto two linkage maps in common carp (*Cyprinus carpio* L). *Aquaculture*, *468*, 585–596. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.10.040>
- Maulu, S., Hasimuna, O. J., Mphande, J., & Munang'andu, H. M. (2021). Prevention and Control of Streptococcosis in Tilapia Culture: A Systematic Review. *Journal of Aquatic Animal Health*, *33*(3), 162–177. <https://doi.org/10.1002/aah.10132>
- Molares, Y., Cynthia, G., Fernandez, J. M., & Unidad de Fomento de la Gobernanza del PNIPA. (2021). Hoja de Ruta para el Cultivo de Peces Marinos en el Perú. *Programa Nacional de Innovación En Pesca y Acuicultura*, 108. <https://hdl.handle.net/20.500.12864/310>
- The Cost of Sequencing a Human Genome*. (2021, November). National Human Genome Research Institute. <https://www.genome.gov/about-genomics/fact-sheets/Sequencing-Human-Genome-cost>
- Tran, N., Shikuku, K., Rossignoli, C., Barman, B., Cheong, K., Ali, M., & Benzie, J. (2021).

Growth, yield and profitability of genetically improved farmed tilapia (GIFT) and non-GIFT strains in Bangladesh. *Aquaculture*, 536(January).
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736486>

Troell, M., Naylor, R. L., Metian, M., Beveridge, M., Tyedmers, P. H., Folke, C., Arrow, K. J., Barrett, S., Crépin, A. S., Ehrlich, P. R., Gren, Å., Kautsky, N., Levin, S. A., Nyborg, K., Österblom, H., Polasky, S., Scheffer, M., Walker, B. H., Xepapadeas, T., & De Zeeuw, A. (2014). Does aquaculture add resilience to the global food system? *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(37), 13257–13263.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1404067111>

Yoshida, G. M., Lhorente, J. P., Correa, K., Soto, J., Salas, D., & Yáñez, J. M. (2019). Genome-wide association study and cost-efficient genomic predictions for growth and fillet yield in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *G3: Genes, Genomes, Genetics*, 9(8), 2597–2607.
<https://doi.org/10.1534/g3.119.400116>