



Escola de Camins
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

Bioprogramación de especies con fines reproductivos

Treball realitzat per:
Víctor Polo Casas

Dirigit per:
María Saray Ramírez Rodríguez

Grau en:
Ciències i Tecnologies del Mar

Barcelona, 23 de juny de 2023

Departament d'Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia
(DEAB)

TREBALL FINAL DE GRAU

Agradecimientos

Quiero agradecer de primera mano a mi tutora María Saray Ramírez Rodríguez por toda su paciencia, amabilidad y dedicación en ayudarme a hacer posible este proyecto. Gracias a ella he podido realizar las búsquedas bibliográficas y sobre todo he podido ejecutar los cálculos necesarios para la bioprogramación. Gracias por confiar en mí y por todo el apoyo dado durante todo este tiempo. Ha sido un largo camino que he podido recorrer con mucho esfuerzo y disfrutar.

Doy gracias por todo el apoyo recibido por parte de mi familia, incluyendo mis padres, mi hermana, mi cuñado y a mi perro por todo su amor y cariño hacía mi que me han podido ayudar a esforzarme más. Doy gracias también a todos mis amigos de la escuela y compañeros de clase y de la universidad, en especial a mis amigos Clara Vidal, David Herrero, Joel Vidal, Jeremy Maury, Pau Magriñà y Nil Magriñà; y a mis compañeros del trabajo por apoyarme y darme una mano cuando más lo necesitaba.

Por último y no menos importante quisiera agradecer a mi mismo por no rendirme día tras día y noche tras noche redactando y realizando todo este proyecto.

¡Gracias por todo!



Danio Rerio



Tabla de contenidos

Agradecimientos	1
ABSTRACT	3
1. Introducción	4
1.1 Especies a cultivar.....	5
1.1.1 <i>Huso Huso</i>	5
1.1.2 <i>Danio Rerio</i>	7
1.2 Tiempos de reproducción - Optimización.....	8
1.2.1 <i>Huso Huso</i>	8
1.2.2 <i>Danio Rerio</i>	9
2. Materiales y métodos	10
2.1 Desarrollo.....	11
2.2 <i>H.Huso</i>	12
2.3 <i>D.Rerio</i>	12
3. Resultados y discusiones	13
3.1 Casos de estudio - <i>H.Huso</i>	13
3.1.1 Estudio 1.....	14
3.1.2 Estudio 2.....	17
3.1.3 Estudio 3.....	21
3.1.4 Estudio 4.....	23
3.1.5 Discusiones.....	25
3.2 Bioprogramación - <i>D.Rerio</i>	27
3.2.1 Discusión.....	31
4. Conclusiones y valoraciones	32
5. Librería bibliográfica	33
Anexo	36

ABSTRACT

The objective of this study was to explore the cultivation optimization techniques and methodologies used in the production of aquaculture species for human consumption and in the conservation of endangered species and for genetic studies. The target species were analyzed along with the potential benefits and risks associated with aquaculture, and several case studies were examined with the aim of reducing production times between generations. To achieve this objective, several comprehensive literature searches were conducted to gather different specific growth rate (SGR) values at different temperature levels and with different initial weights for *Huso Huso* and *Danio Rerio* species. Based on these data, four case studies for *Huso Huso* were analyzed in detail, concluding that diets mixed with high lipid content (animal oil) would be optimal for reducing generation times and achieving good productivity. Additionally, the use of prebiotics like IS was emphasized to enhance individuals' resistance. On the other hand, bioprogramming was carried out for zebrafish using a series of calculations through the SGR method to estimate an approximate final weight at which the fish reach sexual maturity and become suitable for reproduction. It was demonstrated that through bioprogramming, a more optimized cultivation treatment of *Danio Rerio* could be achieved, yielding better results with improved egg and fry quality at a lower time cost (18 weeks) compared to standardized production (26 weeks).

Resum

L'objectiu d'aquest estudi va ser explorar les tècniques i metodologies d'optimització de cultius utilitzades en la producció d'espècies aquàtiques per al consum humà i en la conservació d'espècies en perill d'extinció i per a estudis genètics. Es van analitzar les espècies a tractar amb els beneficis i riscos potencials associats a l'aqüicultura, i es van examinar diversos casos d'estudi creats amb la finalitat de reduir els temps de producció entre generacions. Per aconseguir aquest objectiu, es van realitzar diverses recerques bibliogràfiques exhaustives per recopilar diferents valors de SGR a diferents nivells de temperatura i amb diferents pesos inicials sobre les espècies *Huso Huso* i *Danio Rerio*. A partir d'aquestes dades, es van analitzar en detall 4 casos d'estudi per a *Huso Huso* on es va concloure que el més òptim per reduir els temps entre generacions serien les dietes barrejades amb alts continguts de lípids (oli d'animal) per aconseguir una bona productivitat, a més també es va recalcar la idea de l'ús de prebiòtics com la IS per a reforçar les resistències dels individus. D'altra banda, es va dur a terme una bioprogramació per als peixos zebra, utilitzant una sèrie de càlculs mitjançant el mètode de la SGR, per estimar un pes final aproximat en el qual els peixos arriben a la maduració sexual i es tornen aptes per reproduir-se. Es va demostrar que mitjançant la bioprogramació es podria realitzar un tractament millor optimitzat de cultiu de *Danio Rerio* obtenint millors resultats amb una millor qualitat dels ous i alevins a un menor cost de temps (18 setmanes) que amb una producció normalitzada (26 setmanes).

Resumen

El objetivo de este estudio fue explorar las técnicas y metodologías de optimización de cultivos utilizadas en la producción de especies acuícolas para consumo humano y en la conservación de especies en peligro de extinción y para estudios genéticos. Se analizaron las especies ha tratar con los beneficios y riesgos potenciales asociados con la acuicultura, y se examinaron varios casos de estudio creados con el fin de reducir los tiempos de producción entre generaciones. Para lograr este objetivo, se realizaron varias búsquedas bibliográficas exhaustivas para recopilar distintos valores de SGR a diferentes niveles de temperatura y con diferentes pesos iniciales sobre las especies *Huso Huso* y *Danio Rerio*. A partir de estos datos, se analizaron en detalle 4 casos de estudio para *Huso Huso* donde se concluyó que lo más óptimo para reducir los tiempos entre generaciones serían las dietas mezcladas con altos contenidos de lípidos (aceite de animal) para lograr una buena productividad, además también se recalcó la idea del uso de prebióticos como la IS para fortalecer las resistencias de los individuos. Por otro lado, se llevó a cabo una bioprogramación para los peces cebrá, utilizando una serie de cálculos mediante el método de la SGR, para estimar un peso final aproximado en el cual los peces alcanzan la maduración sexual y se vuelven aptos para reproducirse. Se demostró que mediante la bioprogramación se podría realizar un tratamiento mejor optimizado de cultivo de *Danio Rerio* obteniendo mejores resultados con una mejor calidad de los huevos y alevines a un menor coste de tiempo (18 semanas) que con una producción normalizada (26 semanas).

1. Introducción

La bioprogramación de especies con fines reproductivos es un área de la biología que se enfoca en mejorar la producción y calidad de los organismos acuáticos mediante técnicas de selección y mejoramiento genético. En el contexto de la acuicultura, la bioprogramación se ha convertido en una herramienta crucial para la producción sostenible de alimentos y la conservación de especies en peligro de extinción.

El objetivo de este trabajo es explorar las técnicas y metodologías de bioprogramación utilizadas en la producción de especies para consumo humano, y en la conservación de especies acuáticas o destinadas para proyectos experimentales con fines sanitarios. Se analizarán los beneficios y riesgos potenciales asociados con la bioprogramación, y se examinarán varios casos de estudio creados con el fin de reducir los tiempos de producción entre generaciones.

La acuicultura tiene una historia de 4000 años, pero ha sido desde hace 50 cuando se ha convertido en una actividad económica relevante. Es una actividad que abarca aspectos muy variados y una amplia gama de especies, sistemas y prácticas ([OCOLVET et al., 2001](#)). Su dimensión económica ofrece nuevas oportunidades gracias a la creación de empleo, a la utilización más eficaz de los recursos naturales y a las oportunidades en inversión productiva. La acuicultura también contribuye cada vez más al comercio local e internacional. El éxito de la acuicultura moderna se basa en el mejor conocimiento de su biología, en el control sobre la reproducción de las especies, en las innovaciones tecnológicas y en el desarrollo de alimentos específicos ([Andalucía Ecológica et al., 2017](#)); para ello se realizan planificaciones mediante técnicas y métodos de bioprogramación para llevar a cabo diferentes monitoreos de la producción.

La bioprogramación es un área de investigación en biología que se centra en mejorar la producción y la calidad de los organismos acuáticos a través de técnicas de selección y mejora genética ([Christopher Good et al., 2016](#)). La bioprogramación se ha convertido en una herramienta crucial para la producción sostenible de alimentos y la conservación de especies en peligro de extinción en el contexto de la acuicultura ([Christopher Good et al., 2016](#)). Sin embargo, es importante tener en cuenta que la bioprogramación es un campo complejo y multifacético, con muchas técnicas y metodologías diferentes que se pueden utilizar para lograr diferentes objetivos.

En última instancia, el propósito de este informe consiste en explorar las técnicas y metodologías diversas para la optimización, mediante pruebas de crecimiento y bioprogramación con el fin de disminuir el periodo de maduración sexual, aumentar la calidad de la puesta y la rentabilidad económica.

1.1 Especies a cultivar

Se han seleccionado dos especies acuáticas de mundos opuestos y con diversas finalidades a la hora de realizar un cultivo. Se ha elegido una especie proveniente de río (agua dulce) y otra de mayoritariamente de agua salada: el pez cebra (*Danio Rerio*) y el esturión beluga (*Huso Huso*) respectivamente. *Huso Huso* es una especie comercialmente importante para el consumo humano, mientras que *Danio Rerio* se usa comúnmente en proyectos experimentales con fines de salud.

1.1.1 Huso Huso

El esturión beluga también conocido como gran esturión, es una especie conocida por su nombre científico como ***Huso Huso***, es un pez anádromo significando que pasa la mayor parte de su vida en el océano pero migra a los ríos para poder reproducirse y desovar ([D.N.A.T et al., 2007](#)). Nativo de las cuencas del Mar Negro y el Mar Caspio en Europa y Asia; y comúnmente cultivado en Rusia, Europa del Este, Japón e Irán, es valorada como uno de los más grandes del mundo (hasta de 5 metros de longitud y pesar más de 1000 kilogramos).



Fig 1. Visualización del esturión beluga en su hábitat natural

Pertenciente a la familia *Acipenseridae*, presenta un cuerpo con forma de torpedo y una cabeza larga y puntiaguda. Estos seres poseen una gran boca con forma de tubo, sin dientes y con barbas sensibles en la zona inferior de la mandíbula para buscar alimento en el fondo del agua (**Fig 1**). Presenta una piel gruesa recubierta por pequeñas y duras escamas y una coloración variada de gris azulado a negro en la parte superior del cuerpo y blanco en la zona inferior.

La especie es conocida por su excepcional carne y huevas, que se utilizan para producir caviar de una calidad superior, de hecho, es valorada como un manjar en algunos países. Son alimentos ricos con una gran valoración nutricional importante para el ser humano. Es bien sabido que para el ser humano, las proteínas son esenciales para el crecimiento y la reparación de los tejidos ([N.F et al., 2023](#)), mientras que los ácidos grasos omega-3 son relevantes para la salud del cerebro y del corazón ([Synlab et al., 2021](#)).

Por otro lado las vitaminas B12 y D son esenciales para la salud del sistema nervioso y óseo, respectivamente, mientras que el selenio y el fósforo son esenciales para el sistema inmunológico y la salud ósea; y el hierro y el magnesio son imprescindibles para la formación de células sanguíneas y la salud muscular ([N.F et al., 2023](#)).

Sin embargo, aunque en el caso del caviar puede aportar ciertos nutrientes importantes, mencionados anteriormente, es fundamental consumirlo con moderación debido a su alto contenido en sodio y grasas saturadas; aparte que se debe tener en cuenta que el consumo de esturión y caviar de esturión puede ser costoso y no está al alcance de todos los presupuestos.

En términos generales, el caviar es una fuente rica en proteínas, vitaminas (B12 y D) y minerales ([Pescaderías Coruñesas et al., 1911](#)). En particular, es una fuente rica en yodo, selenio, potasio, hierro, magnesio, calcio, fósforo y omega-3, mostrado en la **Tabla 1**. En general, el esturión es una buena fuente de proteínas de alta calidad, ácidos grasos omega-3, vitaminas B12 y D, selenio y fósforo.

Tipo	Por 100g	Tipo	Por 100g
Energía (kJ/Kcal)	440 kJ/105 Kcal	Minerales	
Grasas (g)	4,04 g	Calcio (mg)	13 mg
Hidratos de carbono (g)	4,04 g	Cobre (mg)	0,10 mg
Proteínas (g)	4,04 g	Fósforo (mg)	211 mg
Vitaminas		Hierro (mg)	0,61 mg
Vitamina A (µg)	700 µg	Magnesio (mg)	35 mg
Vitamina B3 (mg)	8,30 mg	Potasio (mg)	284 mg
Vitamina B9 (µg)	15,0 µg	Selenio (mg)	12,6 mg
Vitamina B12 (µg)	2,20 µg	Sodio (mg)	54 mg
Vitamina D (µg)	10,30 µg	Zinc (mg)	0,67 mg
Vitamina E (mg)	3,10 mg		

Tabla 1. Valoración y aportación nutricional por 100 g de caviar ([Pescaderías Coruñesas et al., 1911](#)).

Debido a esta importancia, el ser humano cultiva y cría esta especie con técnicas acuícolas para la producción de carne de esturión, pero principalmente por la producción de caviar. La extracción del caviar se realiza mediante la extracción manual de los huevos de la hembra, sin causarles daño, y posteriormente se procesan y envasan para su venta ([Productos Gourmet et al., 2017](#)).

Existen 28 tipos de esturión en el mundo, pero solo 7 son usados para la preparación del caviar, entre ellos el esturión beluga (*Huso Huso*). Desde el 2007 la venta de caviar salvaje en el mercado es ilegal, y desde 2009 la pesca del esturión está prohibida incluso para los fines científicos ([BOE-A-1942-2205 et al., 1942](#)), es por ello que se cultiva dado que la acuicultura es la mayor garantía para la preservación de la especie, garantizando así su continuidad, y para garantizar la trazabilidad y la calidad del producto.

El caviar es uno de los productos más caros del mercado debido a la tardía madurez para poder producirlo. Su precio varía según la marca y otras variables externas, pero normalmente va desde unos 70 euros por 30 gramos y 10.000 euros por kilogramo (**Fig 2**) ([Productos Gourmet et al., 2017](#)). Otro ejemplo sería en Riofrío (Granada - España), donde se produce el primer caviar ecológico del mundo que se vende a 8.000 euros el kilo ([Patricia Osuna et al., 2021](#)).

Los filetes de esturión són más baratos a diferencia del caviar; el precio de un filete de esturión rondaría entre 6 y 10€ unos 130 gramos, una pieza entera de aproximadamente 2 kilogramos sin limpiar podría tener un precio de 20€, pero actualmente en muchos establecimientos se encuentra fuera de stock.



Fig 2. Caviar ZAR Imperial de Beluga. Peso de 50 g a 200.00€ ([Arctic CRAB et al., 2023](#))

A pesar de la gran calidad gastronómica que nos proporciona el esturión, también es importante su cultivo y criación desde el punto de vista ecológico. En la actualidad, el esturión se encuentra en peligro de extinción en algunas partes del mundo debido a la sobreexplotación, la mala gestión pesquera y la falta de protección de sus áreas de reproducción, así como la contaminación ambiental excesiva ([FAO Fisheries and Aquaculture et al., 2017](#)). Es por eso que se está trabajando en su cría en acuicultura para reducir la presión sobre poblaciones silvestres y generar un impacto positivo en la biodiversidad de los ecosistemas fluviales en donde habita mejorando así su salud y ayudando a la conservación de otras especies que dependen de estos ecosistemas. De este modo se reduciría la captura de individuos en su hábitat natural, y evitar la disminución de poblaciones.

1.1.2 Danio Rerio

El pez cebra conocido por su nombre científico como **Danio rerio**, se trata de una especie de ciprínido (familia *Cyprinidae*) de pequeño tamaño, entre 3 y 5 cm de longitud, de agua dulce que se encuentra principalmente en los ríos del sudeste asiático, India y Bangladesh ([Peces de acuarios et al., 2019](#)). Su morfología incluye un cuerpo alargado y aplanado con un característico patrón de rayas horizontales vibrantes negras y blancas dando origen a su nombre; y haciéndolo muy llamativo y atractivo entre los acuarios domésticos.

A parte de su patrón de colores característico, tiene unos ojos muy grandes que se ubican en la parte superior de la cabeza, con una boca pequeña en la posición ventral del cuerpo, y unas aletas dorsal, anal y caudal largas y delgadas que las utiliza para la locomoción y el equilibrio.

Entre machos y hembras existen diferencias un tanto claras, relacionadas con la coloración y la forma de las aletas (**Fig 3**). En los machos, la aleta anal es más puntiaguda y tiene una coloración más intensa, mientras que en las hembras, esta aleta es más redondeada y tiene una coloración mucho más suave con un vientre plateado ([Peces de acuarios et al., 2019](#)).



Fig 3. Diferenciación visual entre machos (abajo) y hembras (arriba)

Debido a sus características mencionadas y por su fácil cuidado, esta especie es muy popular dentro del mundo de la acuariofilia, pero también se trata de un organismo modelo ampliamente utilizado en la acuicultura y destinado para la investigación biológica debido a su genética bien caracterizada, y al hecho de que sus embriones son transparentes, lo que permite observar su desarrollo a través del microscopio ([CNSA et al., 2022](#)). Se ha utilizado como modelo para el estudio de enfermedades humanas y probar terapias potenciales, ya que comparte muchos genes y procesos biológicos con los seres humanos, su genoma es similar en un 70% y más del 84% de los genes que causan enfermedades en el humano se encuentran también en el pez cebra ([CNSA et al., 2022](#)).

El uso del pez cebra en la investigación científica ha desempeñado roles significativos en los últimos años dentro de la investigación fundamental, como la ciencia evolutiva, la genética, la neurobiología y la biología del desarrollo ([CNSA et al., 2022](#)). Uno de los casos de estudio más interesantes que se ha realizado con este ejemplar, es la investigación de la enfermedad del Alzheimer.

Investigaciones recientes han descubierto que la microglía podría estar involucrada en el desarrollo de la enfermedad de Alzheimer ([proyecto INFLAMM-ALZ et al., 2020](#)). También se está investigando la genética entre especies e intentar conseguir que capacidades regenerativas como algunas células que tiene el pez cebra pudieran implementarse en células humanas.

1.2 Tiempos de reproducción - Optimización

1.2.1 *Huso Huso*

Algunos esturiones se cultivan en Europa desde hace algún tiempo, su reproducción en cautiverio es un proceso que requiere de experiencia y conocimientos especializados. Se trata de una especie de lento crecimiento y tardía madurez sexual, todo lo contrario a la anterior especie. En la naturaleza, se distinguen 3 etapas de desarrollo hasta la etapa adulta donde se alcanza la maduración sexual, donde los machos la alcanzan entre los 8 y 14 años de edad, mientras que las hembras tardan aún más y pueden madurar sexualmente entre los 10 y 24 años ([Dettlaff et al., 1993](#)).

Primeros estadios del desarrollo embrionario. Abarca desde el momento de la fecundación del huevo, hasta el momento de la eclosión, justo antes del estadio 36 ([Dettlaff et al., 1993](#)). En este estadio, los organismos son pequeños y dependen de su saco vitelino para obtener nutrientes, demostrando que son vulnerables y por lo tanto requieren de cuidados especiales para asegurar su supervivencia y crecimiento adecuado.

Embrión de vida libre. Abarca el periodo desde la eclosión hasta la reabsorción de la totalidad del saco vitelino (Estadios 37 – 45). Experimentando un crecimiento rápido y volviéndose más resistentes. Entre los 3 y 6 años de edad, las hembras se encuentran en la etapa previtelogénica, y en ese tiempo, los machos presentan una espermatogénesis temprana ([Falihatkar, B et al., 2013](#)).

Etapa juvenil. En esta etapa comienzan a alimentarse activamente y desarrollar su sistema locomotor. Una alimentación adecuada y unas condiciones ambientales favorables son esenciales para asegurar un crecimiento saludable y un desarrollo óptimo durante esta etapa hasta alcanzar la etapa final de la vida llegando a la etapa adulta, donde la madurez sexual se produce a los 14-16 años en los machos y a los 19-22 años en las hembras; alcanzando un tamaño alrededor de 6 metros y con un peso que supera los 1000 kg. Aunque se han reportado longitudes de hasta 8 metros y pesos de 3200 kg, pero normalmente, alcanzan entre 120 y 260 cm de longitud y un peso de hasta 363 kg ([FAO Fisheries and Aquaculture et al., 2017](#)).

En esta etapa final, la época de reproducción suele ocurrir en primavera, generalmente entre los meses de mayo y junio, dependiendo de la temperatura del agua ([D.N.A.T et al., 2007](#)). Tienen una fácil adaptación a ambientes de hipoxia y a diferentes niveles de salinidad del agua, dado que durante la época de puesta, los esturiones migran del mar hasta el río, ascendiendo a los sitios de desove donde depositan sus huevos en el fondo del río.

Una manera de reducir el tiempo entre generaciones podría ser a través de técnicas de alimentación intensiva y genética selectiva para identificar y crear individuos con características deseadas como por ejemplo para que crezcan más rápido y maduren a edades más tempranas. También mediante técnicas de manipulación ambiental de forma cuidadosa y con precaución, incluyendo la temperatura y la calidad del agua. En el momento de la reproducción, se extraen los gametos y se escoge el semen y las huevas más fértiles y se realiza una reproducción controlada donde en una semana después aproximadamente los huevos eclosionan ([E.F et., 2021](#)). En esos primeros diez días se alimentan de su saco vitelino y poco después de un crustáceo microscópico llamado Artemia Salina.

También es posible mediante la aplicación de hormonas gonadotropinas, como la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) y la hormona luteinizante (LH). Su aplicación se realiza a través de inyecciones en los individuos reproductores, actuando sobre el sistema endocrino de los peces y estimulando la maduración de los gametos y la liberación sincronizada de los óvulos y el esperma ([Leonardo Castañeda Martinez et al., 2009](#)).

En caso de no utilizar este anterior método, muchos investigadores están intentando probar y demostrar técnicas de manipulación de factores ambientales como la temperatura del agua, su calidad, la cantidad de alimento, o por procesos relacionados con el fotoperiodo para poder influenciar en la maduración sexual de los esturiones.

El control de estos factores podría ayudar a acelerar el proceso de maduración.

1.2.2 Danio Rerio

Es un organismo muy resistente y adaptable a diferentes condiciones ambientales y de cultivo que se puede criar fácilmente a gran escala y sobre todo a bajo coste. Pueden ser estimulados para reproducirse durante todo el año, tiene un ciclo de vida corto y bien caracterizado, sus tiempos de reproducción pueden variar dependiendo de diferentes factores como la temperatura del agua, la calidad del agua, la alimentación y las condiciones de iluminación.

El pez cebrá tiene un corto tiempo de generación al tener todos los precursores de los principales órganos después de 24 horas de fertilización, y generalmente alcanza la madurez sexual reproductiva dentro de los 3 a 6 meses posteriores a la fertilización, y llegando a alcanzar aproximadamente una longitud corporal de 23 mm y con un rango de peso de entre 0.5 a 0.7 y 0,95 gramos para machos y hembras respectivamente; y depositan alrededor de 200 a 300 huevos por semana ([Jing Ying Hoo et al., 2016](#)).

La reproducción de los *Danios rerio* se realiza a través de la fertilización externa de los huevos por el esperma liberado por los machos. Durante este período, los peces cebrá femeninos pueden poner huevos aproximadamente cada dos días, y su tiempo de incubación es de aproximadamente 24-48 horas, después de lo cual eclosionan en larvas de pez cebrá ([Zorayda Coello et al., 2017](#)). Los huevos son transparentes y se desarrollan rápidamente en condiciones óptimas en agua fresca y limpia.

Una manera de reducir el tiempo entre generaciones podría ser a través del uso de técnicas de reproducción asistida. Por ejemplo, se podrían utilizar técnicas de fertilización in vitro y de embriones para acelerar el proceso de reproducción.

Además, para aumentar la tasa de supervivencia de los huevos y reducir el tiempo de eclosión, se podrían utilizar métodos de incubación artificial en lugar de depender de que los huevos eclosionen de forma natural ([Camilo A. Prieto M et al., 2002](#)). También se podrían optimizar las condiciones de cultivo, como la alimentación, la temperatura y el suministro de oxígeno, para maximizar el crecimiento y la maduración de los peces; esto se conoce como un enfoque holístico.

- **Cambio de temperatura:** Se ha demostrado que un aumento gradual de la temperatura del agua puede estimular la maduración sexual y la puesta de huevos, entre 24°C a 28°C ([Jing Ying Hoo et al., 2016](#)).
- **Alimentación:** Una dieta rica en proteínas y lípidos con suplementos alimenticios, como la vitamina E, puede estimular el crecimiento y la maduración sexual ([Stephen A. Watts et al., 2021](#)).

Es bien sabido que los factores ambientales como la temperatura o la nutrición pueden afectar negativa o positivamente los procesos del ritmo circadiano para mantener la vida de los animales. En este caso de querer optimizar los tiempos de reproducción, se intenta buscar que afecte de manera positiva.

2. Materiales y métodos

Para realizar a cabo este estudio, se ha dividido en dos partes.

En la primera parte, se llevó a cabo una exhaustiva búsqueda bibliográfica con el objetivo de recopilar información relevante sobre diferentes casos de estudio relacionados con la especie *Huso huso*. El propósito principal fue seleccionar varios casos de estudio distintos que abordarán información sobre la producción de cultivo en acuicultura de esta especie y como mejorarla reduciendo su tiempo de producción.

De primera, la intención principal consistía en realizar una bioprogramación con el método SGR para poder observar los tiempos de producción y los tiempos optimizados, pero lamentablemente no existe tanta información posible para poder realizarlo, así que la intención final consistió en comparar estos casos de estudio y determinar cuál de ellos podría proporcionar un cultivo más productivo a un menor coste.

La búsqueda bibliográfica se realizó utilizando diversas bases de datos científicas y librerías, como Google Scholar, que pudieran ofrecer distintas fuentes de información. Se utilizaron palabras clave como "*Huso huso*", "SGR", "production table", "stock", "temperature" y otras relacionadas para identificar artículos científicos o estudios relevantes.

Se revisó el contenido de los artículos observados para evaluarlos según los objetivos de esta parte del estudio, y se seleccionaron 5 casos de estudio que proporcionarán información detallada y completa sobre la producción de cultivo de esturión beluga y abordaron aspectos relacionados con el crecimiento y la reducción del tiempo de producción.

Los casos de estudio seleccionados fueron analizados en detalle, extrayendo información relevante sobre los métodos utilizados, los parámetros de temperatura observados, los valores de SGR y los resultados obtenidos en cada caso.

Se realizó una comparación exhaustiva de los casos de estudio seleccionados, teniendo en cuenta los diversos parámetros de producción, las métricas de rendimiento y los costos asociados. Se analizaron las fortalezas y debilidades de cada caso, considerando su potencial para lograr una producción más eficiente a menores costos y tiempos, y sobre todo su viabilidad.

Los resultados de esta comparación se explicarán y presentarán más adelante de manera clara y ordenada, utilizando tablas para facilitar la comprensión de los resultados entre los diferentes casos de estudio. Se discutirán los resultados obtenidos de cada caso y se realizarán conclusiones sobre cuál de ellos podría ser la opción más adecuada para lograr una mayor productividad del cultivo de *Huso Huso*, aunque sería conveniente enfatizar que cualquier método puede adaptarse y personalizarse de acuerdo con las necesidades y los recursos disponibles para el estudio, asegurándose de seguir los principios de precisión científica y confiabilidad en la selección y análisis de los casos de estudio.

Para la segunda parte, se realizó otra búsqueda bibliográfica exhaustiva para obtener información relevante sobre los valores de la tasa de crecimiento específica (SGR) de la especie *Danio rerio* en diferentes casos tratados con distintos niveles de temperatura.

El objetivo principal fue utilizar estos valores para llevar a cabo una bioprogramación que permita estimar un peso final aproximado en el cual los peces alcancen la maduración sexual y sean capaces de reproducirse en un entorno de acuicultura, dentro de un sistema de cultivo intensivo que está basado en la premisa de utilizar un mínimo de recursos terrestres e hídricos mientras se obtiene el máximo beneficio para los productores.

Del mismo modo que en la primera parte, la búsqueda bibliográfica se llevó a cabo en distintas bases científicas y bibliotecas digitales. Se utilizaron palabras clave en el buscador como "*Danio rerio*" o "zebrafish", "SGR", "temperature", "reproduction" y "production table" para identificar artículos científicos, tesis o libros para encontrar alguna fuente de información relevante. Se revisaron los contenidos y resúmenes de los documentos, y páginas web seleccionadas, que se pueden apreciar dentro de la Bibliografía de este trabajo. Cada uno de los artículos seleccionados proporcionaron una considerable información sobre los valores de SGR de *Danio rerio* en diferentes niveles de temperatura y su relación con la tasa de crecimiento específico.

Estos datos fueron recopilados en una tabla para su posterior análisis.

A partir de estos datos extraídos, se llevó a cabo una bioprogramación utilizando una serie de cálculos para estimar un peso final aproximado en el cual los peces alcanzan la maduración sexual y se vuelven aptos para reproducirse.

2.1 Desarrollo

A lo largo de este trabajo, destaca la variable **SGR**, por sus siglas en inglés "Specific Growth Rate" que significa Tasa de Crecimiento Específico, utilizada a como palabra clave en la búsqueda bibliográfica para encontrar los distintos valores de esta variable en diversos casos de estudio y recopilarlos en una misma hoja.

Esta variable es una medida importante utilizada en las producciones acuícolas para evaluar la tasa de crecimiento en términos de peso o longitud, y el rendimiento de los organismos acuáticos cultivados, calculandose como el cambio en el peso corporal dividido por el tiempo transcurrido, expresado como un porcentaje por día ([H Dutta et al., 2019](#)). La SGR proporciona información sobre la velocidad a la que un pez está creciendo en relación con su tamaño inicial.

Una mayor SGR indica un crecimiento más rápido y eficiente, lo que puede ser deseable para la producción acuícola, en otras palabras, se utiliza la SGR a modo de herramienta para poder evaluar el rendimiento de los cultivos y comparar diferentes estrategias de manipulación ambiental, de alimentación o tratamientos de peces ([Derek P. Crane et al., 2019](#)). Ayuda mucho en el manejo y la toma de decisiones en la acuicultura, permitiendo ajustar las prácticas de alimentación y optimizar el crecimiento de los individuos que se están cultivando.

El crecimiento medio de la población con un período de determinado en días viene derivada de la fórmula de la SGR ([FFF et al., 2021](#)), y se expresa mediante la siguiente expresión:

$$Pf = Pi * (1 + \frac{\alpha}{100})^t$$

Donde “*Pf*” es el peso final del organismo al final del período; “*Pi*” es el peso inicial del organismo al inicio del período; “ α ” es el valor de SGR; y “*t*” es el tiempo transcurrido en días en nuestro caso se decidió utilizar un tiempo de 7 días para poder observar los crecimientos semanalmente.

Es importante destacar que la SGR puede variar según la especie y la edad, lo que significa que los individuos más grandes pueden tener una tasa de crecimiento más lenta que los más jóvenes ([H Dutta et al., 2019](#)); la temperatura del agua, la calidad del alimento y otros factores ambientales. Por lo tanto, es necesario considerar estas variables al interpretar y comparar los valores de SGR en diferentes estudios o sistemas de producción acuícola.

2.2 H.Huso

A partir de la búsqueda bibliográfica realizada con entendimiento y atención en las palabras clave como la SGR, se han recopilado varios casos de estudio que se muestran a lo largo de la **Tabla 2**, mostrando los valores extraídos de la SGR, la Temperatura y el peso inicial con el que se empezó el estudio; con el fin de valorar distintos métodos o tratamientos que se podrían implementar en un cultivo intensivo de esturión beluga para acelerar el crecimiento hasta la maduración sexual de la especie y para mejorar su puesta, dado que de ahí es donde se obtendría más adelante el caviar, y por lo tanto es necesario no perjudicar el cultivo o provocar una disminución en la calidad del caviar. Fomentar el crecimiento y la resistencia a enfermedades en organismos de acuicultura son dos de las preocupaciones más importantes a tener en cuenta.

A partir de la información obtenida se seleccionarán 4 casos de estudio donde se le hará un análisis explicativo a cada uno sobre el propio caso para posteriormente discutir cuál de los casos seleccionados sería el más óptimo para alcanzar la maduración sexual a un menor tiempo de producción.

2.3 D.Rerio

A través de una exhaustiva búsqueda bibliográfica centrada en palabras clave como SGR, se han recopilado varios estudios de casos relacionados con el crecimiento y la resistencia a enfermedades en *Danio rerio*. Los resultados de estos estudios se presentan en la **Tabla 10**, incluyendo los valores de SGR, temperatura y peso inicial utilizados en cada estudio reunido.

El objetivo de esta recopilación consiste en la obtención de varios valores de SGR a diferentes niveles de temperatura para poder realizar posteriormente un estudio de crecimiento mediante una técnica de bioprogramación sobre un cultivo de pez cebra, donde se emplearán cálculos relacionados con el peso de los individuos a partir de la expresión del Peso final (“*Pf*”) mencionada anteriormente para alcanzar un peso cercano a la etapa de maduración y reproducción, y obtener un mejor manejo de la producción.

3. Resultados y discusiones

3.1 Casos de estudio - *H.Huso*

<i>Huso Huso</i> (estudios)	SGR (% / day)	Temperature (°C)	Peso inicial (g)
Se realizó un experimento de alimentación de 8 semanas para investigar el uso de prebióticos dietéticos y sus efectos en el rendimiento de crecimiento y la microflora intestinal. ① [Akrami Reza et al., 2009]	2.44 ± 0.23	27.45 ± 1.28	16.79 ± 0.47
El crecimiento y la supervivencia de los esturiones grandes jóvenes se determinaron a 3 tasas de alimentación y 3 frecuencias de alimentación diferentes. ② [M. Mohseni et al., 2007]	0.8 ± 0.1	23 ± 1,5	90.0 ± 9,2
Se intentó determinar el efecto de la densidad de siembra en la calidad del agua y evaluar el efecto de los cambios en el crecimiento de los juveniles de esturión beluga. ③ [Rafatnezhad S., Falahatkar B et., 2011]	2.6 ± 0.03	23.09 ± 0.50	93.13 ± 1.04
Se investigó el rendimiento de crecimiento, y los índices neurofisiológicos en juveniles de esturión grande (<i>H.huso</i>) alimentados con el prebiótico comercial Immunoster (IS). [Reza Taati et al., 2010]	1.99 ± 0.87	20,55 ± 5,11	95,68 ± 10,05
Con el fin de mejorar la alimentación y el crecimiento de los juveniles de esturión, se examinaron los efectos de diversas fuentes de lípidos en la alimentación. ④ [H. Ahmadi Fackjouri et al., 2011]	0.7 ± 0.1	15 ± 0.4	213.2 ± 4.7

Tabla 2. Recopilación de valores de SGR y Temperatura de grupos control, en distintos casos de estudio realizados con *H.Huso*.

3.1.1 Estudio 1

Este segundo estudio propone un mejoramiento del crecimiento y a la vez la resistencia a enfermedades en los organismos de acuicultura en general, mediante el uso de suplementos de prebióticos y probióticos junto a las dietas ([Akrami Reza et al., 2009](#)), para mejorar la formulación de los alimentos utilizando ingredientes naturales para maximizar la retención de nutrientes, la tasa de conversión alimenticia, la digestibilidad de los nutrientes, y minimizar la mortalidad de los peces en condiciones de cría libres de antibióticos. En este estudio, se llevó a cabo un experimento de alimentación de 8 semanas para investigar el efecto del prebiótico “*inulina*” en el rendimiento del crecimiento, la microflora intestinal, la composición corporal y los parámetros hematológicos de juveniles de *H.Huso*.

Los prebióticos se definen como ingredientes alimentarios, concretamente carbohidratos (clasificados en monosacáridos, oligosacáridos y polisacáridos), no digeribles que afectan favorablemente al huésped al estimular de forma selectiva el crecimiento y/o la activación de una o un número limitado de bacterias en el intestino que pueden mejorar el estado de salud del huésped ([Nieves Corzo et al., 2015](#)), y favorecen al crecimiento de bacterias lácticas ácido saludables (**LAB**) capaces de reducir la proliferación de microorganismos patógenos ([Roberfroid & Salvin et al., 2000](#)).

El prebiótico inulina es un ingrediente alimentario en polvo que contiene principalmente fructanos β (2 \rightarrow 1) polidispersos y se encuentra en muchos alimentos de origen vegetal ([Leanne Edermaniger., et al 2023](#)), estos muestran propiedades inmunomoduladoras e incrementan la tasa de supervivencia. El grado de polimerización de los fructanos Raftifeed IPS (una forma estándar de inulina de achicoria) varía de 2 a 60; el resto de componentes consisten en glucosa, fructosa y sacarosa.

Se crearon cuatro dietas experimentales para probar la influencia de Raftifeed IPS en el rendimiento del crecimiento del esturión. Se utilizó una dieta control (Dieta A) que incluía un 3% de polvo de celulosa, y en el resto de dietas (B, C, D) se sustituyó la celulosa por inulina Raftifeed IPS. Las dietas utilizaban la harina de pescado de Kilka como fuente de proteínas, dextrina como carbohidrato dietético y aceite de pescado y aceite de soja como fuentes de lípidos.

Se aclimataron los esturiones juveniles previamente durante 1 semana y se distribuyeron al azar en 12 tanques de fibra de vidrio (2 m \times 2 m \times 0.45 m), quedando 50 peces en cada tanque. Los tanques estaban conectados a un sistema de circulación continua y estaban proporcionados por una aireación continua. Los parámetros del agua se mantuvieron en buenas condiciones para optimizar mejor el rendimiento: el oxígeno disuelto ($4,85 \pm 0,66$ mg/L), la temperatura ($27,45 \pm 1,28$ °C), el pH ($8,2 \pm 0,52$) y la salinidad ($1,61 \pm 0,56$ g/L). A lo largo del ensayo, que duró 8 semanas, los esturiones fueron alimentados 5 veces al día (6h, 9h, 13h, 16h, 20h) y se registraban los pesos de los individuos una vez cada 2 semanas aproximadamente para registrar el crecimiento que iban teniendo los esturiones y así poder determinar mejor la ración diaria. Los datos se reunieron y se dividió el ensayo en 2 partes de 4 semanas cada una (**Fig 4**).

Al pasar las 8 semanas, antes de registrar los datos finales, dejaron a los peces en ayunas durante 24 horas. Se registraron los pesos y longitudes finales, y se extrajeron 3 mililitros de sangre de la vena caudal de 5 peces de cada embalse como muestra para analizar el suero sanguíneo y determinar los valores de proteína, colesterol, glucosa, triglicéridos, albúmina, bilirrubina, ácido úrico, creatinina y algunas enzimas hepáticas (fosfatasa alcalina (ALP)). Al mismo tiempo, se estudiaron los parámetros hematológicos y se midieron los valores de células blancas (WBC), células rojas (RBC), hematocrito (PCV), hemoglobina (Hb), entre otras.

Por otra parte, se utilizaron muestras para el análisis de las bacterias intestinales mediante extracciones del tracto intestinal (fueron sacrificados 3 peces para realizar este método). Estas extracciones fueron pesadas y diluidas en suero estéril [0,85% (p/v) de NaCl] en serie hasta 10^{-7} ; más tarde se sembró por triplicado en agar de soya tripticosa (TSA) y agar de nutrientes (NA), y utilizaron el agar DeMan, Rogosa y Sharpe (MRS) para detectar LAB.

Las placas se incubaron a temperatura ambiente (25 °C) y se examinaron e identificaron las muestras según el manual de bacteriología sistemática de Bergey ([Peter H.A. Sneath et al., 2001](#)).

Al final del ensayo, y tal como se muestra en la **Tabla 5** del documento, no se revelaron diferencias significativas entre los organismos alimentados con la dieta basal A del resto de dietas mezcladas con inulina prebiótica. Estadísticamente se puede observar que las tasas de crecimiento específico (SGR) y las ingestas de alimento fueron menores en las dietas con prebióticos, sobre todo con un porcentaje mayor de inulina. A su vez, los datos de supervivencia disminuyen en gran medida con las dietas de inulina llegando a disminuir hasta un 5% (80% al 75,3%), porcentajes que se deben de tener en cuenta y cuidado a la hora de los ensayos de acuicultura, sin embargo hubo un resultado prometedor con niveles de inulina del 1%, dado que hace a los organismos presentar valores más altos de glóbulos blancos (WBC) y los hace ser más resistentes a enfermedades (los niveles de supervivencia ascendieron un 5%).

Performance indices	Basal diet (A)	1% Inulin (B)	2% Inulin (C)	3% Inulin (D)
Initial weight (g)	16.79 ± 0.47	16.09 ± 1.4	16.66 ± 0.87	16.19 ± 0.28
Final weight (g)	71.25 ± 5.18 ^a	60.54 ± 2.01 ^{bc}	64.57 ± 6.85 ^{ab}	53.46 ± 3.43 ^c
Weight gain (%)	325.12 ± 41.37 ^a	277.76 ± 25.3 ^{ab}	286.86 ± 22.58 ^a	229.98 ± 15.38 ^b
Feed intake (%/day)	2.17 ± 0.05	2.12 ± 0.1	2.16 ± 0.06	2.14 ± 0.03
SGR (%/day)	2.44 ± 0.23 ^a	2.21 ± 0.11 ^{ab}	2.25 ± 0.1 ^{ab}	1.99 ± 0.07 ^b
FCR	2.76 ± 0.46	2.79 ± 0.23	2.95 ± 0.45	3.43 ± 0.13
Feed efficiency (%)	37 ± 6.92	36.02 ± 2.64	34.37 ± 4.62	29.23 ± 1.16
PER	1.1 ± 0.09 ^a	1.04 ± 0.06 ^{ab}	0.98 ± 0.11 ^{ab}	0.9 ± 0.06 ^b
Protein retention	0.94 ± 0.1 ^a	0.84 ± 0.05 ^{ab}	0.77 ± 0.08 ^b	0.76 ± 0.04 ^b
Energy retention	0.47 ± 0.06 ^a	0.40 ± 0.02 ^{ab}	0.39 ± 0.04 ^b	0.34 ± 0.02 ^b
Survival (%)	80 ± 7.21	85.3 ± 5.03	75.3 ± 4.16	75.3 ± 3.05
CF	0.33 ± 0.01	0.34 ± 0.01	0.32 ± 0.01	0.34 ± 0.01
HSI	3.17 ± 0.74	3.65 ± 0.81	3.21 ± 0.89	3.29 ± 0.62

Values (mean ± SD of three replications) in each row not sharing a common superscript are significantly different ($P < 0.05$).

Tabla 5. Desempeño de crecimiento de juveniles de beluga en el ensayo de alimentación de 8 semanas

El recuento total de bacterias intestinales aumentó durante las primeras 4 semanas en todos los tratamientos alimenticios (**Fig 5**). Los niveles de TSA y NA no fueron significativamente diferentes a lo largo de las primeras semanas, la única diferencia se mostró en el tercer caso de inulina 3% donde fue menores los niveles de agar de nutrientes (NA). Durante las siguientes 4 semanas, el nivel de bacterias totales disminuyó en todos los tratamientos pero sin mostrar grandes diferencias significativas en cuanto al recuento total de bacterias en ambos medios.

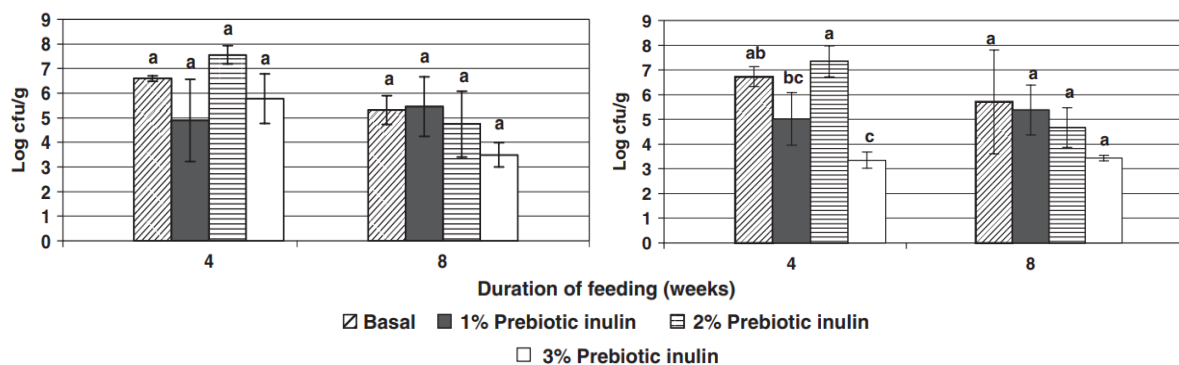


Fig 5. Niveles totales de bacterias (log CFU/g de contenido intestinal) en medio TSA y NA respectivamente.

Por contraste, el número de bacterias de ácido láctico (LAB) no siguió el mismo patrón (Fig 6). Estas aumentaron en las dietas experimentales B y C de inulina 1 y 2% a lo largo de todo el ensayo. En el intestino grueso, cuando se fermenta la inulina y los oligofruktanos, esto provoca que aumente los niveles de ácidos grasos de cadena corta y ácido láctico provocando una disminución del pH; estas son condiciones óptimas que promueven el crecimiento de las bacterias ácido lácticas.

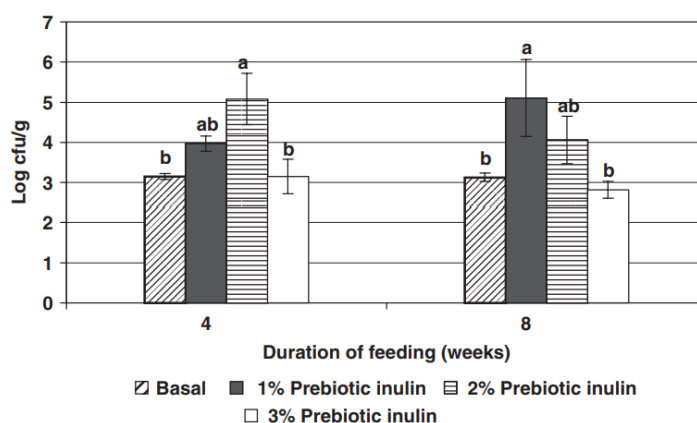


Fig 6. Total de bacterias ácido lácticas (log UFC/g de contenido intestinal)

El concepto de prebióticos se ideó por la observación de que la inulina y los oligofruktanos estimulan selectivamente el crecimiento de bifidobacterias, que se consideran beneficiosas para la salud humana, es por ello que los experimentos y los resultados de este tipo de estudios pueden ayudar tal vez no a incrementar los pesos y las tasas de crecimiento, pero sí a prevenir diferentes tipos de enfermedades y mantener una buena salud de los cultivos durante los procesos de cría y crianza.

La información sobre prebióticos en organismos acuáticos es muy limitada. Se conoce que los oligosacáridos de manano (MOS), carbohidratos complejos derivados de las paredes celulares de las levaduras, contienen manosa que se utiliza como el principal elemento con efectos beneficiosos sobre el crecimiento del ganado, cerdos y especies aviares. Es por eso que cada vez existen investigaciones donde se intenta probar y demostrar, en caso de existir, los beneficios de utilizar prebióticos en la acuicultura.

Otro estudio, similar al caso recién explicado, intentó probar la validez de utilizar un prebiótico comercial e inmunoestimulante (Immunoster™ (IS)), que contiene MOS y β -glucanos, en un estudio con esturiones ([Reza Taati et al., 2011](#)), tal como se explica en la **Tabla 2**. IS se considera un inmunopotenciador debido a su potencial contenido de β -1,3 glucanos. El uso de inmunopotenciadores es una estrategia importante en acuicultura. Algunos componentes alimentarios como las vitaminas, por ejemplo, la vitamina C y E, quitina, quitosano y varios tipos de glucanos como el glucano de levadura, péptido-glucano y β -1,3 glucano, se han utilizado como inmunopotenciadores en peces ([Timothy J. Bruce et al., 2017](#)).

Este estudio realizado en el Centro de Esturiones Dr. Dadman, Rasht, Irán, en 2009. El estudio se realizó de forma similar al estudio de la inulina, distribuyendo al azar esturiones en 9 tanques y manteniendo los parámetros de la temperatura del agua, la concentración de oxígeno y el valor de pH en $20.55 \pm 5.11^{\circ}\text{C}$, $6.73 \pm 0.35 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ y 7.92 ± 0.09 , respectivamente. Utilizaron 3 dietas, una dieta basal de control, y otras dos dietas mezcladas con el prebiótico IS en dos niveles (1 y 3%).

El estudio revelado en la **Tabla 6**, demostró que los esturiones alimentados con IS al 1% y 3% tuvieron un mejor rendimiento de crecimiento durante el período de alimentación de 8 semanas, donde el peso y longitud finales, el BWI, el SGR, el FCR, el PER y el CF se vieron afectados significativa y positivamente por el IS al 3% en comparación con el IS 1% y el grupo de control. Además de un positivo incremento y mejoría en los índices de crecimiento, los resultados también mostraron resultados positivos en los parámetros hematológicos, sobretodo en los niveles de glóbulos blancos; estos incrementos y del mismo modo que ocurrió en los mostrado en el experimento con inulina, ayudan a los organismos a resistir diferentes tipos de enfermedades, y por lo tanto sus niveles de supervivencia en los cultivos se verán positivamente afectados, mejorando la salud de los individuos.

Growth index	Control	IS 1%	IS 3%	P-value
Initial weight (g)	95.08 \pm 10.30 ^a	96.32 \pm 9.82 ^a	95.65 \pm 10.11 ^a	0.710
Final weight (g)	290.28 \pm 58.23 ^a	306.51 \pm 58.18 ^a	354.17 \pm 57.28 ^b	0.000
Initial length(cm)	30.84 \pm 1.09 ^a	30.96 \pm 0.89 ^a	30.85 \pm 1.11 ^a	0.655
Final length (cm)	42.26 \pm 2.57 ^a	42.67 \pm 2.20 ^a	44.52 \pm 2.34 ^b	0.000
BWI (%)	207.15 \pm 13.85 ^a	219.52 \pm 19.78 ^a	271.08 \pm 10.68 ^b	0.005
SGR (% day ⁻¹)	1.99 \pm 0.87 ^a	2.06 \pm 0.11 ^a	2.34 \pm 0.51 ^b	0.006
FCR	1.70 \pm 0.10 ^b	1.58 \pm 0.11 ^b	1.30 \pm 0.49 ^a	0.005
PER	1.39 \pm 0.08 ^a	1.52 \pm 0.10 ^a	1.84 \pm 0.06 ^b	0.001
CF	0.38 \pm 0.005 ^a	0.39 \pm 0.005 ^{ab}	0.41 \pm 0.010 ^b	0.021
HSI (%)	3.59 \pm 0.37 ^a	3.38 \pm 0.35 ^a	3.66 \pm 0.38 ^a	0.404

Means in the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05)

Tabla 6. Rendimiento de crecimiento de *Huso huso* en el ensayo de alimentación de 8 semanas (N=90 por tratamiento para los índices de crecimiento y N=6 por tratamiento para el HSI)

3.1.2 Estudio 2

La tasa de alimentación es otro de los factores importantes e incluso críticos que afectan el crecimiento de los peces y determinan la viabilidad económica de una especie tanto para las producciones acuícolas como para los esfuerzos de restauración.

Este estudio quiso evaluar el rendimiento de crecimiento y la conversión alimenticia para individuos juveniles de esturión beluga mediante un ensayo de alimentación utilizando solamente tres tasas y frecuencias de alimentación diferentes ([M. Mohseni et al., 2007](#)), dado que los costes de alimentación son el mayor gasto operativo en las empresas acuícolas. La idea consistía en encontrar las frecuencias óptimas de alimentación para aumentar la producción y los beneficios operativos, para minimizar problemas de sobrealimentación que podrían causar deterioros en la calidad del agua y la proliferación de enfermedades mortales para las especies.

Para realizar el ensayo, se prepararon 18 tanques (2 m × 2 m × 0,5 m) donde fueron distribuidos 10 individuos juveniles de esturión beluga, de 1 año de edad y un peso inicial de 90 gramos, por tanque, tras un proceso de aclimatación previa de dos semanas a las condiciones experimentales, y a la alimentación con una dieta de prueba. Posteriormente los parámetros de temperatura y oxígeno disuelto fueron establecidos y controlados constantemente a lo largo del ensayo ($23 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ y $7.4 \pm 0.6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$).

El diseño del estudio incluyó tres tasas de alimentación (2, 3 y 4% del peso corporal por día) y tres frecuencias de alimentación, dividiendo la ración diaria en 3, 4 y 5 porciones a lo largo del día, con dos réplicas para cada tratamiento durante 16 semanas:

- **Ración de 3 porciones:** El alimento fue ofrecido a las 08:00, 16:00 y 24:00 horas.
- **Ración de 4 porciones:** El alimento fue ofrecido a las 08:00, 13:00, 18:00 y 24:00 horas.
- **Ración de 5 porciones:** El alimento fue ofrecido a las 08:00, 12:00, 16:00, 20:00 y 24:00 horas.

Las dietas que se utilizaron fueron compuestas de fórmula fija de acuerdo con los métodos de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales ([Philip Feldsine, et al 2002](#)) con contenidos de un 10-11% de humedad, un 40-42% de proteína, un 12-14% de lípidos, un 10% de cenizas y un 19.5% de nitrógeno, con un contenido energético de 20-21 KJ*kg⁻¹.

Al final del ensayo, pasadas las 16 semanas, y después de un ayuno de 24 horas, se anestesiaron los peces con 200 ppm de aceite de clavo y se registraron los pesos corporales y las longitudes totales para calcular las variables de crecimiento, hacer el posterior análisis de resultados sobre las interacciones entre las tasas de alimentación y las frecuencias de alimentación descritas en la **Tabla 7**.

Los resultados muestran que el grupo de control, correspondiente a los peces que recibieron una ración del 2% del peso corporal por día, acabaron con pesos finales mayores con respecto a los otros dos grupos del 3 y 4% respectivamente. A su vez, los del grupo de control obtuvieron mejores ganancias de peso durante las primeras repeticiones de raciones, correspondiente a las raciones de 3 y 4 porciones, a diferencia de la ganancia resultante de 5 porciones de ración, donde el peso final es mucho menor y significativamente similar al resto de grupos.

Feeding rate (% BWday ⁻¹)	Feeding frequency	Final wt (g)	BWG (%)	FCR	CF	SGR (% day ⁻¹)
2	3 ×	2128.8 ± 14.7 ^a	131 ± 7.8 ^a	1.5 ± 0.03 ^a	0.82	0.8 ± 0.1 ^a
	4 ×	2119.5 ± 1.4 ^a	132.8 ± 1.2 ^a	1.5 ± 0.0 ^a	0.83	0.8 ± 0.1 ^a
	5 ×	1968.4 ± 34.3 ^b	133.4 ± 7.8 ^a	1.5 ± 0.1 ^a	0.84	0.8 ± 0.1 ^a
3	3 ×	2004.3 ± 5.5 ^b	128.4 ± 0.63 ^a	1.5 ± 0.0 ^a	0.78	0.9 ± 0.1 ^a
	4 ×	1975.4 ± 1.1 ^b	123.0 ± 1 ^a	1.5 ± 0.0 ^a	0.87	0.8 ± 0.0 ^a
	5 ×	1955.1 ± 1.0 ^b	115.0 ± 1 ^a	2.1 ± 0.3 ^a	0.83	0.7 ± 0.1 ^a
4	3 ×	1996.4 ± 75.5 ^b	118.2 ± 8.02 ^a	3.4 ± 0.5 ^b	0.80	0.8 ± 0.1 ^a
	4 ×	1990.6 ± 14.8 ^b	118.1 ± 1.62 ^a	3.5 ± 0.1 ^b	0.75	0.8 ± 0.1 ^a
	5x	1972.1 ± 15.5 ^b	117 ± 17.2 ^a	3.5 ± 0.1 ^b	0.78	0.7 ± 0.1 ^a

Tabla 7. Desempeño de crecimiento con diferentes cantidades de alimento al día (expresadas como % del peso corporal por día) y diferentes números de porciones por comida (frecuencias de alimentación)

La frecuencia de alimentación no presentó ninguna influencia con respecto al crecimiento en la longitud durante todo el experimento. Se obtuvieron resultados similares para los otros grupos alimentados con el 3% y el 4% del peso corporal por día (**Fig 7**). Tampoco hubo diferencias significativas en los valores de SGR obtenidos entre los tratamientos. En relación a la conversión alimenticia (FCR), hubo diferencias significativas entre los tratamientos del 2 y 3% del peso corporal, sin embargo los valores fueron mayores cuando se ofreció el tratamiento del 4%.

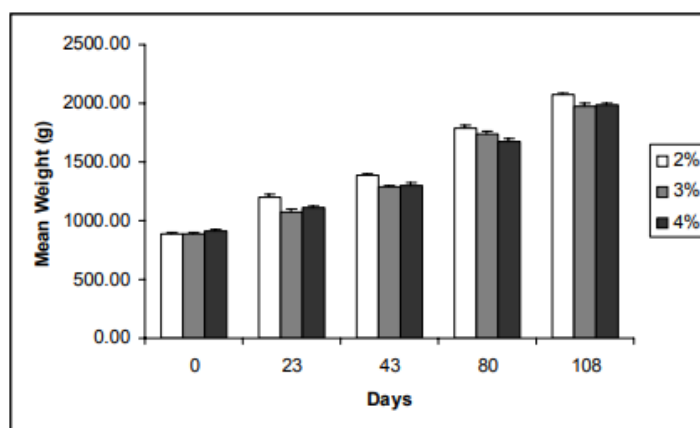


Fig 7. Los datos representan el peso corporal promedio combinado de todos los tratamientos para cada ración

Los resultados mostraron que aumentar la frecuencia diaria de alimentación de 3 a 5 no era compatible con los ritmos de alimentación del esturión beluga (*H. Huso*) en un rango de tamaño de 899 a 2200 gramos de peso, y por lo tanto no proporcionaba beneficios en términos de crecimiento. Hubo un crecimiento rápido inicial a niveles de alimentación del 2% por parte de los individuos, pero más tarde el crecimiento fue muy lento y casi constante.

Se cree que quizás hubiera sido recomendable hacer un tiempo más prolongado de pre acostumbamiento a las condiciones experimentales; o haber tenido en cuenta otros factores como la variación en el entorno físico o los cambios en el ciclo de luz, dado que podrían desempeñar un papel más adecuado en el ajuste de horarios de alimentación.

3.1.3 Estudio 3

El primer estudio a analizar se realizó en el Complejo de Propagación y Cría de Peces Esturión Shahid Dr. Beheshti, en Rasht, Guilan, Irán ([Rafatnezhad S et., 2011](#)) donde querían optimizar el crecimiento del gran esturión a partir de compuestos nitrogenados y concentraciones de oxígeno como principales factores dependientes de la densidad. El cultivo intensivo de animales acuáticos es una importante responsable de la deterioración de la calidad del agua debido a la excreción metabólica de los organismos en el entorno acuático.

Se distribuyeron esturiones al azar en 15 tanques a 5 densidades diferentes con 3 réplicas, donde se midieron los parámetros de calidad del agua incluyendo amoníaco (NH₃), nitrito (NO₂), nitrato (NO₃), oxígeno disuelto (DO), sólidos disueltos totales (TDS) y sólidos suspendidos totales (TSS), saturación de oxígeno (OS), ortofosfatos (PO₄-P) mostrados en la **Tabla 3**; y se calcularon la tasa de crecimiento específico (SGR), el rendimiento (Y), el crecimiento diario promedio (ADG), la ganancia de peso absoluta (AWG) y la ganancia de peso relativa (RWG) respectivamente para cada densidad durante 56 días de cultivo.

Stocking density [kg·m ⁻³]	DO [mg·L ⁻¹]	OS [%]	pH	T [°C]	NO ₂ [mg·L ⁻¹]	NO ₃ [mg·L ⁻¹]	NH ₃ [mg·L ⁻¹]
1	7.8 ± 0.36 ^a	87.4 ± 1.84 ^a	8.05 ± 0.01	23.09 ± 0.50	0.00 ± 0.00 ^c	2.62 ± 0.12 ^b	0.42 ± 0.08 ^b
2	7.2 ± 0.20 ^a	82.5 ± 2.05 ^a	8.04 ± 0.00	22.95 ± 0.47	0.00 ± 0.00 ^c	3.12 ± 0.17 ^{ab}	0.55 ± 0.05 ^{ab}
4	5.7 ± 0.04 ^b	65.6 ± 0.36 ^b	8.00 ± 0.01	22.52 ± 0.24	0.01 ± 0.01 ^{bc}	2.90 ± 0.13 ^{ab}	0.52 ± 0.09 ^{ab}
6	5.1 ± 0.10 ^{bc}	59.3 ± 0.35 ^{bc}	8.07 ± 0.00	22.66 ± 0.47	0.05 ± 0.01 ^{ab}	3.53 ± 0.19 ^a	0.72 ± 0.01 ^a
8	4.7 ± 0.19 ^c	54.1 ± 1.87 ^c	8.10 ± 0.05	22.88 ± 0.49	0.08 ± 0.01 ^a	3.36 ± 0.24 ^{ab}	0.73 ± 0.03 ^a

DO = dissolved oxygen, OS = oxygen saturation, T = temperature, NO₂ = nitrite, NO₃ = nitrate, NH₃ = ammonia, Means identified by a different superscript in the columns (a, b, c) were significantly different ($P \leq 0.05$) as determined by ANOVA and Tukey's test for each parameter; Values are mean ± SE.

Tabla 3. Parámetros físico-químicos del agua de entrada a diferentes densidades durante el cultivo.

Es bien sabido que el amoníaco es el principal producto final del metabolismo del nitrógeno en los teleósteos y existe en formas ionizadas (NH₄⁺) y no ionizadas (NH₃) ([Rafatnezhad S et al., 2011](#)); esta última forma es la que se asocia con la toxicidad para los peces, aunque la tolerancia a su exposición crónica puede variar según la clase de especie, pero con valores de umbral que causan efectos negativos en el crecimiento a largo plazo.

Los esturiones cuentan con una orientación bentónica y debido a este factor, el área del tanque (m²) se le considera un aspecto más importante y crítico que el volumen del propio tanque (m³), por lo tanto, las densidades del cultivo son un elemento importante a tener en cuenta ([Fajfer et al., 1999](#)). Este estudio tuvo el objetivo de determinar el efecto de diferentes densidades de siembra de juveniles de esturiones beluga en los parámetros de calidad del agua mencionados, pero enfocado más a los compuestos nitrogenados y a la concentración de oxígeno disuelto.

En el estudio se utilizaron especímenes juveniles de esturión beluga con pesos iniciales de 93 gramos adaptados a una dieta comercial artificial, alimentados 3 veces al día y diseñada especialmente teniendo en cuenta la palatabilidad, y los requisitos nutricionales de la especie. Fueron distribuidos en los 15 tanques de fibra de vidrio de 2 × 2 × 0.5 m, con una tasa de flujo de agua de 33.6 ± 1.0 L·min⁻¹ proveniente del río Sefidroud.

La distribución se realizó de tal forma que el número de peces para cada tratamiento fue de 44, 80, 164, 239 y 323 en densidades de 1 a 8 kg·m⁻², respectivamente, donde el tanque con densidad de 1 kg·m⁻² era el grupo de control. Los tanques estuvieron uniformemente equipados y aireados y se mantuvo a lo largo del período una temperatura del agua de 22,8 ± 0,7°C después del proceso de aclimatación de los individuos a los tanques. A parte, se utilizó un tanque extra experimental sin peces para poder monitorear los parámetros de la calidad del agua.

A lo largo del experimento, las tasas de alimentación se ajustaron quincenalmente para aumentar el peso promedio de los organismos; se registró el peso corporal y la longitud total en las biometrías en intervalos de 2 semanas y se calcularon los parámetros mencionados anteriormente: la tasa de crecimiento específico, el rendimiento, el crecimiento diario promedio, la ganancia absoluta de peso y la ganancia relativa de peso. En cuanto a la calidad del agua, se midieron los parámetros necesarios utilizando el flujo de entrada y salida de cada tanque experimental, juntamente con una medida del pH. Se recolectaron diferentes muestras de agua de cada embalse para la determinación de diferentes tipos de compuestos nitrogenados.

En los resultados se explica que se mantuvieron los parámetros de temperatura y pH en los rangos de tolerancia óptimos para el crecimiento de los organismos durante todo el período (22,3 - 23 °C y 8,0 respectivamente); y se observaron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos de densidades con respecto a los valores de oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, nitrito y nitrato. En los términos de crecimiento y biomasa final se observó que fueron muy diferentes todos los parámetros de crecimiento entre los tratamientos tal como se puede observar en la **Tabla 4**, de hecho, se podría afirmar que se vió afectada por los niveles de densidad, aún así se informó que la supervivencia de los especímenes fue total para todas los casos de crianza.

Stocking density [kg·m ⁻²]	Initial weight [g]	Final weight [g]	Initial length [cm]	Final length [cm]	SGR [%day ⁻¹]	Yield [kg·m ⁻²]	ADG [%]	AWG [g·fish ⁻¹ ·day ⁻¹]	RWG [%day ⁻¹]	Survival [%]
1	93.13 ± 1.04	362.4 ± 6.9 ^a	29.71 ± 0.12	44.0 ± 0.28 ^a	2.6 ± 0.03 ^a	3 ± 0.07 ^c	5.16 ± 0.13 ^a	3.63 ± 0.15 ^a	3.90 ± 0.16 ^a	100
2	93.13 ± 1.04	319.7 ± 2.1 ^b	29.71 ± 0.12	41.0 ± 0.19 ^b	2.4 ± 0.01 ^b	4.5 ± 0.01 ^d	4.34 ± 0.04 ^b	3.02 ± 0.13 ^b	3.24 ± 0.14 ^b	100
4	93.13 ± 1.04	267.0 ± 9.2 ^c	29.71 ± 0.12	40.1 ± 0.19 ^b	2.0 ± 0.06 ^c	7 ± 0.32 ^c	3.33 ± 0.17 ^c	2.41 ± 0.03 ^c	2.58 ± 0.03 ^c	100
6	93.13 ± 1.04	242.1 ± 6.2 ^c	29.71 ± 0.12	39.4 ± 0.19 ^c	1.8 ± 0.04 ^c	8.5 ± 0.32 ^b	2.85 ± 0.11 ^c	2.22 ± 0.13 ^{cd}	2.38 ± 0.14 ^{cd}	100
8	93.13 ± 1.04	211.1 ± 4.1 ^d	29.71 ± 0.12	37.7 ± 0.46 ^d	1.6 ± 0.03 ^d	9.1 ± 0.28 ^a	2.26 ± 0.07 ^d	1.79 ± 0.02 ^d	1.92 ± 0.02 ^d	100

Growth parameters including fish final weight and length, specific growth rate (SGR), yield (Y), average daily growth (ADG), absolute weight gain (AWG), and relative weight gain (RWG) indicate significant differences among different densities ($P \leq 0.05$); Means identified by a different superscript in the columns (a, b, c, d) were significantly different ($P \leq 0.05$) as determined by ANOVA and Tukey's test for each parameter; Values are mean ± SE.

Tabla 4. Parámetros de crecimiento después de 56 días de crianza bajo diferentes densidades de población.

Los parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua, se vieron significativamente variados a cada nivel de densidad de población, una relación inversa entre el oxígeno disuelto y la saturación de oxígeno con la densidad; y una relación alta con la proporción de amoníaco y nitratos y nitritos. A más densidades de población dentro de los embalses, los niveles de concentración de los compuestos nitrogenados cada vez iba en aumento a medida que la densidad de la población aumentaba, durante los primeros niveles de densidad las concentraciones fueron bastante menores, de hecho estuvieron muy por debajo de niveles que podrían afectar la salud de los peces.

Detalladamente se pudo observar que para $8 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ de densidad fue el umbral y los valores críticos llegaron a causar una inhibición del crecimiento; a su vez, la concentración de oxígeno disuelto y su saturación irán disminuyendo cada vez que la densidad aumente, llegando a estar a niveles bajos de hipoxia.

Cada uno de los factores (aumento de compuestos nitrogenados y disminución de oxígeno) puede regular el crecimiento de los juveniles de *H.huso* o causarles un impacto. En relación a los niveles de oxígeno, y mediante una visualización gráfica (**Fig 8**) se puede afirmar que a niveles más lejanos de normoxia y en este caso siendo más cercanos a niveles de hipoxia, la tasa de crecimiento y el peso serán más bajos ([Bagherzadeh Lakani, F. et al 2012](#)). Esto es debido a que cuanto más denso sea la población dentro del tanque, menos espacio tienen los organismos para moverse, la recirculación del agua cada vez se convierte en un reto; la alimentación de cada individuo es más difícil cuanto más denso sea la población, pero por consiguiente los niveles de amoníaco aumentan debido a la composición del alimento, la tasa metabólica de los peces, la cantidad no consumida presente en el medio y las excreciones digestivas de los individuos y esto provoca a su vez impactos perjudiciales.

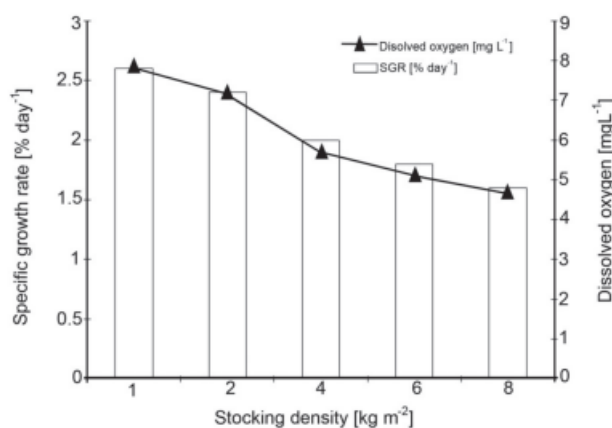


Fig 8. Relación entre el OD y SGR bajo diferentes densidades de siembra.

Su aumento podría ser un indicador de niveles más altos de estrés y podría ser un mecanismo indirecto mediante el cual se reduce la demanda de energía y, por lo tanto, de oxígeno alcanzando niveles de hipoxia y reduciendo así el crecimiento de los organismos. La duración y la gravedad de la hipoxia pueden influir en gran medida en el grado de respuestas fisiológicas de los peces. En este estado, se produce un aumento del bombeo que induce a un incremento en la demanda de oxígeno ([Berschick et al., 1987](#)), por lo tanto, cualquier aumento en la ventilación reducirá la energía disponible para otros procesos metabólicos, como el crecimiento.

3.1.4 Estudio 4

Muchos estudios, como el explicado anteriormente (**Estudio 3**), sugieren que la cantidad y calidad de los nutrientes afectan severamente el crecimiento y desarrollo de los esturiones, pero a pesar de que existe una gran falta de conocimientos e información acerca de los requisitos nutricionales de la mayoría de las especies de esturiones, este estudio quiso experimentar los efectos que podrían tener el uso de diferentes fuentes de lípidos dietéticos en el alimento y ver si podría mejorar no solo las tasas de alimentación sino también los niveles de crecimiento de los esturiones beluga ([H. Ahmadi Fackjouri et al., 2011](#)).

Los lípidos desempeñan un papel importante en la nutrición al proporcionar ácidos grasos esenciales y energía, a parte de generar diversos impactos en el crecimiento, la composición corporal y algunas funciones fisiológicas ([Sargent et al., 1999](#)). Los lípidos dietéticos de forma extra, ayudan en la absorción de nutrientes solubles en grasa. Es bien sabido que la gran mayoría de los teleósteos, incluyendo a los esturiones, utilizan los lípidos y los hidratos de carbono principalmente como fuentes de energía no proteicas. El objetivo de emplear la presencia de lípidos en dos tipos de aceites (vegetal y animal) en las dietas de este ensayo, consistía en provocar que los esturiones hagan un menor uso de las proteínas como fuentes de energía, y puedan aprovechar su uso para una mejor utilización: el crecimiento.

Para el ensayo se formularon 5 dietas experimentales con varios niveles de aceite: una dieta de control (C) sin aceite añadido, 2 dietas de aceite de soja (SO_L y SO_H) con niveles bajos y altos de lípidos respectivamente, y otras 2 dietas de aceite de pescado (FO_L y FO_H) también con niveles bajos y altos respectivamente.

Se distribuyeron 300 juveniles de esturión beluga con un peso promedio de 215 gramos en 15 tanques de fibra de vidrio con volúmenes de 1100 litros cada uno, con 20 peces cada tanque. La velocidad del flujo del agua, filtrada proveniente del río, fue de 20 l*min⁻¹ y se mantuvo constantemente la temperatura del agua a 15 °C, oxígeno disuelto estaba a 7,7 mg*l⁻¹, nitrato a 1,7 mg*l⁻¹, nitrito a 0,05 mg*l⁻¹ y amoníaco a 0,16 mg*l⁻¹. El ensayo duró 6 semanas donde los esturiones fueron alimentados 3 veces al día (9:00, 14:00 y 19:00 horas) según la saciedad.

Al final de la sexta semana del ensayo, antes de la muestra final, se mantuvieron a los esturiones en ayunas durante 24 horas, y se capturaron 5 peces al azar de cada tanque que fueron sacrificados por un golpe en la cabeza, para poderles extraer la sangre de la vena caudal utilizando dos alícuotas diferentes de sangre para diferentes análisis posteriores en la cual la primera alícuota fue transferida a un tubo Eppendorf recubierto con un anticoagulante como la heparina de litio para determinar los parámetros hematológicos: glóbulos blancos (WBC), glóbulos rojos (RBC) y concentración de hemoglobina ([Blaxhall y Daisley, 1973](#)); el segundo alícuota se transfirió a otro tubo Eppendorf sin anticoagulante para medir las concentraciones de colesterol y triglicéridos mediante kits comerciales de enzimas (GPo/Trinder y CHol-Trinder, respectivamente). A su vez, se midieron los parámetros de crecimiento, mediante cálculos a partir de los valores sobre el peso y la longitud de los organismos.

Fueron retirados otros 3 peces al azar de cada tanque y se les cortaron dos trozos de músculo entre las escamas óseas de la parte dorsal y lateral para ser triturados para el análisis proximal del músculo mediante métodos especificados ([AOAC, et al 2002](#)) para medir el contenido de proteína y grasa bruta y ceniza.

Todos los datos se recopilaron y se expresaron en la **Tabla 8 y 9** de este documento.

Los resultados finales mostraron que los esturiones que fueron alimentados con niveles altos de lípidos tuvieron un mejor ritmo de crecimiento en comparación con los del grupo de control y con los alimentados con niveles bajos de lípidos. Hubieron bastantes diferencias significativas entre los grupos, y todos presentaron mejoras en el rendimiento del crecimiento y en las tasas del SGR, pero el grupo que fue alimentado con dieta de aceite animal con alto contenido de lípidos (FO_H) fue el que obtuvo los mejores resultados en cuanto a crecimiento y peso final. Sin embargo, cabe destacar que no hubo diferencias significativas entre los grupos alimentados con aceite vegetal y alto contenido de lípidos, y los alimentados con aceite animal pero bajo contenido de lípidos.

	C	SO _L	SO _H	FO _L	FO _H
W _i (g)	213.2 ± 4.7	214.4 ± 4.8	217.6 ± 3.5	223.5 ± 3.0	221 ± 4.6
W _f (g)	240.1 ± 6.6 ^b	241.0 ± 6.1 ^b	260.0 ± 7.2 ^a	260.1 ± 7.2 ^a	266.9 ± 11.1 ^a
HSI* (%)	1.7 ± 0.2	1.9 ± 0.2	2.4 ± 0.3	2.2 ± 0.1	2.4 ± 0.2
PER† (%)	2.2 ± 0.3 ^b	2.0 ± 0.2 ^b	2.5 ± 0.1 ^{ab}	2.2 ± 0.2 ^{ab}	2.8 ± 0.1 ^a
PPV‡ (%)	1.5 ± 0.1	1.1 ± 0.2	1.2 ± 0.1	1.3 ± 0.0	1.1 ± 0.1
FCR§	4.1 ± 0.3 ^a	3.9 ± 0.4 ^{ab}	3.0 ± 0.1 ^b	3.6 ± 0.1 ^{ab}	2.7 ± 0.1 ^b
BWII¶ (%)	15.6 ± 1.7 ^b	16.9 ± 1.9 ^b	21.6 ± 0.6 ^{ab}	17.7 ± 0.6 ^{ab}	23.6 ± 0.7 ^a
SGR** (%/day)	0.7 ± 0.1 ^b	0.8 ± 0.1 ^b	1.1 ± 0.0 ^{ab}	0.9 ± 0.1 ^{ab}	1.2 ± 0.0 ^a
CF††	0.7 ± 0.0	0.7 ± 0.0	0.7 ± 0.0	0.7 ± 0.0	0.7 ± 0.0
SR (%)	100	100	100	100	100

Tabla 8. Medias identificadas del rendimiento del crecimiento de los organismos tras el final del ensayo

Al mismo tiempo se mostraron los resultados de los análisis de los parámetros hematológicos; y a diferencia con respecto a los resultados anteriores referentes al crecimiento, quien mostraba tener mejores tasas y un mejor rendimiento de crecimiento, fue quien a su vez mostró niveles superiores a los del grupo de control, pero fueron muy inferiores con respecto al resto de los grupos. En este análisis fue el grupo alimentado con aceite animal y niveles bajos de lípidos quien obtuvo los mejores resultados, sobretodo en los niveles de glóbulos blancos, demostrando que con esta dieta, los esturiones no solo tendrían un gran rendimiento en el crecimiento sino también que tendrán una mayor capacidad de defensa contra enfermedades.

	C	SO _L	SO _H	FO _L	FO _H
Haemoglobin (g/dl)	2.82 ± 0.27	2.00 ± 0.14	2.50 ± 0.22	2.60 ± 0.24	2.86 ± 0.25
Haematocrit (%)	16.40 ± 1.30 ^b	14.80 ± 0.96 ^b	17.13 ± 0.74 ^{ab}	17.10 ± 0.97 ^{ab}	20.70 ± 1.35 ^a
WBC (×10 ³ /mm ³)	36.65 ± 4.64 ^b	43.06 ± 3.99 ^b	43.21 ± 5.69 ^b	67.2 ± 7.43 ^a	38.14 ± 6.42 ^b
RBC (×10 ⁶ /mm ³)	0.56 ± 0.06	0.40 ± 0.03	0.51 ± 0.02	0.53 ± 0.04	0.50 ± 0.01
MCV (fl)	321.11 ± 38.85	408.62 ± 37.15	322.79 ± 25.10	342.30 ± 39.43	362.00 ± 23.61
MCH (pg)	53.90 ± 6.44	53.96 ± 6.14	48.37 ± 3.98	52.24 ± 7.87	51.24 ± 3.48
MCHC (%)	17.03 ± 1.12	13.62 ± 0.77	15.66 ± 1.59	15.15 ± 1.17	13.31 ± 0.66
Triacylglycerol (mg/dl)	150.87 ± 11.14	159.87 ± 11.32	155.09 ± 10.22	145.48 ± 14.85	131.74 ± 13.87
Cholesterol (mg/dl)	25.74 ± 1.80 ^{ab}	27.41 ± 2.09 ^a	18.60 ± 1.54 ^{bc}	23.20 ± 2.68 ^{ab}	13.48 ± 1.40 ^c

Tabla 9. Parámetros hematológicos y bioquímicos de juveniles de *Huso huso* alimentados con las dietas experimentales para cinco peces de cada réplica.

3.1.5 Discusiones

Los esturiones están considerados como uno de los grupos de peces más antiguos con 27 especies distribuidas, entre las cuales se encuentra el esturión beluga (*Huso Huso*) que tienen una gran importancia ecológica dentro de varias redes tróficas y con un gran valor cultural e histórico a lo largo de los tiempos. Desafortunadamente estas especies han enfrentado múltiples amenazas y desde hace varias décadas se encuentran en peligro de extinción debido a problemas de contaminación, falta de protección de sus áreas de cría y destrucciones del hábitat, pero sobretodo debido a una gran sobrepesca que ha llevado a una disminución drástica de sus poblaciones a causa de una gran gestión pesquera deficiente y también por su gran valor económico y gastronómico; pues tal y como se ha explicado al inicio de este proyecto, los esturiones son conocidos por su carne sabrosa y por sus huevas que se utilizan para producir caviar.

Dada la importancia de esta especie, se empezaron a realizar producciones acuícolas de cría y desarrollo de estos organismos acuáticos para ayudar en la conservación y mantenimiento de la especie y por las producciones sostenibles de alimento dadas sus altas demandas de caviar en los mercados internacionales. Su cría ha experimentado un aumento considerable desde principios de la década de 1980 ([Bronzi et al., 1999](#)), y actualmente muchos países se dedican a la acuicultura de estas valiosas especies. No obstante, su producción requiere de una gran inversión a largo plazo ya que tiene un lento proceso de crecimiento y tarda varios años en alcanzar la madurez sexual limitando así la cantidad de producto que se puede obtener en un período de tiempo determinado. Se requiere una planificación cuidadosa y un conocimiento exhaustivo para poder tener una gestión más óptima y garantizar la sostenibilidad del cultivo y la calidad del producto final.

Hay una amplia gama de información científica y técnicas disponibles sobre la biología, la fisiología y la acuicultura de los esturiones, y con el objetivo de mejorar la eficiencia y la rentabilidad de producción y garantizar una mejor sostenibilidad del cultivo, se han realizado y todavía se continúan realizando varios estudios sobre optimización de tiempo centrados en mejorar las tasas de crecimiento y llegar antes a los niveles deseados de peso en períodos más cortos de tiempo, pero también se realizan estudios centrados para generar impactos significativos en mejorar las calidades y rentabilidades de los cultivos haciendo que los esturiones sean más resistentes y más sanos durante las producciones.

Según se ha constatado anteriormente, existen varios tipos de ensayos y estudios que se realizan para tratar de encontrar varios tratamientos posibles para conseguir esta clase de renderizaciones. Durante los ensayos, es importante tener en cuenta varios factores importantes como el diseño del ensayo y su planificación, los factores ambientales donde la temperatura se le considera un factor crítico dado que tiene un impacto directo en el metabolismo y en diversos procesos fisiológicos de los organismos, es por eso que los niveles de temperatura deberían estar dentro de unos rangos óptimos de tolerancia, en general los individuos de esta especie prefieren temperaturas frescas y moderadas. Las etapas de desarrollo de las especies también son importantes dado que dependiendo de la etapa habrán diferentes requerimientos alimentarios o ambientales.

A lo largo de este proyecto se han comentado y analizado en gran detalle varios casos de estudio extrayendo información relevante sobre los métodos utilizados, los parámetros de temperatura observados, los valores de tasas de SGR y los resultados obtenidos en cada caso, todos mostrando diferencias significativas entre ellos pero revelando información importante a tener en cuenta de cara a realizar una producción de esturiones *H.Huso*.

El primer estudio se trató de un ensayo de alimentación centrado en mejorar la salud y las resistencias de los individuos mediante dietas mezcladas con prebióticos ([Akrami Reza et al., 2009](#)). En esta clase de estudios, dependiendo del prebiótico utilizado se obtendrán unos resultados o otros, en nuestros casos, uno (inulina) mostró resultados positivos en las mejoras de los glóbulos blancos y de la microflora intestinal fortaleciendo de este modo la salud de los individuos pero con el punto negativo de proporcionar un crecimiento lento; y el otro (IS) proporcionó muy buenos resultados tanto en las tasas de crecimiento como en las resistencias de los individuos. Mantener y mejorar la salud de los cultivos les ayuda a ser mucho menos susceptibles a sufrir enfermedades y contagiar a toda la población del cultivo, ya que las enfermedades son de los principales problemas dentro de la acuicultura.

El segundo estudio consistió en un ensayo de alimentación centrado en encontrar la mejor frecuencia de alimentación para poder evitar problemas de falta de ingesta o de sobrealimentación que podrían provocar impactos negativos en la calidad del agua debido a los desechos de comida no ingerida ([M. Mohseni et al., 2007](#)). El estudio verificó que a más tasas de alimentación y a más raciones de alimento, los individuos podrían presentar problemas de crecimiento debido a pérdidas de apetito a causa de una sobrealimentación. Esto genera que la línea de tendencia del crecimiento se estabilice de manera estancada retardando así el crecimiento y por consiguiente su maduración sexual. Lo más óptimo sería utilizar tasas de alimentación simples con pocas raciones de comida, lo ideal sería entre 2 y 3 raciones.

El tercer estudio fue una mezcla entre un ensayo de densidades de población y un ensayo de calidades del agua ([Rafatnezhad S et al., 2011](#)). Con este ensayo se puede afirmar que lo ideal para realizar una producción más sostenible consistiría en tener niveles de densidad bajos para cada tanque, de esta manera se reducirían en gran medida los posibles incrementos de estrés entre los individuos debido a una falta de alimento o por una demanda de oxígeno; y a su vez se disminuirían los impactos negativos de deterioramiento de la calidad del agua causados por la acumulación de desechos y la alta concentración de amoníaco, lo cual ha sido verificado como una amenaza tóxica para la salud y el crecimiento de los esturiones.

El último estudio analizado consistía del mismo modo que el tercero, en un ensayo de alimentación pero centrado en la creación de nuevas dietas experimentales mezcladas con aceites vegetales y animales ([H. Ahmadi Fackjouri et al., 2011](#)). Los lípidos y ácidos grasos son esenciales como fuentes y reservas de energía para los individuos y un uso de dietas con altas concentraciones de lípidos se podrían retener mejor y usarse como fuentes de energía y así aprovechar las proteínas para el crecimiento. En cuanto al uso de aceite vegetal o animal, el animal es el que obtuvo mejores resultados para el caso de los esturiones, pero sería recomendable usar aceites vegetales dado que el uso de aceite de pescado es limitado y requiere de una cría de individuos para así poder alimentar a otros, gastando así mucha economía y energía.

Existe otro método que se podría plantear para sustituir las dietas a base de harina o de aceite de pescado, las dietas basadas en ensilado de pescado. El proceso de ensilado aprovecha el pescado y sus desechos los transforma en una sustancia líquida de consistencia pastosa, donde se conservan los valores bromatológicos de pescado en cuanto a sus contenidos en proteínas, minerales y lípidos en la misma proporción que se encuentran en el pescado ([Jogeir Toppe et al., 1998](#)). El ensilado de pescado es un valioso ingrediente cuando se utiliza en las raciones de alimento, y ha demostrado ser altamente eficiente en la alimentación de cerdos y aves, así como peces como la Tilapia roja, *Oreochromis mossambicus x O. niloticus* ([José E. Llanes Iglesias et al., 2006](#)).

En general, lo más óptimo consistiría en el uso de dietas diseñadas con altos contenidos de lípidos para mejorar los crecimientos de los juveniles e incrementar el porcentaje de glóbulos blancos para mejorar las resistencias contra las enfermedades. Tal como se muestra en la **Tabla 10**, para **las primeras etapas de cría y alevines**, sería óptimo el uso de prebióticos para mejorar los porcentajes de supervivencia y la salud ya que mejoran la digestibilidad de los nutrientes, la tasa de conversión alimenticia y sobretodo les ayuda retener mejor los nutrientes necesarios para crecer. Considero que no se deberían cambiar las tasas de alimentación ni racionalizar más las tasas de alimento, a lo largo del resto de etapas, como en **la etapa de juveniles**, dado que las posibilidades de generar sobre alimento y desechos por alimento no consumido serían altas.

Para **la tercera etapa** o cerca de las etapas finales, sería conveniente vigilar los niveles de densidad de las poblaciones ya que al haber crecido, cada vez habrá menos espacio dentro de los tanques pasando a considerarse tanques densos. Para evitar esto, lo ideal sería repartir al azar los individuos en más tanques para así evitar generar situaciones de estrés, y así facilitar mejor el mantenimiento de las aguas junto con una mejor recirculación de estas.

Huso Huso	SGR normal	Temperatura (°C)	Peso inicial (g)	Peso final (g)
1ª Etapa	2,44	27,45	16,79	71,25
	1,99	20,55	95	290
2ª Etapa	0,8	23	90	2128,8
	0,7	15	213	240
3ª Etapa	2,6	23	93,13	362,4
Optimizado	SGR Optimizado	Temperatura (°C)	Peso inicial (g)	Peso final (g)
1ª Etapa	2,21	27,45	16,79	60,54
	2,34	20,55	95	354,17
2ª Etapa	0,8	23	90	2128,8
	1,2	15	213	266,9
3ª Etapa	2,6	23	93,13	362,4

Tabla 10. Tabla de resultados normales y optimizados ordenados por etapas (elaboración propia).

Actualmente existen varios estudios investigando mejores formas de adaptar los tiempos de producción y reducir así sus costes. Como bien sabemos, el crecimiento de los esturiones es bastante lento, pero toda información relevante puede ayudar a poder adaptar diferentes métodos dependiendo de las etapas de vida y desarrollo de los individuos y sobre todo de la especie a la que desean realizar un cultivo.

3.2 Bioprogramación - *D.Rerio*

Optimizar los tiempos de maduración y reproducción de los peces cebra es importante para agilizar los estudios y experimentos que se realizan con dicha especie, ya que al acelerarlos, los investigadores pueden obtener generaciones sucesivas en un corto período de tiempo, permitiéndoles realizar estudios más rápidos y eficientes.

A pesar de que el pez cebra es una especie ampliamente utilizada en la investigación biomédica y toxicológica, su crianza y desarrollo en acuicultura es una actividad relativamente nueva y existe poca información relevante, aunque se han realizado varios estudios sobre crecimiento tales como los recopilados en la **Tabla 11**, donde se han realizado métodos diferentes y a diferentes temperaturas. El pez cebra posee una amplia tolerancia a diferentes niveles de temperatura, puede tolerar temperaturas tan bajas como 6,2 y 10,6 °C pero la temperatura considerada como la óptima para su crecimiento estaría cerca de los 28 °C.

El primer estudio consiste en un ensayo de temperaturas donde se menciona sobre la utilización de mutantes sensibles a la temperatura en los sistemas de modelos de células estudiar la función de genes esenciales ([Thomas A. Delomas et al., 2018](#)), y se realizó un ensayo de crianza y crecimiento de alevines de pez cebra a 23°C y lo comparó con el ensayo de control que se realizó a una temperatura del agua de 28°C. Los resultados finales mostraron que el crecimiento de los individuos era más lento a 23°C y tardaba varios días más en alcanzar el peso y crecimiento deseado en comparación con los individuos que estaban a 28°C.

El segundo estudio menciona que el uso de los diodos emisores de luz (LEDs) en la acuicultura cada vez está siendo más popular debido a que tienen efectos promotores en el crecimiento y la reproducción de los peces ([Jia-Lang Zheng et al., 2016](#)). El ensayo quiso observar los efectos que tendrían el uso de dos diferentes diodos emisores de luz (LEDs: azul, LDB, pico a 450 nm; rojo, LDR, 630 nm) en el crecimiento y las respuestas inmunológicas innatas que los peces cebra tendría en los tejidos. Las respuestas finales demostraron un efecto positivo de LDB y un efecto negativo de LDR en el crecimiento y las respuestas inmunológicas. Los que fueron criados bajo LEDs azules presentaron altos niveles de hemoglobina, en otras palabras, que tienen una mayor cantidad de glóbulos rojos en la sangre, beneficioso para la salud y el crecimiento de los peces. En contraste, los criados bajo LEDs rojas tuvieron una inhibición drástica del SGR, la ingesta de alimento y de los niveles de albúmina y globulina.

El tercer estudio intentó evaluar los efectos de luz del fotoperiodo en el crecimiento y desove del pez cebra realizando un ensayo donde se mantuvieron los especímenes bajo cuatro ciclos de luz y oscuridad diferentes: un régimen de luz acortada (08L:16D), uno normal como control (12L:12D), un régimen de luz prolongada (16L:08D) y por último un régimen de luz continua (luces encendidas continuamente durante 24 horas) ([Hamed Abdollahpour et al., 2020](#)). Los resultados mostraron que con el grupo de régimen de luz prolongada obtuvo una mejor tasa de crecimiento y una tasa de eclosión más alta que con el resto de grupos, indicándonos que este régimen de luz sería el más óptimo para el crecimiento final de la etapa 3 y el adecuado para el desove, al menos desde el punto de vista de la producción.

En esta parte del proyecto se realizó manualmente una técnica de bioprogramación mediante el método del crecimiento instantáneo, comúnmente conocido como el método de la SGR o la tasa de crecimiento específico, a partir de haber extraído los valores de SGR de los grupos de control y de los grupos mejores optimizado de los estudios recopilados de la **Tabla 11**, para evaluar un crecimiento normalizado y un crecimiento mezclado con diferentes técnicas con tal de conseguir un resultado mucho más optimizado, teniendo así menores costes y un mejor manejo de la producción del pez cebra.

Danio Rerio (estudios)	SGR (% / day)	Temperature (°C)	Peso inicial (g)
Descripción y valoración de un novedoso protocolo de cría que permite un crecimiento rápido de los alevines y juveniles de pez cebra a 23 °C. [Thomas A. Delomas et al., 2018]	35.0 ± 0.3	28,05 ± 2	0,00025 ± 0.01 (0,25 mg)
Análisis sobre los efectos de LED azules y LED rojos en el crecimiento y las respuestas inmunitarias innatas en el suero, hígado y ovario de pez cebra. [Jia-Lang Zheng et al., 2016]	2.09 ± 0.16	25.4 ± 2.2	0.16 ± 0.02
Caracterizar los efectos de la manipulación del fotoperiodo en los parámetros de crecimiento y el rendimiento de desove del pez cebra. [Hamed Abdollahpour et al., 2020]	0.7 ± 0.04	27 ± 1	0.32 ± 0.01

Tabla 11. Extracción de valores de SGR y Temperatura de grupos control, en distintos casos de estudio realizados con *D.Rerio*.

En términos generales, se le conoce a la bioprogramación como el procedimiento que tiene como objetivo armonizar las condiciones biológicas, físicas y económicas involucradas en la producción, se trata de una técnica utilizada en acuicultura para mejorar la producción y calidad de organismos acuáticos a través de la cría selectiva y el mejoramiento genético. El método empleado en este ensayo, el método SGR es un componente clave que nos permitirá evaluar el crecimiento y el rendimiento de los peces cebra en diferentes condiciones; y nos permitirá desarrollar un nuevo modelo de cría de poblaciones de peces con mejores tasas de crecimiento, resistencia a enfermedades y otros rasgos deseables.

El ensayo realizado se muestra en el **Anexo 1** de este documento, donde se han empleado una serie de cálculos mediante la fórmula del peso final (*Pf* explicada al inicio de este proyecto, para poder calcular los pesos finales entre intervalos de tiempo de 7 días, hasta llegar a los 0,70 gramos de peso que corresponden a los pesos máximos que las hembras alcanzan para la maduración sexual.

La fórmula dada viene derivada de la función exponencial de la Tasa Específica de Crecimiento (SGR) modelada comúnmente para ver el crecimiento de peces pequeños durante períodos de tiempo relativamente cortos ([Derek P. Crane et al., 2019](#)).

A partir del primer ensayo analizado, se ha decidido empezar el método a partir alevines de pez cebra con un peso inicial de 0,25 miligramos y se ha mantenido una temperatura de 28°C. Con una SGR de 35, se han realizado cálculos de peso promedios hasta alcanzar la siguiente etapa de crecimiento. Para estos casos, es necesaria utilizar una SGR muy grande, para alcanzar la etapa juvenil de la especie, a parte, cabe mencionar que al tratarse de una especie tan pequeña, es normal utilizar SGR elevadas.

Al utilizar una SGR elevada, los peces cebra alcanzaron la etapa de juveniles en poco tiempo (5 semanas aproximadamente). En esta etapa la SGR cambia debido al tamaño de los individuos y a las nuevas condiciones de cultivo que se quieren emplear. Durante esta etapa de crecimiento, los individuos tienen un peso promedio de 0,15 gramos, la temperatura desciende a 25°C y se utiliza una SGR mucho más baja (2,09).

Estos datos de SGR y temperatura corresponden a los datos del grupo de control del estudio realizado mediante LEDs. A partir de las nuevas variables se han realizado nuevos cálculos hasta alcanzar la tercera etapa de desarrollo de vida de los organismos.

Aproximadamente cerca de la décima semana, ya se empezaron a alcanzar pesos de 0,30 gramos, pesos en los cuales los machos entran en la tercera etapa y empieza la maduración sexual, aunque el peso máximo de los machos es de 0,50 gramos. Los individuos siguieron creciendo hasta alcanzar pesos cercanos a los 0.50 gramos; a partir de los 0,40 gramos se decidió cambiar de condiciones del cultivo, y por lo tanto de variables. Para los nuevos cálculos se utilizaron los correspondientes al tercer estudio, los fotoperíodos, y se utilizó una SGR de 0,7 y manteniendo una nueva temperatura a 27°C.

Se alcanzaron pesos finales de 0,50 gramos en 19 semanas desde el inicio del ensayo, donde los machos alcanzaban sus pesos máximos finales, y donde las hembras comienzan a madurar. El ensayo se podría acabar aquí, pero se decidió por ver cuánto tiempo tomaría alcanzar pesos de 0,70 gramos, que corresponden a los pesos máximos que alcanzan las hembras en su tercera etapa. Se mantuvieron las mismas condiciones de SGR y temperatura (0,7 y 27°C respectivamente) y el tiempo total que tardó en llegar a un peso estimado de 0,70 gramos fue de unas 26 semanas desde el inicio del experimento, en total unos 182 días (6 meses). De lo normal, el tiempo que se tarda en alcanzar los pesos máximos para la maduración sexual se encuentran dentro de intervalos de 3 a 6 meses ([Jing Ying Hoo et al., 2016](#)).

Se repitió el mismo método pero con los valores optimizados de los casos de estudio, de los cuales, los valores del primer caso no se han cambiado dado que según lo revisado en el estudio, lo mejor sería utilizar los valores del grupo de control (**Fig 9**); para el resto sí que se cambiaron los valores de SGR, y los resultados que mostraron mediante los tratamientos optimizados fue que el tiempo que se tarda en llegar a los pesos deseables es bastante menor y más corto que en condiciones normales.

Los resultados nos muestran que mediante la combinación de distintos métodos para cada etapa de desarrollo de los cultivos de pez cebra, se pueden obtener resultados mucho más prometedores mediante el uso de condiciones óptimas que mediante condiciones normalizadas. El tiempo transcurrido con las condiciones óptimas fueron de 126 días desde el inicio del ensayo, cerca de 4 meses reduciendo así el coste de producción que de normal serían 6 meses. En el **Anexo 1** se mencionan los diferentes piensos que se emplearon en los diferentes casos de estudio para alimentar a los individuos, cabe destacar que para el ensayo se utilizará una dieta comercial propia.

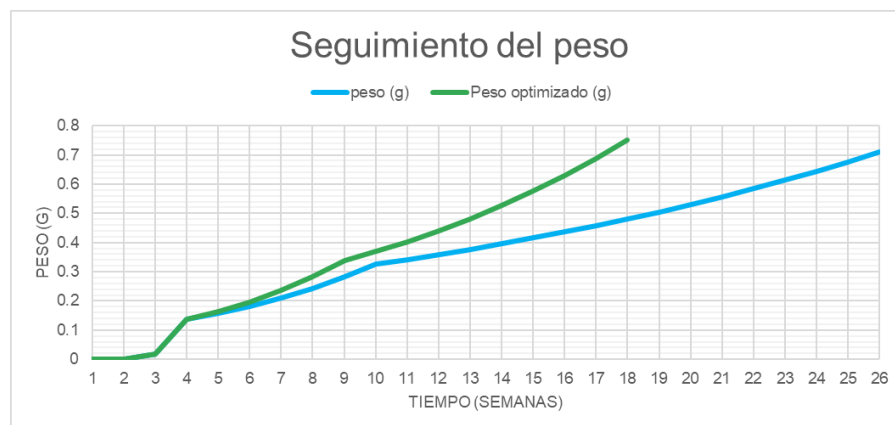


Fig 9. Gráfica visual elaboración propia sobre el crecimiento en gramos de los peces cebra con respecto al tiempo transcurrido en semanas durante la bioprogramación.

3.2.1 Discusión

La bioprogramación del *Danio rerio* ha sido un proceso complejo que ha requerido de una gran y exhaustiva búsqueda bibliográfica para encontrar y recopilar los valores de crecimiento específico SGR a diferentes niveles de temperatura y diferentes pesos iniciales. A partir de estos datos, se ha podido llevar a cabo una bioprogramación manual utilizando una hoja de cálculo junto con una serie de fórmulas y cálculos requeridos para estimar un peso final aproximado en el cual los peces alcanzan la maduración sexual y se vuelven aptos para reproducirse.

A lo largo de este proceso, se ha utilizado el método del crecimiento instantáneo, comúnmente conocido como el método de la SGR, para evaluar un crecimiento normalizado y un crecimiento mezclado con diferentes técnicas de desarrollo de *Danio Rerio* con tal de conseguir un resultado mucho más optimizado, teniendo así menores costes y un mejor manejo de la producción del pez cebra.

A partir de lo observado y teniendo en cuenta las diferentes etapas de crecimiento de la especie, se ha considerado que lo más ideal sería realizar la combinación de diferentes tratamientos durante una producción acuícola de esta especie, la idea sería realizar un tratamiento para cada etapa de vida hasta alcanzar la madurez y reproducirse para desarrollar nuevos embriones destinados para o investigaciones o acuarios.

La combinación de los distintos tratamientos ha demostrado que se puede realizar una buena optimización y disminuir los tiempos de coste, y tal como se ha contrastado con el resto de estudios, los individuos finales mantienen una buena salud con una buena cantidad de hemoglobinas en sangre ([Jia-Lang Zheng et al., 2016](#)) haciéndolos más resistentes a las enfermedades y mejorando las calidades del producto final, además de presentar una tasa de eclosión más alta ([Hamed Abdollahpour et al., 2020](#)). No obstante, no es viable realizar un único tratamiento o método para todo el desarrollo de la producción dado que cada tratamiento es eficaz para unas condiciones específicas de cultivo o para una etapa en concreta de crecimiento del organismo.

Sin embargo, se podrían explorar otras técnicas de bioprogramación, ya que existe una escasa fuente de información, para mejorar las tasas de crecimiento del *Danio rerio*, como la cría selectiva y el mejoramiento genético, que permitan obtener individuos con características específicas que favorezcan su crecimiento y reproducción. Además, también se podría intentar investigar sobre la influencia de otros factores ambientales, como la calidad del agua y la alimentación, en el crecimiento y desarrollo de esta especie.

4. Conclusiones y valoraciones

Después de analizar los diversos métodos y estudios de casos presentados a lo largo del documento, queda claro que existen varios tratamientos que pueden ofrecer buenas optimizaciones de tiempo, al monitorear y ajustar cuidadosamente los factores ambientales como la temperatura, la densidad y la calidad del agua, es posible reducir significativamente el tiempo entre generaciones y aumentar la productividad general de una población determinada.

No obstante, es importante tener en cuenta que pueden existir riesgos potenciales asociados con estos métodos, particularmente en términos del impacto en la salud y el bienestar de los animales involucrados, es por ello que es crucial monitorear y manejar cuidadosamente estos factores para garantizar que los animales no estén sujetos a estrés o daño indebido. También por ello existen otros tipos de investigaciones centradas en mejorar la salud de los organismos del cultivo, como algunos de los casos presentados en este documento.

En general, los estudios que se han presentado demuestran el potencial de la optimización de tiempo, y de la bioprogramación como una herramienta valiosa para la acuicultura y los esfuerzos de conservación, destacando también su importancia en la planificación y la gestión cuidadosa que se debe llevar a cabo en los esfuerzos de la bioprogramación para conseguir resultados beneficiosos y seleccionar cuidadosamente las parejas reproductoras y monitorear la salud y el bienestar de los animales involucrados, y así lograr ganancias significativas en productividad y sostenibilidad, al tiempo que se protege la diversidad genética y la salud general del cultivo y de la población.

5. Librería bibliográfica

[1] OCOLVET (2001). Acuicultura, la ganadería con mayor proyección de futuro, Organización Colegial Veterinaria. España. Consultado el 07/06/2023 [[CrossRef](#)].

[2] Andalucía Ecológica (2017). Acuicultura, ¿la solución a los límites de los recursos pesqueros?. España. Consultado el 07/06/2023 [[CrossRef](#)].

[3] Christopher Good & John Davidson (2016). A Review of Factors Influencing Maturation of Atlantic Salmon, *Salmo salar*, with Focus on Water Recirculation Aquaculture System Environments. Wiley Online Library. Estados Unidos USA. Consultado el 07/06/2023. [[CrossRef](#)].

[4] N.F (2023). Los productos de pescado poco saludables que consume la mayoría de la población española. Diario de Sevilla » Nutrición y Bienestar. España. Consultado el 04/06/2023 [[CrossRef](#)].

[5] Synlab (2021). Omega 3: cuidando de su salud cardiovascular y cerebral. SYNlab Solutions in Diagnostics. Estados Unidos USA. Consultado el 04/06/2023 [[CrossRef](#)].

[6] Pescaderías Coruñesas (1911). Esturión Pescados, características e información. España. Consultado el 07/06/2023 [[CrossRef](#)].

[7] Boletín Oficial del Estado (1942). Conservación y fomento de las especies. BOE. España. Consultado el 08/06/2023 [[CrossRef](#)].

[8] Productos Gourmet(2017). El precio del caviar. Cuánto cuesta realmente. Productos Gourmet Online. España. Consultado el 08/06/2023 [[CrossRef](#)].

[9] Patricia Osuna (2021).; Riofrío, el primer caviar ecológico del mundo que se hace en España y se vende a 8.000 euros el kilo. Expansión » Fuera de Serie. España. Consultado el 08/06/2023 [[CrossRef](#)].

[10] ARCTIC CRAB (2023). Caviar ZAR Beluga. ARCTIC CRAB Made by the Sea. Tienda online » Caviar. España. Consultado el 08/06/2023 [[CrossRef](#)].

[11] Admin (2019). Pez Cebra, *Danio Rerio*. Peces de Acuarios.net. Acuario de Agua Caliente. España . Consultado el 06/06/2023 [[CrossRef](#)].

[12] Centro Nacional de Sanidad Ambiental (CNSA)(2022). La investigación con peces cebras, clave para estudiar los posibles efectos tóxicos de contaminantes ambientales. Instituto de Salud Carlos III (ISCIII). España. Consultado el 07/06/2023 [[CrossRef](#)].

[13] Comisión Europea, CORDIS (2020). El pez cebras ayuda a los científicos a combatir la enfermedad de Alzheimer. Horizon 2020 » The Role of Neuroinflammation in Alzheimer 's Disease. Luxemburgo. Consultado el 07/07/2023 [[CrossRef](#)].

- [14] Patrick Williot, Dettlaff (1998). Influence of yolk blackish pigmentation of Siberian sturgeon on reproductive performance and larval survival » Description of sturgeon embryonic stages. ResearchGate. Estados Unidos USA. Consultado el 08/06/2023 [\[CrossRef\]](#).
- [15] Falahatkar, B; Akhavan, S. R; Tolouei Gilani, M. H. & Abbasalizadeh, A (2013). Sex identification and sexual maturity stages in farmed great sturgeon, *Huso huso* L. through biopsy. ResearchGate Vol. 14, No. 2, Pages 133-139. Estados Unidos USA. Consultado el 08/06/2023 [\[CrossRef\]](#)
- [16] FAO (2017). *Huso huso* (Linnaeus, 1758). FAO Fisheries and Aquaculture Department. Species Fact Sheets. Estados Unidos USA. Consultado el 08/06/2023 [\[CrossRef\]](#).
- [17] D.N.A.T (2007). Esturión Beluga 100cm CCEE. D.N.A.T ecosistemas. España. Consultado el 07/06/2023 [\[CrossRef\]](#).
- [18] E.F (2021). Caviar Riofrío logra reproducir sus primeros esturiones Beluga. ABC Sevilla » Economía. España. Consultado el 28/04/2023 [\[CrossRef\]](#).
- [19] Leonardo Castañeda Martínez (2009). Fisiología de la reproducción bovina: desde la fecundación hasta la implantación embrionaria. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Estados Unidos. Consultado el 06/06/2023 [\[CrossRef\]](#).
- [20] Jing Ying Hoo, Yatinesh Kumari, Mohd Farooq Shaikh, Seow Mun Hue, & Bey Hing Goh (2016). Zebrafish: A Versatile Animal Model for Fertility Research. National Library of Medicine. Biomed Res Int » PMC4983327. Estados Unidos USA. Consultado el 07/06/2023 [\[CrossRef\]](#).
- [21] Zorayda Coello (2017). Reproducción del pez cebra. Experto Animal. España. Consultado el 26/04/2023 [\[CrossRef\]](#).
- [22] Camilo A. Prieto M y Martha Olivera Angel (2002). Incubación artificial de huevos embrionados de Tilapia Roja *Oreochromis* sp. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. Colombia. Consultado el 01/05/2023 [\[CrossRef\]](#).
- [23] Stephen A. Watts and Louis R. D'Abramo (2021). Standardized Reference Diets for Zebrafish: Addressing Nutritional Control in Experimental Methodology. National Library of Medicine. HHS Author Manuscripts » PMC8582320. Estados Unidos USA. Consultado el 08/06/2023 [\[CrossRef\]](#).
- [24] H Dutta (2019). Growth in fishes 40(2-4):97-112. National Library of Medicine. Crit Rev Food Sci Nutr. Estados Unidos USA. Consultado el 10/05/2023 [\[CrossRef\]](#).
- [25] Derek P. Crane, Derek H. Ogle, Daniel E. Shoup (2019). Use and misuse of a common growth metric: guidance for appropriately calculating and reporting specific growth rate. Wiley Online Library. Estados Unidos USA. Consultado el 10/05/2023 [\[CrossRef\]](#).
- [26] FFF (2021). Terms used in Aquaculture. Fish Farm Feeder. Inicio » TERMS USED IN AQUACULTURE. España .Consultado el 10/05/2023 [\[CrossRef\]](#).

- [27] Akrami Reza, Hajmoradloo Abdolmajid, Matinfar Abbas, Abedian Kinari Abdolmohammad (2009). Effect of Dietary Prebiotic Inulin on Growth Performance, Intestinal Microflora, Body Composition and Hematological Parameters of Juvenile Beluga, *Huso huso* (Linnaeus, 1758). Wiley Online Library. Estados Unidos USA. Consultado el 10/05/2023 [[CrossRef](#)].
- [28] M. Mohseni, M. Pourkazemi, M. Bahmani, B. Falahatkar, H. R. Pourali, M. Salehpour (2007). Effects of feeding rate and frequency on growth performance of yearling great sturgeon, *Huso huso*. Wiley Online Library. Estados Unidos USA. Consultado el 10/05/2023 [[CrossRef](#)].
- [29] Saeedeh Rafatnezhad and Bahram Falahatkar (2011). Nitrogenous compounds and oxygen concentration as the key density dependent factors to optimize growth of beluga, *Huso huso* (Actinopterygii: Acipenseriformes: Acipenseridae), in circular fiberglass tanks. Acta Ichthyol. DeltaBG » aiep.pensoft. Bulgaria. Consultado el 10/05/2023 [[CrossRef](#)].
- [30] Ta'ati Reza; Soltani M; Bahmani M; Zamini A.A (2010). Growth performance, carcass composition, and immunophysiological indices in juvenile great sturgeon (*Huso huso*) fed on commercial prebiotic, Immunoster. ResearchGate. Estados Unidos USA. Consultado el 10/05/2023 [[CrossRef](#)].
- [31] H. Ahmadi Fackjouri, B. Falahatkar, H. Ershad Langroudi (2011). The influence of different lipid sources and levels on growth, body composition and haematology of *Huso huso*. Wiley Online Library. Estados Unidos USA. Consultado el 10/05/2023 [[CrossRef](#)].
- [32] N. Corzo, J. L. Alonso, F. Azpiroz, M. A. Calvo, M. Cirici, R. Leis, F. Lombó, I. Mateos-Aparicio, F. J. Plou, P. Ruas-Madiedo, P. Rúperez, A. Redondo-Cuenca, M. L. Sanz y A. Clemente (2015). Prebióticos; concepto, propiedades y efectos beneficiosos. Nutrición Hospitalaria. Aula Médica. España. Consultado el 09/06/2023 [[CrossRef](#)].
- [33] M Roberfroid, J. Slavin (2000). Nondigestible oligosaccharides 40(6):461-80. National Library of Medicine. Crit Rev Food Sci Nutr. Estados Unidos USA. Consultado el 09/06/2023 [[CrossRef](#)].
- [34] Leanne Edermaniger (2023). Inulin: Uses, Benefits, Side Effects And Inulin-Rich Foods. AtlasBlog. Estados Unidos USA. Consultado el 09/06/2023 [[CrossRef](#)].
- [35] Peter H. A, Sneath (2001). Bergey's Manual® of Systematic Bacteriology (pp.83-88). ResearchGate. Estados Unidos USA. Consultado el 09/06/2023 [[CrossRef](#)].
- [36] Timothy J. Bruce, Michael L. Brown (2017). A Review of Immune System Components, Cytokines, and Immunostimulants in Cultured Finfish Species. Scientific Research An Academic Publisher. Estados Unidos USA. Consultado el 09/06/2023 [[CrossRef](#)].
- [37] Philip Feldsine, Carlos Abeyta, Wallace H Andrews (2002). AOAC INTERNATIONAL Methods Committee guidelines for validation of qualitative and quantitative food microbiological official methods of analysis. ResearchGate. Estados Unidos USA. Consultado el 09/06/2023 [[CrossRef](#)].

- [38] Steve Fajfer, Lee Meyers, Guy Willman & Terry Carpenter (1999). Growth of Juvenile Lake Sturgeon Reared in Tanks at Three Densities. ResearchGate. Estados Unidos USA. Consultado el 09/06/2023 [[CrossRef](#)].
- [39] Bagherzadeh Lakani, F; Sattari, M; Falahatkar, B (2012). Effect of different oxygen levels on growth performance, stress response and oxygen consumption in 2 weight groups of great sturgeon *Huso huso*. ResearchGate. Estados Unidos USA. Consultado el 09/06/2023 [[CrossRef](#)].
- [40] P. Berschick, Chris Bridges, M. K. Grieshaber (1987). The influence of hyperoxia, hypoxia and temperature on the respiratory physiology of the intertidal rockpool fish *Gobius cobitis* Pallas. ResearchGate. Estados Unidos USA. Consultado el 09/06/2023 [[CrossRef](#)].
- [41] Paolo Bronzi, H. Rosenthal, G Arlati, Patrick Williot (1999). A brief overview on the status and prospects of sturgeon farming in Western and Central Europe. ResearchGate. Estados Unidos USA. Consultado el 09/06/2023 [[CrossRef](#)].
- [42] Jogeir Toppe y Nelson Avdalov (1998). La elaboración del ensilados de pescado y su utilización en la alimentación animal. InfoPesca. Publicación ensi revista. Estados Unidos USA. Consultado el 12/06/2023 [[CrossRef](#)].
- [43] José E. Llanes, José Toledo Pérez, José M. Lazo de la Vega (2006). Producción de alimento húmedo a partir de ensilados de pescado para la alimentación de Tilapia roja (*Oreochromis mossambicus* x *O. niloticus*). Revista AquaTIC, nº 25, pp. 16-21. España. Consultado el 12/06/2023 [[CrossRef](#)].
- [44] Thomas A. Delomas, Konrad Dabrowski (2018). Larval rearing of zebrafish at suboptimal temperatures. ScienceDirect. Journal of Thermal Biology, Volume 74, May 2018, Pages 170-173. Estados Unidos. Consultado el 09/05/2023 [[CrossRef](#)].
- [45] Jia-Lang Zheng, Shuang-Shuang Yuan, Wei-Ye Li, Chang-Wen Wu (2016). Positive and negative innate immune responses in zebrafish under light emitting diodes conditions. ScienceDirect. Fish & Shellfish Immunology, Volume 56, September 2016, Pages 382-387. Estados Unidos. Consultado el 09/05/2023 [[CrossRef](#)].
- [46] Hamed Abdollahpour, Bahram Falahatkar, Christian Lawrence (2020). The effect of photoperiod on growth and spawning performance of zebrafish, *Danio rerio*. ScienceDirect. Aquaculture Reports, Volume 17, July 2020, 100295. Estados Unidos. Consultado el 09/05/2023 [[CrossRef](#)].
- [47] Derek P. Crane, Derek H. Ogle, Daniel E. Shoup (2019). Use and misuse of a common growth metric: guidance for appropriately calculating and reporting specific growth rate. Wiley Online Library. Estados Unidos USA. Consultado el 11/06/2023 [[CrossRef](#)].

Anexo

1. Bioprogramación, elaboración propia, del *D.Rerio* realizada en una hoja de cálculo Excel

periodo (días)	numero individuos	peso (g)	sgr (normal)	temperatura	Peso optimizado	SGR tratamiento	Temperatura tratamiento	tipo de pienso
7	10-20	0,00025	35	28	0,00025	35	28	Biomar Feed (dieta con nauplios de Artemia)
7	10-20	0,00204	35	28	0,00204	35	28	
7	10-20	0,01670	35	28	0,01670	35	28	
7	10-20	0,13644	35	25	0,13644	2,62	28	
7	10-20	0,15770	2,09	25	0,16352	2,62	25,4	dieta comercial
7	10-20	0,1823	2,09	25	0,19597	2,62	25,4	
7	10-20	0,2107	2,09	25	0,23487	2,62	27	
7	10-20	0,2435	2,09	25	0,28148	2,62	27	
7	10-20	0,2814	2,09	25	0,33734	1,28	27	
7	10-20	0,3253	0,7	27	0,36875	1,28	27	Dieta comercial (Coppens International Co)
7	10-20	0,3415	0,7	27	0,40309	1,28	27	
7	10-20	0,3586	0,7	27	0,44062	1,28	27	
7	10-20	0,3766	0,7	27	0,48165	1,28	27	
7	10-20	0,3954	0,7	27	0,52650	1,28	27	
7	10-20	0,4152	0,7	27	0,57553	1,28	27	
7	10-21	0,4360	0,7	27	0,62912	1,28	27	
7	10-22	0,4578	0,7	27	0,68770	1,28	27	
7	10-23	0,4807	0,7	27	0,75173	1,28	27	
7	10-24	0,5048	0,7	27				
7	10-25	0,5300	0,7	27	dias totales normal	182		
7	10-26	0,5566	0,7	27				
7	10-27	0,5844	0,7	27	dias totales tratamiento	126		
7	10-28	0,6137	0,7	27				
7	10-29	0,6444	0,7	27				
7	10-30	0,6766	0,7	27				
7	10-31	0,7105	0,7	27				