



Facultad de Veterinaria

Trabajo de
Fin de Grado

Desove de Trucha Arcoíris
(*Oncorhynchus mykiss*):
aproximación a las pérdidas
productivas y lesiones
asociadas.

Lucía Martínez Penedo

Grado en Veterinaria

Año 2024

Modalidad del Trabajo: Experimental

Licencia

Excepto donde se haga constar explícitamente, esta obra pertenece a Lucía Martínez Penedo y está bajo una licencia de “Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional”.



RESUMEN

CASTELLANO

La acuicultura moderna enfrenta importantes desafíos para optimizar los procesos reproductivos de especies comerciales, como la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). En la búsqueda de mejorar la rentabilidad y sostenibilidad, es fundamental abordar tanto la eficiencia en la producción de huevos como el bienestar animal. En este contexto, el presente trabajo explora el impacto de la presión aplicada durante el desove por masaje abdominal sobre la cantidad de huevos extraídas y las lesiones observadas en los peces.

Para llevar a cabo este estudio, se utilizó un método de muestreo aleatorio simple, garantizando una representación adecuada de los datos. Los resultados revelaron que la presión ejercida durante el desove tiene una influencia significativa en la cantidad de huevos obtenidas y en la severidad de las lesiones en las truchas. Se identificó una correlación moderada entre la longitud y el peso de las truchas con la cantidad de huevos extraídas, subrayando la importancia de estas variables en la eficiencia del proceso reproductivo.

Además, se exploraron técnicas alternativas de desove, como la incisión abdominal, que podrían ofrecer mejoras en la reducción de las pérdidas de huevos y en la sostenibilidad de la acuicultura. La implementación de estos métodos alternativos requiere una evaluación detallada de los materiales y técnicas empleados, así como una consideración cuidadosa del bienestar animal para equilibrar la maximización de la producción con la reducción de daños y pérdidas.

Palabras clave: masaje abdominal, acuicultura, producción de huevos, eficiencia reproductiva, manejo de peces.

GALEGO

A acuicultura moderna enfréntase a importantes desafíos para optimizar os procesos reproductivos de especies comerciais, como a trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). Na procura de mellorar a rendibilidade e a sustentabilidade, é fundamental abordar tanto a eficiencia na produción de óvulos como o benestar animal. Neste contexto, o presente traballo explora o impacto da presión aplicada durante o desove por masaxe abdominal sobre a cantidade de óvulos extraídos e as lesións observadas nos peixes.

Para levar a cabo este estudo, utilizouse un método de mostreo aleatorio simple, garantindo unha representación adecuada e representativa dos datos. Os resultados revelaron que a presión exercida durante o desove ten unha influencia significativa na cantidade de óvulos obtidos e na gravidade das lesións nas truchas. Identificouse unha correlación moderada entre a lonxitude e o

peso das truchas coa cantidade de óvulos extraídos, subliñando a importancia destas variables na eficiencia do proceso reproductivo.

Ademais, o estudo examinou técnicas alternativas de desove, como a incisión abdominal, que poderían ofrecer melloras na redución de perdas de óvulos e na sustentabilidade da acuicultura. A implementación destes métodos require unha avaliación detallada dos materiais e técnicas utilizados, así como unha consideración do benestar animal para equilibrar a maximización da produción coa redución de danos e perdas.

Palabras clave: masaxe abdominal, acuicultura, produción de ovas, eficiencia reproductiva, manexo de peixes.

ENGLISH

Modern aquaculture faces significant challenges in optimizing reproductive processes for commercial species such as rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). In the quest to improve profitability and sustainability, it is essential to address both the efficiency of egg production and animal welfare. In this context, the present work explores the impact of the pressure applied during abdominal massage spawning on the quantity of eggs extracted and the injuries observed in the fish.

To carry out this study, a simple random sampling method was used, ensuring adequate and representative data. The results revealed that the pressure applied during spawning significantly influences both the quantity of eggs obtained and the severity of injuries in the trout. A moderate correlation was identified between the length and weight of the trout and the quantity of eggs extracted, highlighting the importance of these variables in the efficiency of the reproductive process.

Additionally, the study examined alternative spawning techniques, such as abdominal incision, which could provide improvements in reducing egg losses and enhancing sustainability in aquaculture. The implementation of these alternative methods requires a detailed evaluation of the materials and techniques used, as well as a careful consideration of animal welfare to balance maximizing production with reducing damage and losses.

Keywords: abdominal massage, aquaculture, egg production, reproductive efficiency, impact of spawning on production, fish handling.

ABREVIATURAS

- Pi: peso inicial del ejemplar de trucha arcoíris sometido a estudio.
- LT: longitud total del ejemplar de trucha arcoíris sometido a estudio.
- Pdesove: peso de las huevas obtenidas en el desove mediante masaje abdominal de uno de los ejemplares de trucha arcoíris sometido a estudio por uno de los operarios que participa en la investigación.
- Pexcedente: peso de las huevas que permanecen en el interior de la cavidad abdominal tras el desove mediante masaje abdominal de uno de los ejemplares de trucha arcoíris sometido a estudio por parte de uno de los operarios que participa en la investigación.
- Pfinal: peso final de uno de los ejemplares de trucha arcoíris sometido a estudio tras la extracción de todas las huevas presentes en la cavidad abdominal.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 CONCEPTO DE ACUICULTURA.....	1
1.2 HISTORIA Y DESARROLLO DE LA ACUICULTURA.....	1
1.3 MODALIDADES DE PRODUCCIÓN EN ACUICULTURA.....	3
1.4 TRUCHA ARCOÍRIS.....	3
1.4.1 Anatomía externa e interna de la trucha arcoíris.....	3
1.4.2 Reproducción en la trucha arcoíris.....	7
1.4.3 Ciclo de vida de la trucha arcoíris.....	7
1.4.4 La importancia del sexo en la producción de la trucha arcoíris.....	9
1.4.5 Cría de ejemplares de trucha arcoíris.....	10
1.5 PROCESO DE DESOVE EN TRUCHA ARCOÍRIS.....	12
2. OBJETIVOS.....	12
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
3.1 POBLACIÓN DE ESTUDIO.....	13
3.2 MÉTODO DE MUESTREO.....	13
3.3 ENTORNO SOCIAL.....	14
3.4 ESTUDIO.....	14
3.4.1 Extracción y selección de los ejemplares de trucha arcoíris sometidos a estudio.....	16
3.4.2 Mediciones, toma de datos y muestreo.....	19
3.4.3 Recogida y análisis de datos.....	22
4. RESULTADOS.....	22

4.1 ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS PRODUCTIVAS Y ECONÓMICAS.....	22
4.2 LESIONES ASOCIADAS AL DESOVE POR MASAJE ABDOMINAL.....	23
4.3 CORRELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES SOMETIDAS A ESTUDIO.....	26
5. DISCUSIÓN.....	28
6. CONCLUSIONES.....	33
7. BIBLIOGRAFÍA.....	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Producción mundial de la pesca de captura y la acuicultura.....	2
Figura 2: Anatomía externa de la trucha arcoíris.....	4
Figura 3: Sistema de líneas laterales en <i>Oncorhynchus</i>.....	5
Figura 4: Anatomía de la trucha arcoíris.....	6
Figura 5: Anatomía interna de una hembra de trucha arcoíris.....	7
Figura 6: Fases del ciclo de vida de la trucha arcoíris.....	8
Figura 7: Huevas de trucha arcoíris.....	8
Figura 8: Material empleado para la toma de muestras de hueva.....	15
Figura 9: Material empleado para el pesado de las huevas no extraídas mediante masaje abdominal.....	15
Figura 10: Extracción de los peces del estanque.....	16
Figura 11: Selección de los ejemplares.....	17
Figura 12: Madurez de las hembras de trucha arcoíris.....	17
Figura 13: Determinación de la presencia de hueva en el interior de la cavidad abdominal.....	18
Figura 14: Estadíos de las huevas.....	18
Figura 15: Sujeción de trucha arcoíris.....	18

Figura 16: Medición de la longitud total de un ejemplar de trucha arcoíris.....	19
Figura 17: Determinación del peso inicial de un ejemplar de trucha arcoíris.....	19
Figura 18: Deposición de las huevas sobre un escurridor seco.....	19
Figura 19: Desove de un ejemplar de trucha arcoíris mediante masaje abdominal.....	20
Figura 20: Pesado de las huevas obtenidas tras el desove de un ejemplar de trucha arcoíris.....	20
Figura 21: Recolección de las huevas no extraídas mediante masaje abdominal.....	21
Figura 22: Pesado de las huevas no extraídas mediante masaje abdominal.....	21
Figura 23: Huevas de trucha arcoíris posicionadas sobre una canaleta de 25 cm para aplicar la técnica de von Bayer.....	22
Figura 24: Comparación del desove llevado a cabo por los distintos operarios.....	24
Figura 25: Lesiones halladas en los ejemplares sometidos a estudio.....	25
Figura 26: Lesiones en el bazo.....	25
Figura 27: Mapa de calor y resultados numéricos asociados obtenidos a través de Rstudio donde se establece la correlación existente entre las variables sometidas a estudio.....	26
Figura 28: Diagrama de dispersión entre las variables sometidas a estudio obtenidos a través de Rstudio	27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Calidad de agua requerida para el cultivo de trucha arcoíris.....	11
Tabla 2: Material empleado en la selección de ejemplares y toma de muestras de hueva..	14
Tabla 3: Material empleado para el pesado de las huevas no extraídas mediante masaje abdominal.....	15
Tabla 4: Resumen de los resultados obtenidos tras el estudio.....	22

1. INTRODUCCIÓN

1.1 CONCEPTO DE ACUICULTURA

La acuicultura se conoce como el cultivo de organismos acuáticos, tanto vegetales como animales; así como, el conjunto de técnicas y conocimientos relativos al cultivo de especies acuáticas (Real Academia Española, 2023).

Mientras que la acuicultura implica la intervención en la especie para aumentar los rendimientos, y la propiedad privada de la población, la pesca de captura se refiere a la extracción de recursos acuáticos vivos de los océanos, mares y aguas continentales con fines comerciales, de subsistencia o recreativos (Enciclopedia Británica, s.f.).

Este sector enfrenta desafíos como la sobrepesca, la pesca ilegal y la degradación de los ecosistemas marinos. Es por esto que se considera a la acuicultura como una alternativa más controlada y eficiente para satisfacer la creciente demanda mundial de productos pesqueros, así como una alternativa más sostenible en comparación con la pesca extractiva (FAO, 2022).

1.2 HISTORIA Y DESARROLLO DE LA ACUICULTURA

A nivel mundial, durante el siglo XX ocurrió un notable desarrollo en la acuicultura, con un enfoque inicial en el cultivo extensivo de moluscos como ostras y mejillones, seguido por el avance hacia la cría de truchas y finalmente en el cultivo de peces marinos. Este progreso fue impulsado por mejoras técnicas que permitieron aumentar las capturas y expandir la actividad (Fernández, 2008).

Hubo un notorio crecimiento de las capturas marinas en España desde finales del siglo XIX hasta mediados del XX, con picos notables en las décadas de 1920, 1930 y 1940. Sin embargo, la contribución de la acuicultura estuvo inicialmente limitada a pioneros en ostricultura y mejillonicultura. El cultivo de ostras siguió el modelo francés de Arcachon, mientras que el mejillón se adaptó a nuevas técnicas de cultivo en cuerdas colgadas de viveros o plataformas (Fernández, 2008).

En cuanto a la cría de peces, la trucha fue una de las primeras especies en ser exitosamente reproducida y criada, tanto en Estados Unidos como en Europa, gracias a su versatilidad y adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales. En España, la cría de truchas se estableció en la segunda mitad del siglo XIX, con el surgimiento de piscifactorías orientadas a la investigación y repoblación fluvial. La trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), en particular, se convirtió en una especie destacada para la acuicultura debido a su amplio rango de tolerancia ambiental y su adaptación de la alimentación artificial (Fernández, 2008).

El desarrollo de la acuicultura en España experimentó un crecimiento significativo a partir de la segunda mitad del siglo XX, con un aumento constante en la producción de truchas y otros productos acuícolas. Las empresas pioneras establecidas en lugares como Riezu, Navarra,

aprovecharon la creciente demanda de productos pesqueros y contribuyeron al establecimiento de la industria acuícola en el país (Fernández, 2008).

El sector de la acuicultura ha adquirido en los últimos 20 años un papel principal en el sistema alimentario mundial. Dentro de este campo, durante las últimas dos décadas, los peces de agua dulce han tenido un papel fundamental en la producción mundial (Naylor et al., 2021).

En 2020 la producción mundial de animales acuáticos se estableció en torno a 178 millones de toneladas, de las cuales 90 millones de toneladas (51%) se corresponden con pesca de captura, mientras que 88 millones de toneladas (el 49%) proceden de la acuicultura. De la producción total el 37% se capturó o recolectó en aguas continentales, siendo el 83% restante procedente de la acuicultura. Según la FAO, se estima que, en 2030, la acuicultura aumentará del 49% al 53% (figura 1) (FAO, 2022).

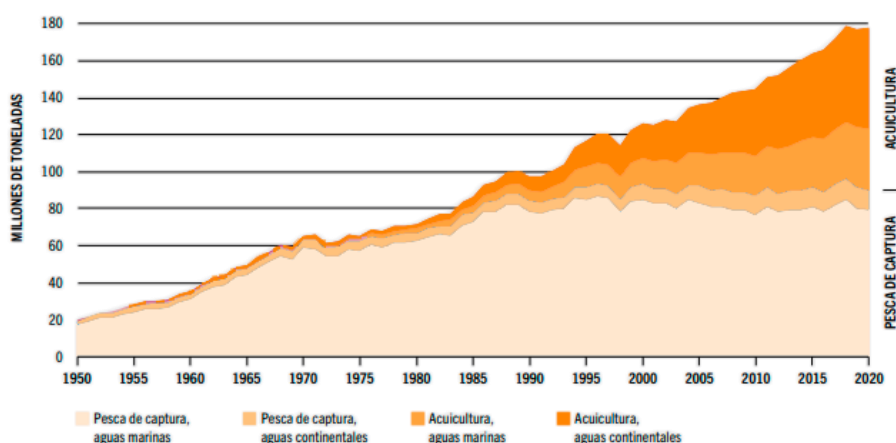


Figura 1: Producción mundial de la pesca de captura y la acuicultura. Fuente: FAO, 2022.

Además, en el 2021 la trucha arcoíris destacó en el contexto mundial según APROMAR siendo la 29ª especie producida con 952.691 t en total (APROMAR, 2023).

En 2022, las cifras de cosecha de acuicultura en España fueron de 326.520 t, donde la trucha arcoíris forma parte de las especies más producidas situándose en tercer lugar con 16.328 t en total, es decir, un 4,1% más que el año anterior (APROMAR, 2023).

Los establecimientos de acuicultura son necesarios para impulsar el desarrollo de las comunidades locales, especialmente aquellas situadas en países en vías de desarrollo. Contribuyen favorablemente a la erradicación del hambre y la malnutrición con la producción de alimentos ricos en proteínas, vitaminas, minerales y aceites esenciales, así como grasas de cadena larga poliinsaturados omega-3. Todo ello ayuda a aumentar la calidad de vida de las personas y a generar empleo, directa o indirectamente, reduciendo la pobreza y mejorando la calidad de vida de aquellas zonas con situaciones adversas en las que es difícil generar puestos de trabajo (Little et al., 2016).

El aumento del consumo per cápita de productos procedentes de piscifactorías está vinculado a también a un crecimiento esperable de la población humana, junto con una disminución de la disponibilidad de poblaciones silvestres, sumado a un aumento del poder adquisitivo impulsado por la ampliación de las zonas urbanas (FAO, 2022).

1.3 MODALIDADES DE PRODUCCIÓN EN ACUICULTURA

En el ámbito de la acuicultura, los sistemas de producción acuícola se clasifican en extensivos, semi-intensivos e intensivos, y cada uno de ellos tiene diferentes requerimientos lo que resulta en diversos impactos ambientales (Estrada et al., 2023).

Los **sistemas semi-intensivo e intensivo** destacan por maximizar la producción, alcanzando altos rendimientos. Para mantener estos niveles de producción, dependen en gran medida de alimentos comerciales, un suministro constante de energía y frecuentes recambios de agua (Estrada et al., 2023).

En contraste, los **sistemas extensivos** operan con menores densidades de peces y utilizan fertilizantes para estimular la producción natural de alimento dentro de los estanques, lo que reduce la necesidad de emplear alimentos comerciales. Hay que tener en cuenta que el uso de fertilizantes puede resultar en la contaminación del agua, lo que supone una gran desventaja (Estrada et al., 2023).

1.4 TRUCHA ARCOÍRIS

La trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) es un pez que pertenece a la familia Salmonidae y destaca en el ámbito de la acuicultura a nivel mundial beneficiando tanto a la acuicultura como a la pesca extractiva y a la piscicultura comercial (Umair et al., 2024).

Los salmónidos incluyen de 70 a 200 especies con una gran variedad de adaptaciones y ciclo de vida (Dysin et al., 2022).

Su nombre común, trucha arcoíris, es debido a la presencia de una banda irisada rosácea longitudinal que marca sus flancos junto con un punteado negro de forma estrellada que marca su cuerpo y cabeza. La coloración varía en función del medio, de la talla, del sexo, del tipo de alimentación y del grado de madurez sexual (Arregui, 2013).

1.4.1 ANATOMÍA EXTERNA E INTERNA DE LA TRUCHA ARCOÍRIS.

En cuanto a su **anatomía externa (figura 2)**, se divide principalmente en cabeza (región cefálica), cuerpo (región troncal) y cola (región caudal). Presenta un cuerpo alargado y fusiforme. Como característica común a todos los salmónidos, presenta una aleta adiposa, generalmente con un borde negro. Su coloración varía desde un azul verdoso en la zona más dorsal, seguida de una banda iridiscente longitudinal continuada por un vientre color gris plateado o blanquecino (Arregui, 2013).

Además, presentan una aleta dorsal y una aleta anal, aletas pectorales pares con función estabilizadora que le permiten pararse y aletas pélvicas o ventrales en la sección media-posterior que actúan como remos. El cuerpo finaliza en una aleta caudal con función propulsora (Arregui, 2013).

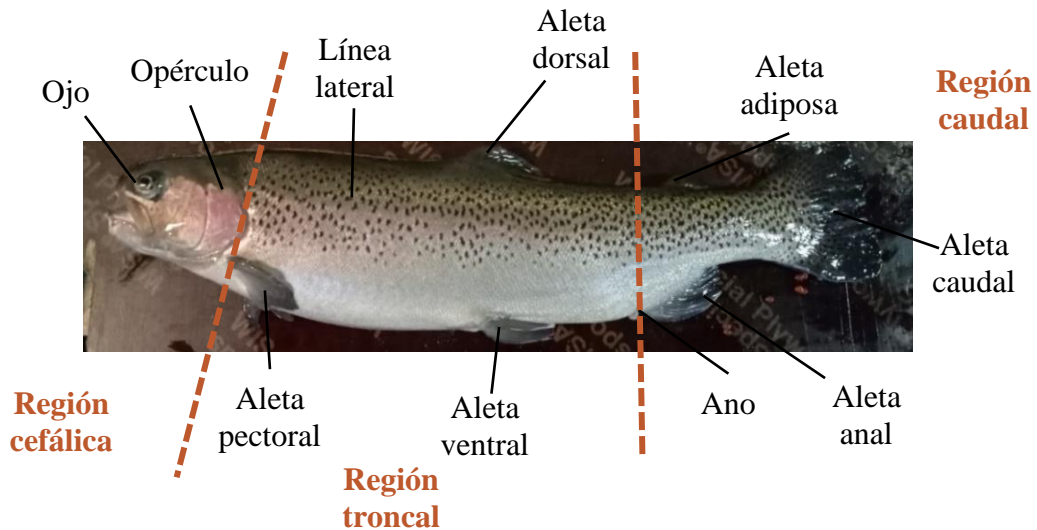


Figura 2: Anatomía externa de la trucha arcoíris. Fuente: elaboración propia.

Una característica que comparten los salmónidos es un fenómeno denominado “gonocorismo indiferenciado” lo que quiere decir que en las primeras etapas de su vida no es posible determinar microscópicamente si la glándula sexual de un ejemplar es un testículo o un ovario. Debido a esto aproximadamente hasta los cuatro meses de vida estos órganos no adquieren la estructura histológica y funcional típica (Arregui, 2013).

Cuentan con un sistema denominado línea lateral, un órgano sensorial importante tanto en peces como en especies de anfibios para detectar el flujo del agua (**figura 3**) (Nakae y Hasegawa, 2022).

La primera línea de defensa de los peces incluye el epitelio intacto y la secreción de mucus. Estas superficies mucosas enfrentan numerosos antígenos y albergan una microbiota comensal. El sistema inmunológico de las mucosas en los vertebrados combina células y moléculas inmunes innatas y adaptativas para proteger al hospedador de patógenos (Gómez, Sunyer y Salinas, 2013).

En los teleósteos, el intestino, la piel y las branquias son las principales barreras mucosas e inmunitarias. Estas contienen células productoras de moco organizadas en diferentes tipos de epitelios: columnar simple en el intestino, cúbico o escamoso en las branquias, y escamoso estratificado en la piel (Gómez et al., 2013).

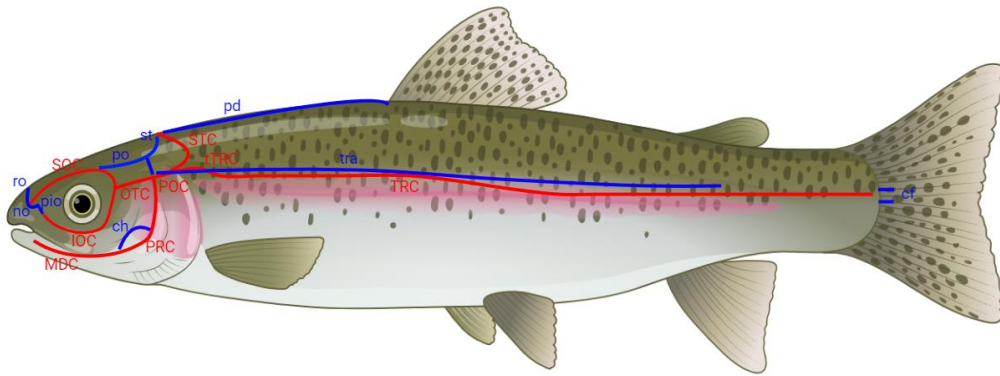


Figura 3: Sistema de líneas laterales en *Oncorhynchus*. Los canales principales se representan en color rojo y los grupos de neuromastos superficiales (es decir, las líneas accesorias) se representan en color azul. Abreviaturas: COI canal infraorbitario, MDC canal mandibular, OTC canal ótico, POS canal postótico, PRC canal preopercular, SOC canal supraorbitario, STC canal supratemporal, TRC canal troncal, tTRC porción temporal del canal troncal, cf aleta caudal, ch mejilla, no fosa, pd predorsal, pio preinfraorbitario, po postocular, ro rostral, st supratemporal, tra tronco accesorio.

Fuente: Elaboración propia adaptada de Nakae y Hasegawa, 2022.

El moco es una defensa innata crucial, compuesto principalmente por mucinas y una mezcla de proteínas, iones y lípidos. Esto crea un entorno ideal para la microbiota mientras actúa como barrera contra parásitos, bacterias y hongos (Gómez et al., 2013).

En cuanto a su **anatomía interna**, las branquias están situadas anatómicamente de forma bilateral a ambos lados de la faringe, al igual que en el resto de los peces (**figura 4**). Los filamentos branquiales, también denominados laminillas primarias, son la unidad funcional básica o subdivisión de las branquias y consisten en una serie de estructuras en forma de bolsa o arco que brindan soporte físico. Entre sus funciones se encuentran la respiración, la regulación de iones, la regulación ácido-base y la excreción de desechos nitrogenados (Demirci et al., 2022).

La estructura del riñón en las especies de peces es bastante similar, aunque en la trucha están fusionados, apareciendo como un solo órgano en lugar de dos (**figura 4**). Según la ubicación y las diferencias morfológicas se divide en riñón craneal y riñón caudal. Se trata del principal órgano para la eliminación de agua y los mecanismos de reabsorción de iones minimizan su pérdida (Demirci et al., 2022).

En cuanto al sistema circulatorio, el órgano principal es el corazón, constituido por tres dilataciones denominadas seno venoso, aurícula y ventrículo, ubicadas de forma consecutiva (**figura 4**). Se trata de un sistema de circulación único que emplea una cámara impulsora (el ventrículo) para incrementar las presiones intravasculares impulsando así la sangre. Se encuentra alojado en el interior de la cavidad pericárdica (Trainini et al., 2023).

El aparato digestivo está conformado por la boca, que presenta una lengua dura y corta en la cual se distingue un ápice, un cuerpo y presenta dientes, papilas gustativas y papilas fungiformes (Abbate et al., 2020).

Esta se continúa con el esófago, unido al estómago que a su vez se comunica con el intestino, el principal órgano de digestión y absorción en los peces. Se trata de un órgano fundamental para el equilibrio hídrico y el metabolismo y la inmunidad. Los ciegos pilóricos son cuantitativamente la parte más importante en los salmónidos. Como glándulas anejas presentan hígado y páncreas (**figura 5**) (Demirci et al., 2022).

La vejiga natatoria es un órgano interno lleno de gas ubicado en la porción dorsal del cuerpo. Está compuesto por una membrana delgada y flexible que presenta muy pocos vasos sanguíneos, que se contrae o expande dependiendo de la presión ambiental (**figura 5**). Esta presenta un conocido papel en el control de la flotabilidad, aunque también participa en la inmunidad provocando respuestas inmunitarias en las mucosas (Yu et al., 2022).

Los peces maduros sexualmente presentan grandes gónadas. En el caso de los machos se trata de testículos pares, siendo órganos que a veces se extienden a lo largo de toda la cavidad abdominal. Cada uno se continúa con un conducto genital que finaliza en el seno urogenital, desde donde los espermatozoides se liberan al medio externo. En el caso de las hembras, se encuentran los ovarios. Estos también discurren a lo largo de toda la cavidad abdominal, siendo más amplios que los testículos. La pared anterior del seno urogenital está perforada por un par de poros genitales, a través de los cuales los óvulos salen al exterior donde ocurrirá la fecundación (Bioinnova, 2024).

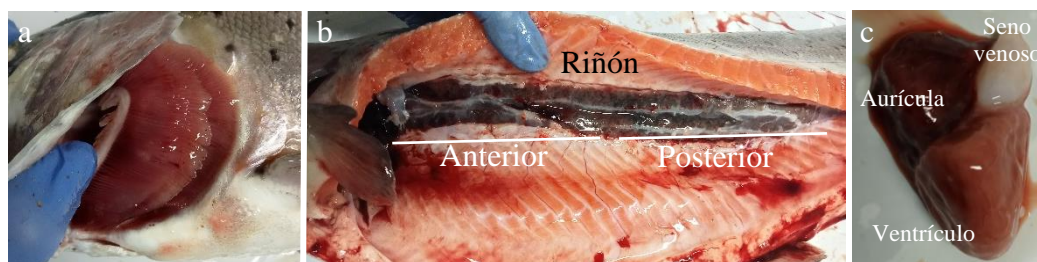


Figura 4: Anatomía de la trucha arcoíris. a: Branquias situadas por debajo del opérculo de un ejemplar de trucha arcoíris. b: Riñón en el interior de la cavidad abdominal de una trucha arcoíris. c: Corazón de trucha arcoíris. Fuente: elaboración propia.

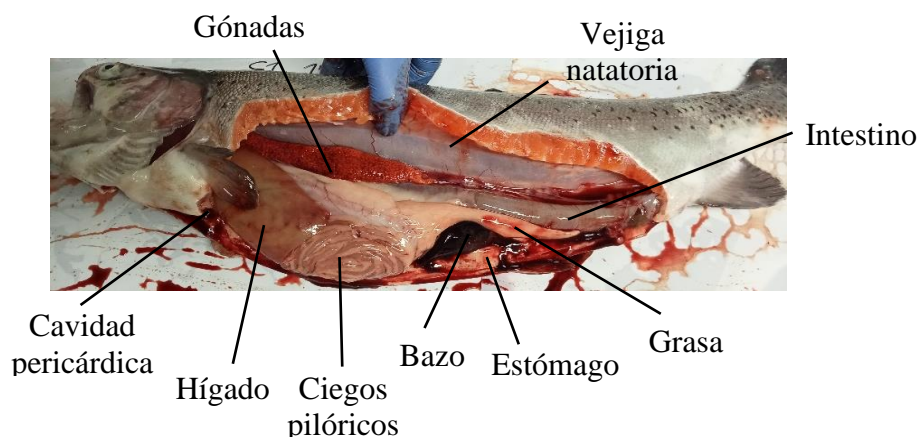


Figura 5: Anatomía interna de una hembra de trucha arcoíris. Fuente: elaboración propia.

1.4.2 REPRODUCCIÓN EN LA TRUCHA ARCOÍRIS

Es una especie ovípara que se reproduce en zonas poco profundas, con fondo de grava y corriente rápida. Al alcanzar la madurez, remonta el curso de agua, completa su desarrollo, y cerca de la desembocadura realiza el cortejo y la fecundación (Arregui, 2013).

La reproducción de las truchas, al igual que la del resto de salmónidos, es sexual y externa, por lo que tanto la hembra como el macho depositan libremente en el agua las huevas y el semen respectivamente produciéndose así la fecundación. Además, se trata de una reproducción cíclica que tiene lugar una vez al año y en una época determinada, entre los meses de noviembre a febrero, debido a la influencia de las condiciones climáticas, aunque también influyen el estado sanitario, la turbidez y las horas de luz (de la Oliva, 2011).

En los últimos 20 años se ha popularizado extensamente el empleo de luz artificial para inducir un fotoperiodo artificial para manipular la madurez sexual de los reproductores de trucha arcoíris. Aumentando o disminuyendo el número de horas de luz diaria disponible para los reproductores, se induce el adelanto o el atraso del desove. Gracias a esto se consigue manipular el comportamiento de la glándula pineal y el hipotálamo, estructuras encargadas de sintetizar hormonas reproductivas tales como la hormona liberadora de gonadotropina, estradiol, progesterona y testosterona, encargadas de regular el desarrollo gonadal en los peces y, por tanto, establecer cuando se producirá el desove (Vilcherrez y Pardo-Figueroa, 2022).

1.4.3 CICLO DE VIDA DE LA TRUCHA ARCOÍRIS

El ciclo de vida de la trucha arcoíris consta de 7 etapas: fecundación, desarrollo embrionario, eclosión, larva, alevín, juvenil y maduración sexual.

En primer lugar, se produce la freza de los gametos (huevas y espermatozoides) y, una vez se ha realizado la fertilización de las huevas, estas son incubadas en el nido construido por la hembra. Su evolución depende de la temperatura del agua siendo la óptima entre 8-12°C. Al finalizar el

desarrollo embrionario, la larva se alimenta del saco vitelino y, entre 14 y 20 días después, según la temperatura del agua, se transforma en alevín y asciende a la superficie. En esta fase comienzan a nadar libremente, buscando por sí mismos el alimento y continuando su desarrollo. La siguiente etapa es la de juvenil, donde los organismos tienen las mismas características que los adultos en cuanto a comportamiento (nado a contracorriente y captura de las presas), con la diferencia de que no han madurado sexualmente todavía. La última etapa es la de adulto, donde entre los 15-18 meses de edad maduran sexualmente cambiando de coloración y adquiriendo las características típicas de la trucha adulta (figura 6) (de la Oliva, 2011).

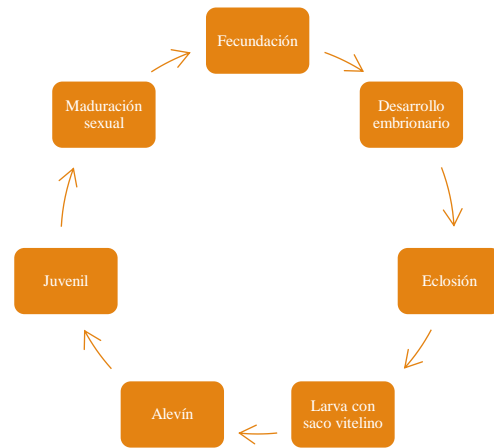


Figura 6: Fases del ciclo de vida de la trucha arcoíris. Fuente: Elaboración propia.

Cuando la hueva es expulsada a través del poro genital se encuentra en fase de hueva verde hasta que, una vez es fecundada, aparece el ojo del embrión y pasa a la fase de hueva embrionada (figura 7) (Maíz et al., 2010).

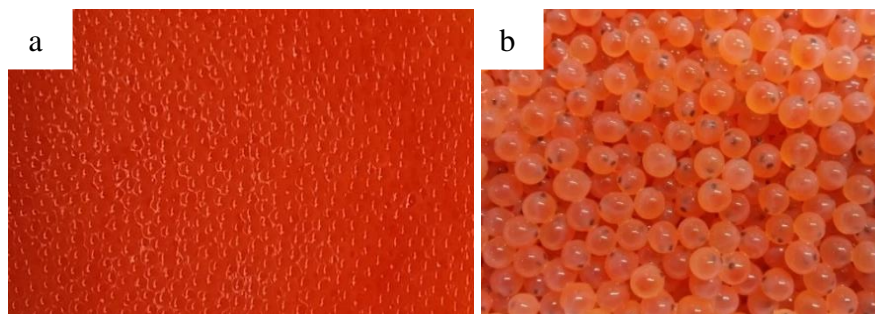


Figura 7: Huevas de trucha arcoíris. a. Hueva no embrionada de trucha arcoíris (“hueva verde”); b. Hueva embrionada de trucha arcoíris (“hueva con ojos”). Fuente: elaboración propia.

En una empresa dedicada a la producción de huevas de trucha arcoíris, una trucha puede tener varias puestas productivas durante su ciclo de vida. La cantidad exacta de puestas productivas puede variar dependiendo de las condiciones específicas de manejo y de los métodos de reproducción utilizados. Sin embargo, en términos generales, las truchas arcoíris utilizadas en la producción de huevas pueden tener alrededor de dos a tres puestas anuales, con un rendimiento que puede variar según factores como la edad, el tamaño y la salud de los peces (Troutlodge, 2024).

1.4.4 LA IMPORTANCIA DEL SEXO EN LA PRODUCCIÓN DE LA TRUCHA ARCOÍRIS

El desarrollo temprano de las gónadas en los peces cultivados puede afectar negativamente la producción de músculo en estos animales. Esto sucede porque cuando los peces empiezan a desarrollar sus órganos reproductores, la energía que normalmente se usaría para crecer y desarrollar músculo se dirige hacia la producción de esperma o huevos. Como resultado, los peces tienen un mayor índice de conversión, lo que significa que necesitan más alimento para crecer. Además, el valor comercial de estos peces disminuye debido a los cambios en el color y la textura de su carne que ocurren como consecuencia de este proceso. Un hecho importante es que las hembras de trucha arcoíris tienden a madurar más tarde y a alcanzar un mayor tamaño en comparación con los machos. Por lo tanto, tener una producción de peces que consiste únicamente en hembras puede ofrecer grandes ventajas en términos de rendimiento y calidad del producto final (Arregui, 2013).

En el cultivo de truchas y salmones, se utilizan técnicas de reversión sexual basadas en el fenómeno llamado gonocorismo para crear una población de peces "todo hembra". Este proceso implica manipular los alevines que serán utilizados para la reproducción. Para obtener estos peces, se les administra una pequeña cantidad de hormonas masculinas durante el primer mes de vida. Como resultado, todos los alevines se convierten en machos, que también se conocen como "neomachos". Aunque estos peces tienen características masculinas y pueden producir esperma, mantienen un genotipo XX, que es el genotipo típico de las hembras. Al llegar a la madurez sexual, estos machos producen esperma que contiene el cromosoma X. Sin embargo, debido a que no pueden expulsar este esperma de manera natural, se sacrifican para extraer sus testículos. El esperma extraído se utiliza para fecundar huevos de hembras normales, produciendo únicamente hembras con genotipo XX (Arregui, 2013).

Para llevar a cabo la masculinización de los alevines, se administran andrógenos a través de la alimentación o mediante inyecciones. La administración de estas hormonas se realiza durante el primer mes de vida de los alevines, cuando son más receptivos a los efectos hormonales. En el método más común, se incorpora una pequeña cantidad de andrógenos en el alimento de los alevines. Estos compuestos, como la 17 α -metiltestosterona, la 11-ketotestosterona, la 19-nor-etiniltestosterona y el fadrozol, son hormonas sintéticas que promueven el desarrollo de características masculinas. El alimento enriquecido con estas hormonas se distribuye de manera uniforme entre los alevines durante un período específico, asegurando que todos reciban la dosis necesaria para inducir la masculinización. En algunos casos, también se pueden utilizar inyecciones directas para administrar los andrógenos. La administración controlada de estas hormonas permite transformar a los alevines en machos funcionales. Este proceso es crucial para obtener una población de truchas o salmones compuesta únicamente por hembras, lo que ofrece ventajas en la producción y calidad del pescado (Doğan, 2023).

Las técnicas de reversión sexual son empleadas también en otras especies de peces de acuicultura. Aunque existen otras diferentes a las mencionadas anteriormente (como el empleo de ingeniería genética para la producción de individuos monosexo con material genético YY en ejemplares de tilapia), la reversión sexual mediante la aplicación de hormonas es la más comúnmente empleada actualmente (Félix-Cuencas et al., 2024).

1.4.5 CRÍA DE EJEMPLARES DE TRUCHA ARCOÍRIS

Para el cultivo de truchas, se escogen lugares próximos a fuentes de agua tales como ríos o lagunas. Los ejemplares se cultivan de forma controlada en estanques, es decir, un cuerpo de agua poco profundo cuya construcción permite el vaciado fácil y completo. Estos pueden ser semi-naturales, artificiales, de presa o de derivación (de la Oliva, 2011).

El **estanque seminatural** es un cuerpo de agua confinado que sufre cierto acondicionamiento por parte del hombre. Se utiliza preferentemente aquel que se encuentre sobre terreno arcilloso para evitar filtraciones (de la Oliva, 2011).

El **estanque artificial** está diseñado y construido con fines piscícolas (de la Oliva, 2011).

El **estanque de presa** es aquel que puede construirse como una manera de un embalse y como una secuencia de estanques aprovechando un declive del terreno. Suele instalarse en la parte más baja de un valle construyéndose un muro transversal que forma una pequeña presa de contención y el agua proviene generalmente de un manantial o de pequeños cursos de agua (de la Oliva, 2011).

Un **estanque de derivación** es aquel que se construye aprovechando las características topográficas del terreno. El agua que los abastece es derivada del río, riachuelo o manantial hacia los estanque mediante un canal. Estos a su vez se dividen en:

- **Estanques en rosario o serie:** son estanques que se encuentran uno a continuación de otro, unidos por un solo canal. El abastecimiento del agua se produce mediante la llegada del canal al primer estanque y el agua que sale de éste ingresa al siguiente y así sucesivamente (de la Oliva, 2011).
- **Estanques en paralelo:** se construyen de forma paralela presentando cada uno de ellos abastecimiento y desagüe independiente que facilita la limpieza (de la Oliva, 2011).
- **Estanques mixtos:** estanque en paralelo y continuos (de la Oliva, 2011).

En la cría de truchas, la calidad de agua es fundamental, dado que se trata del medio en el que se van a desarrollar. Es necesario conocer y mantener los parámetros del agua como la temperatura, oxígeno, turbidez, pH y amonio para asegurar una buena producción acuícola (**tabla 1**) (de la Oliva, 2011).

La trucha arcoíris no tiene capacidad para regular su temperatura corporal, por lo que depende totalmente del medio acuático en el que vive. En condiciones naturales puede vivir en aguas con

temperaturas de entre 0° y 25°C, mientras que cuando se trata de cría artificial, los límites adecuados se encuentran entre los 9°C y los 17°C. Para su cría, los valores deseables se encuentran en un rango de 6,5 a 9, dado que son los más apropiados para la producción. Además, se estima que las tasas mínimas de oxígeno son de 5 a 5,5 mg/l para peces en crecimiento mientras que los alevines precisan de 6 a 7 mg/l. En cuanto a la turbidez, esta resulta un factor negativo en la cría de la trucha arcoíris, puesto que prefieren aguas cristalinas y puras. Las sustancias amoniacaes son producto de la excreción de los peces, por lo que un exceso de carga de peces por estanque implicará una alta concentración de amonio que tendrá consecuencias negativas ocasionando daños en las branquias y retardo en el crecimiento de los peces (de la Oliva, 2011).

Temperatura	De 7,2 a 17,0°C para crecimiento De 7,2 a 12,8°C para reproducción e incubación
pH	6,7-9,0
Oxígeno disuelto	Mayor a 5 mg/L
Salinidad (ppt)	0-35
Dióxido de carbono	<2 mg/L
Calcio	>52 mg/L
Zinc	<0,04 mg/L a pH de 7,6
Amonio	<0,012 mg/L como NH ₃
Nitrito	<0,55 mg/L
Nitrógeno	<110% de saturación total
Sólidos suspendidos	Menor a 80 mg/L
Sólidos disueltos	<400 mg/L
Ácido sulfhídrico	<0,0002 mg/L

Tabla 1: Calidad de agua requerida para el cultivo de trucha arcoíris. Fuente: de la Oliva, 2011.

Para el cultivo de la trucha arcoíris, los procesos esenciales son el desove, la fertilización y la incubación. El desove consiste en la liberación de gametos, es decir, la expulsión de los óvulos por parte de las hembras y del esperma por parte de los machos. La fertilización es el procedimiento mediante el cual se hace interactuar artificialmente los gametos, formándose el cigoto y, posteriormente, iniciándose el desarrollo embrionario. Finalmente, se procede a la incubación de los huevos embrionados para obtener nuevos ejemplares de trucha arcoíris (de la Oliva, 2011). La cantidad de huevas obtenidas y, en consecuencia, la cantidad de ejemplares nacidos está determinada fundamentalmente por la calidad y efectividad en el proceso de desove, por lo que se trata de un procedimiento de gran relevancia en la productividad del cultivo.

1.5 PROCESO DE DESOVE EN TRUCHA ARCOÍRIS

La metodología de desove para la obtención de huevas de hembras reproductoras más empleada en trucha arcoíris es mediante masaje abdominal (FAO, 2009), es decir, la sujeción de animal por el pedúnculo caudal con la mano izquierda y la aplicación de ligera presión sobre el abdomen en dirección cráneo-caudal para expulsar las huevas. Un método alternativo es el empleo de presión de gas inyectado en la cavidad del cuerpo, lo que causa la liberación de las huevas (Kowalski et al., 2018).

Pese a que la metodología basada en la inyección de aire implica una mayor lentitud, también presenta como ventajas la uniformidad de presión sobre toda la masa de huevas, un flujo de salida regular y una mayor tasa de supervivencia en un año en trucha arcoíris (Kowalski et al., 2018).

El desove mediante masaje abdominal presenta la desventaja de que algunas huevas pueden quedar en la cavidad abdominal, reduciendo la productividad y la cantidad de crías obtenidas, lo que afecta a la disponibilidad de alimento.

Una opción sería instaurar una metodología alternativa basada en el desove llevado a cabo en los esturiones para la obtención de caviar negro. En las piscifactorías dedicadas a la venta de caviar negro procedente del esturión, los peces adultos que poseen huevas en su interior se enfrían lentamente en aguas heladas para reducir su movimiento y ayudar a su inconsciencia previa al desove. Posteriormente el pez se eutanasia mientras permanece inconsciente, se limpia y se realiza una incisión longitudinal en el abdomen en dirección cráneo-caudal para la extracción de los sacos de huevas que se tamizan, se lavan las huevas verdes y se filtran por segunda vez, se escurren y se reservan, se curan con sal y se clasifican (Leavitt, 2023).

En el caso de la trucha arcoíris, una hembra suele tener hasta tres puestas productivas a lo largo de su vida en los establecimientos dedicados a la producción de huevas (Troutlodge, 2024). Utilizar la metodología del esturión en todas las puestas no sería viable, ya que implicaría sacrificar a las truchas después de cada desove, lo que no es eficiente ni sostenible. Por lo tanto, sería posible aplicar esta metodología de desove solo en la tercera y última puesta productiva. De esta manera, se maximizaría la cantidad de huevas obtenidas antes del sacrificio del pez y se potenciaría la productividad y calidad del producto final. No obstante, es fundamental considerar las implicaciones éticas y económicas, así como la viabilidad técnica y logística de implementar este método en truchas arcoíris, donde tradicionalmente se emplea el masaje abdominal para el desove.

2. OBJETIVOS

1. **Análisis de la eficiencia del desove mediante masaje abdominal.** Se pretende evaluar la cantidad de huevas extraídas y no extraídas (peso del desove y peso excedente) para determinar la eficiencia de la técnica de masaje abdominal en trucha arcoíris.

2. **Identificar las correlaciones entre variables morfológicas y de producción.** Se busca estudiar las relaciones entre longitud, peso inicial, peso final, peso del desove, peso excedente y peso total de huevas para comprender como influyen estas variables en la producción de huevas.
3. **Análisis de las consecuencias físicas del desove por masaje abdominal.** Se busca evaluar las posibles lesiones y el estrés físico que sufren las truchas arcoíris durante el proceso de desove mediante masaje abdominal.
4. **Explorar la viabilidad de métodos alternativos de desove.** Considerar la aplicación de técnicas de desove utilizadas en esturiones en la tercera puesta productiva de trucha arcoíris para maximizar la producción de huevas.
5. **Estudio de las diferencias de productividad asociadas a los operarios.** Examinar cómo las habilidades de los operarios influyen en la eficiencia del desove, la cantidad de huevas extraídas y las lesiones observadas en los peces.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 POBLACIÓN DE ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo sobre 288 ejemplares de trucha arcoíris hembras de tres lotes diferentes que se encontraban en su última puesta productiva y, por tanto, que serían descartadas tras la misma, siendo el número medio de 26 ejemplares empleados diariamente. Estos presentaban una longitud total media de 63,36 cm siendo el máximo de 75 cm y el mínimo de 48 cm. En cuanto a su peso inicial medio, este fue de 2,97 kg siendo el máximo de 5,57 kg y el mínimo de 1,18 kg.

3.2 MÉTODO DE MUESTREO

Para la realización del estudio, se escogió un método de muestreo probabilístico aleatorio simple, de tal forma que, dentro de la población de estudio, todos los individuos tienen la misma probabilidad de ser elegidos (Vázquez, 2017). Para evitar sesgos, se implementaron métodos de observación no intrusivos y se aseguró la confidencialidad de los datos recogidos (Rocha et al., 2008).

Dado que la metodología más empleada actualmente para el desove de trucha arcoíris es la aplicación de masaje abdominal con recogida de huevas en seco, esta fue la utilizada para el desarrollo del estudio.

El muestreo se llevó a cabo durante 12 días comprendidos en un periodo de 9 semanas entre los meses de febrero y abril de 2024 alternando la recogida de datos entre los lunes y los martes de cada semana a diferentes horas del día.

3.3 ENTORNO SOCIAL

En este estudio se llevó a cabo el análisis de datos productivos de la trucha arcoíris en una empresa acuícola, lo que implicó la participación activa y altruista de los operarios encargados del desove de estas. El entorno laboral de esta empresa estuvo marcado por roles sociales definidos y una estructura organizacional jerárquica, en la que el personal considerado de rangos distintos (veterinarios responsables y operarios), no estaba acostumbrado a trabajar en conjunto diariamente ni a establecer un equipo colaborativo funcional.

En la presente investigación, se contó con la colaboración de cinco operarios con edades diferenciadas entre los veinte y los cincuenta años aproximadamente y con personalidades muy diversas. Dentro de las personalidades, existían dos antagónicas en dos de los operarios; uno de ellos presentó una personalidad asertiva, habituado a trabajar de forma más independiente y de colaboración fuera de su grupo social habitual, pero estuvo muy implicado en su trabajo de forma que este resultó efectivo. Otro de los operarios, por el contrario, era muy empático, con gran capacidad de entendimiento, diálogo y trabajo en equipo. El equipo de trabajo estaba compuesto por personal que había desarrollado una dinámica de grupo consolidada con el tiempo a través del trabajo en conjunto. Por ello, la integración en el equipo fue fundamental, especialmente considerando que era imprescindible contar con confianza y colaboración desinteresada.

3.4 ESTUDIO

El estudio consistió en un análisis del masaje abdominal empleado en el desove de la trucha arcoíris, determinando la cantidad de hueva que permanecía en el interior de la cavidad abdominal de aquellas truchas que ya habían sido desovadas.

Se realizó de forma secuencial, empleando un ejemplar de cada vez y se dividió en dos fases, una en las proximidades del estanque a desovar para la toma de muestra de huevas y otra en el laboratorio donde se realiza el pesado de estas.

En función de la fase de desarrollo del estudio, el material se dividió en material empleado para la toma de muestras de hueva (**tabla 2; figura 8**) y material empleado para el pesado de las huevas (**tabla 3; figura 9**).

MATERIAL PARA LA SELECCIÓN DE EJEMPLARES Y TOMA DE MUESTRAS			
Cubas	Guantes de látex	Báscula de medición en	Mango y hoja de bisturí
Sacaderas	Guantes de lana	kilogramos	Cubos
Polipasto	Tabla	Cuchara	Tabla para la toma de datos
Anestésico	Metro	Duquesas de 125 mL	
Mesa de selección	Limpiacristales	Lápiz	
Bomba de agua	Escurreidor	Rotulador permanente	

Tabla 2: Material empleado en la selección de ejemplares y toma de muestras de hueva.

Fuente: Elaboración propia.

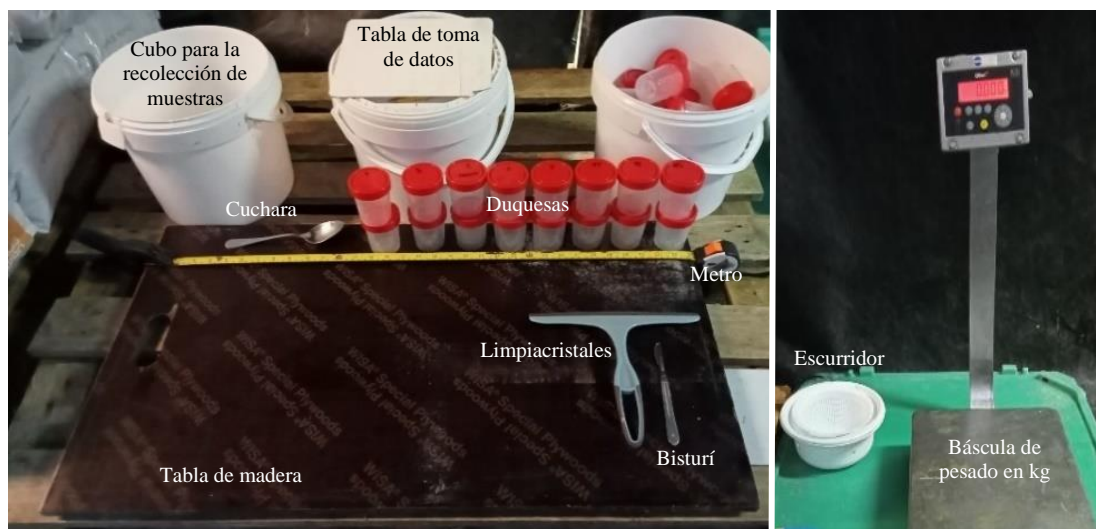


Figura 8: Material empleado para la toma de muestras de huevo. Fuente: Elaboración propia.

MATERIAL PARA EL PESADO DE LAS HUEVAS
Colador
Vaso recolector
Pinzas
Báscula de medición en gramos
Duquesa de 125 mL

Tabla 3: Material empleado para el pesado de las huevas no extraídas mediante masaje abdominal. Fuente: Elaboración propia.



Figura 9: Material empleado para el pesado de las huevas no extraídas mediante masaje abdominal. Fuente: Elaboración propia.

3.4.1 EXTRACCIÓN Y SELECCIÓN DE LOS EJEMPLARES DE TRUCHA ARCOÍRIS SOMETIDOS A ESTUDIO

En primer lugar, los operarios procedieron a la extracción de los animales del agua mediante el empleo de sacaderas para su introducción en cubas de agua con metanosulfato de triclaína disuelto en agua a una dosis de 50 mg/L para anestesiárlas, dado que se trataba de ejemplares de gran tamaño cuya fuerza dificultaba mucho el manejo y podían ser dañadas al oponerles resistencia. Posteriormente, mediante el empleo de un polipasto, estas truchas fueron depositadas por el personal de la empresa sobre una mesa de selección, donde se detectaron las hembras reproductoras adecuadas para su desove (**figura 10**).

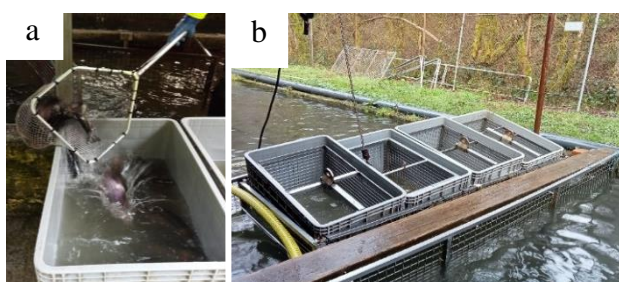


Figura 10: Extracción de los peces del estanque. a. Empleo de una sacadera para la extracción de los peces presentes en el estanque y su introducción en cubas con agua y anestésico; b. Sistema de cubos con jaulas para el transporte de las truchas a la mesa de selección mediante el empleo de un polipasto. Fuente: Elaboración propia.

La mesa de selección estaba conectada a un sistema de tubos a través de los cuales discurría agua extraída del estanque con ayuda de una bomba de agua. Además, contaba con una porción agujereada sobre una cestilla para la recolección de las huevas que habían podido permanecer en esta además de evitar la acumulación de agua y mucus en la superficie de selección (**figura 11**).

La selección de las hembras reproductoras se llevó a cabo en dos fases. En primer lugar, se realizó un examen visual de los ejemplares para diferenciar aquellas hembras maduras que presentaban una marcada distensión abdominal de las hembras inmaduras con inexistencia de esta. Además, en el caso de las hembras maduras se observaba el poro genital aumentado de tamaño y enrojecido (**figura 12**).



Figura 11: Selección de los ejemplares. a. Mesa de selección de los ejemplares de trucha hembra reproductora; b. Inicio del sistema de tuberías con el punto de entrada de agua en las mismas; c. Punto de salida de las truchas inmaduras o maduras sin presencia de huevas en su interior a través del sistema de tubos; d. Porción final del sistema de tubos a través de la cual las truchas son devueltas al estanque; e. Sistema de recolección de las huevas que puedan permanecer en la mesa de selección; f. Bomba de agua empleada para la extracción de agua del estanque para su inclusión en el sistema de tuberías de la mesa de selección. Fuente: Elaboración propia.



Figura 12: Madurez de las hembras de trucha arcoíris. a. Hembra reproductora inmadura de trucha arcoíris, con ausencia de distensión abdominal; b. Hembra reproductora madura de trucha arcoíris con presencia de distensión abdominal y el poro genital aumentado de tamaño y enrojecido. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se ejerció una ligera presión abdominal con la mano para determinar la presencia o la ausencia de huevas en el interior de la cavidad abdominal de las reproductoras

(**figura 13**). Existían dos posibilidades, que se tratase de huevas viables, las cuales presentaban una coloración naranja-rosada y se podían emplear para una posterior fecundación con espermatozoides, o, por el contrario, que se tratase de huevas no viables que presentaban una coloración naranja transparente con un punteado naranja central, que habían permanecido en el abdomen por un tiempo prolongado, siendo actualmente inútiles para la fecundación posterior (**figura 14**).



Figura 13: Determinación de la presencia de hueva en el interior de la cavidad abdominal.

Fuente: Elaboración propia.

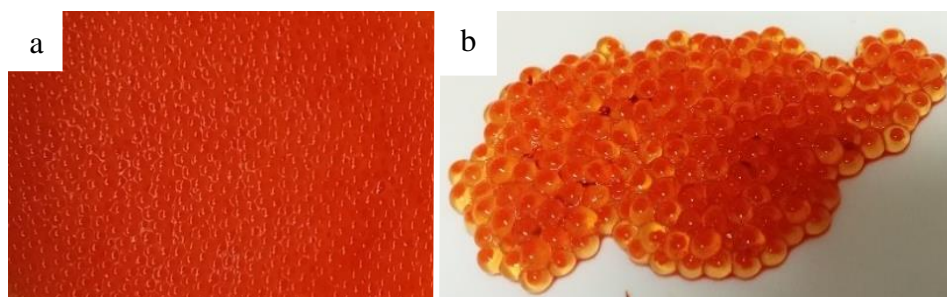


Figura 14: Estadios de las huevas a. Huevas verdes viables de trucha arcoíris; b. Huevas verdes inviables de trucha arcoíris. Fuente: Elaboración propia.

Aquellas truchas inmaduras o maduras que no presentaban hueva en el interior de la cavidad abdominal fueron devueltas al estanque mediante el sistema de tubos situado en la mesa de selección. En cambio, aquellas truchas maduras que presentaban hueva viable en el interior del abdomen fueron seleccionadas para llevar a cabo el estudio.

La captura de las truchas se llevó a cabo mediante su sujeción por el pedúnculo caudal con la mano izquierda provista de guante de lana, sujetando el cuerpo por su parte ventral con la mano derecha (**figura 15**).



Figura 15: Sujeción de trucha arcoíris. Fuente: Elaboración propia.

3.4.2 MEDICIONES, TOMA DE DATOS Y MUESTREO

En primer lugar, los operarios llevaron a cabo la eutanasia de los ejemplares mediante aturdimiento eléctrico, y se procedió a la medición de los mismos desde su parte más rostral hasta su parte caudal para establecer su longitud total (LT) (**figura 16**). Posteriormente, se posicionó sobre la báscula para establecer su peso inicial (Pinicial) (**figura 17**).



Figura 16: Medición de la longitud total de un ejemplar de trucha arcoíris. Fuente: elaboración propia.

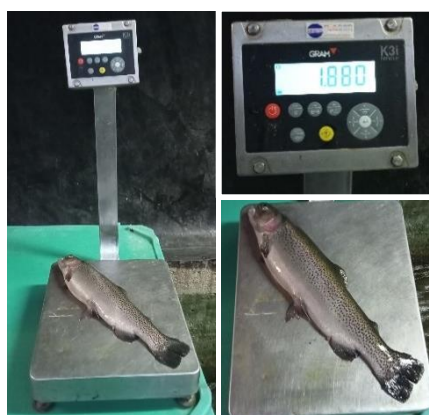


Figura 17: Determinación del peso inicial (Pinicial) de un ejemplar de trucha arcoíris. Fuente: Elaboración propia.

En segundo lugar, uno de los operarios se encargó del desove de la trucha sobre un escurridor seco para la deposición higiénica de las huevas asegurando la separación del fluido ovárico (**figura 18**).



Figura 18: Deposición de las huevas sobre un escurridor seco. Fuente: Elaboración propia.

Para realizar el desove, los trabajadores sostuvieron la trucha por el pedúnculo caudal con la mano izquierda manteniendo el cuerpo del pez oblicuamente con la cabeza hacia arriba, con la mano derecha y los dedos pulgar e índice efectuaron una ligera presión y suaves fricciones en la

parte ventral de la trucha, desde la altura de la aleta pectoral orientando hacia el poro genital u oviducto (**figura 19**).



Figura 19: Desove de un ejemplar de trucha arcoíris mediante masaje abdominal. Fuente: elaboración propia.

Tras tarar el escurridor, se procedió al pesado de las huevas extraídas por el operario tras el desove del ejemplar determinando el peso de huevas obtenidas tras el desove (Pdesove) (**figura 20**).



Figura 20: Pesado de las huevas obtenidas tras el desove de un ejemplar de trucha arcoíris. Fuente: Elaboración propia.

Para determinar la cantidad de hueva que permanecía tras el empleo de masaje abdominal en el interior de la cavidad, se realizó la apertura de esta mediante una incisión longitudinal por la línea media desde el ano hasta la mandíbula. Posteriormente, se extrajo la hueva manualmente y se recogió mediante el empleo de una cuchara, introduciéndola en una duquesa de 125 mL previamente numerada (**figura 21**).

Para poder llevar un control de los resultados obtenidos, una vez extraída toda la hueva presente en la cavidad abdominal de cada uno de los ejemplares, se procedió al pesado de la misma sobre la báscula obteniendo un resultado en kg del peso final del animal (Pfinal).



Figura 21: Recolección de las huevas no extraídas mediante masaje abdominal. a. Apertura de la cavidad abdominal de un ejemplar de trucha arcoíris; b. Extracción manual de las huevas no extraídas mediante masaje abdominal; c. Cuchara para la recolección de las huevas en el interior de una duquesa previamente numerada; d. Huevas procedentes de un ejemplar de trucha arcoíris recolectadas en el interior de una duquesa.

Fuente: Elaboración propia.

Tras la recogida de muestras, una vez en el laboratorio, se procedió a colar las huevas presentes en cada una de las duquesas de forma individual para asegurar la separación de fluido ovárico, así como de mucus que había podido recogerse junto a estas. Además, con la ayuda de unas pinzas, se eliminaron los coágulos de sangre que habían podido generarse tras la recogida de cierta cantidad de sangre extraída tras la apertura de la cavidad abdominal. Posteriormente se taró la duquesa en una báscula que permitía la obtención de un resultado en gramos y se procedió al pesado de las huevas obteniendo el peso de aquellas que habían permanecido en el interior de la cavidad abdominal de cada una de las truchas que se habían desovado mediante el empleo de masaje abdominal (Pexcedente) (**figura 22**).



Figura 22: Pesado de las huevas no extraídas mediante masaje abdominal. a. Colado de las huevas para separar el mucus y el fluido ovárico que haya podido recogerse; b. Pesado de las huevas mediante el empleo de una báscula. Fuente: Elaboración propia.

Tras la obtención del resultado, se procedió a la hidratación de las huevas durante 24 horas para realizar una posterior determinación del número de huevas por litro utilizando la técnica de

von Bayer. Esta se basa en determinar el tamaño de la huevo mediante su colocación en una sola hilera en una canaleta (de 25 cm) y contar el número de huevos que caben (**figura 23**) (Troutlodge, 2019). La operación se repite 10 veces en cada lote para sacar un promedio y, leyendo la tabla de von Bayer, se determina a cuantas huevos por litro corresponde el número promedio de huevos contadas.



Figura 23: Huevas de trucha arcoíris posicionadas sobre una canaleta de 25 cm para aplicar la técnica de von Bayer. Fuente: Elaboración propia.

Establecer cuantos gramos de huevos de corresponden con un litro de estas, permite conocer el número total de huevos y, por tanto, establecer una primera previsión de las huevos que podrán ser comercializadas al final del proceso y, por tanto, la estimación de las pérdidas económicas que se están generando. Para ello se introducen las huevos hidratadas en una jarra con capacidad de 1 litro y se pesan con ayuda de una báscula (Troutlodge, 2019).

3.4.3 RECOGIDA Y ANÁLISIS DE DATOS

Tras la toma de muestras, los datos fueron recogidos y analizados en conjunto en una hoja de cálculo de MS Excel (Microsoft®, versión 2405).

Además, se llevó a cabo un estudio de la correlación existente entre las diferentes variables sometidas a estudio, se emplearon mapas de calor y gráficas de dispersión elaboradas con Rstudio (Posit, versión 2022.02.0).

4. RESULTADOS

4.1 ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS PRODUCTIVAS Y ECONÓMICAS

Los resultados obtenidos tras la realización del estudio se recogen en la tabla 4.

Operario	Truchas/ operario	Huevo perdida/ operario (g)	%Huevo perdida/ operario	Huevo perdida/ trucha/ operario (g)	Huevas perdidas/ trucha/ operario	Valor perdido/trucha /operario (€)	Dinero perdido/lote/ operario (€)
1	52	790,64	4,01	15,20	202	3,04	12.160
2	29	932,69	6,15	23,52	308	4,61	18.440
3	65	932,69	3,31	14,35	188	2,81	11.420
4	55	2080,4	9,15	37,82	495	7,42	29.680
5	86	1599,06	4,68	18,59	243	3,65	14.600
Estimación de pérdidas económicas (€)					Estimación de ganancias económicas (€)		
Por trucha		Por lote		Porcentaje	Por trucha		Por lote
4,31		10.775		5,47	74,53		186.325

Tabla 4: Resumen de los resultados obtenidos tras el estudio. Fuente: Elaboración propia.

Tras la finalización del estudio, se apreciaron diferencias en la cantidad de truchas desovadas por operario en función de la cantidad de días que permanecieron presentes durante el estudio, teniendo en cuenta periodos vacacionales, su personalidad y predisposición a participar y la preferencia individual por extraer a los animales de los estanques o por el desove de los ejemplares.

Cada uno de los operarios obtuvo un peso total de hueva perdida en gramos (Pexcedente) diferente en función de la cantidad de truchas desovadas por cada uno y, según su habilidad y experiencia, la cantidad de presión ejercida y la amplitud del recorrido seguido sobre el abdomen de los ejemplares.

Posteriormente se procedió al cálculo del porcentaje de gramos de hueva perdida por cada operario, comparando la hueva extraída mediante incisión abdominal y la hueva total presente en las truchas desovadas.

Como no todos desovaron el mismo número de truchas, fue necesario estimar la cantidad de gramos perdidos por trucha según el operario encargado del desove.

Se determinó que, como la cantidad de huevas que cabían en una canaleta de 25 cm era de 53, existía un total de 11.245 huevas en cada litro.

Según los datos, la media de huevas perdidas por operario fue de aproximadamente 287 huevas. Dado que el precio estimado era de 15 euros por cada 1000 huevas (Sáez, comunicación personal), se estimó que el valor de las pérdidas por trucha fue de 4,31 €.

Teniendo en cuenta que el número medio de truchas de última puesta que existían en cada lote era de 2500 ejemplares, las pérdidas por lote ascenderían a los 17.240 €.

Teniendo en cuenta que el número medio de huevas extraídas por los operarios por trucha durante el desove fue de 4969, se determinó que se obtenía una ganancia media en euros por trucha de 74,53 €. Dado que un lote estaba conformado aproximadamente por 2500 ejemplares (Sáez, comunicación personal), las ganancias por lote serían de 186.325 €.

Según estos datos, se estaría produciendo un 5,47% de pérdidas económicas.

4.2 LESIONES ASOCIADAS AL DESOVE POR MASAJE ABDOMINAL

Durante la ejecución del proyecto se apreciaron consecuencias físicas asociadas al desove dependiendo de la intensidad con la que se ejerza el mismo. En base a esto se detectaron distintas características en la cavidad abdominal de los ejemplares dependiendo del operario encargado del desove de las mismas (**figura 24**).

Mientras que en las truchas desovadas por los operarios 4 y 5, se mantenía estable la integridad de los órganos incluidos en la cavidad abdominal de las truchas, en el caso de los operarios 1 y 3, se apreciaba un aumento de la aparición de las lesiones, con un consecuente aumento de la cantidad de sangre presente en la cavidad tras el desove.

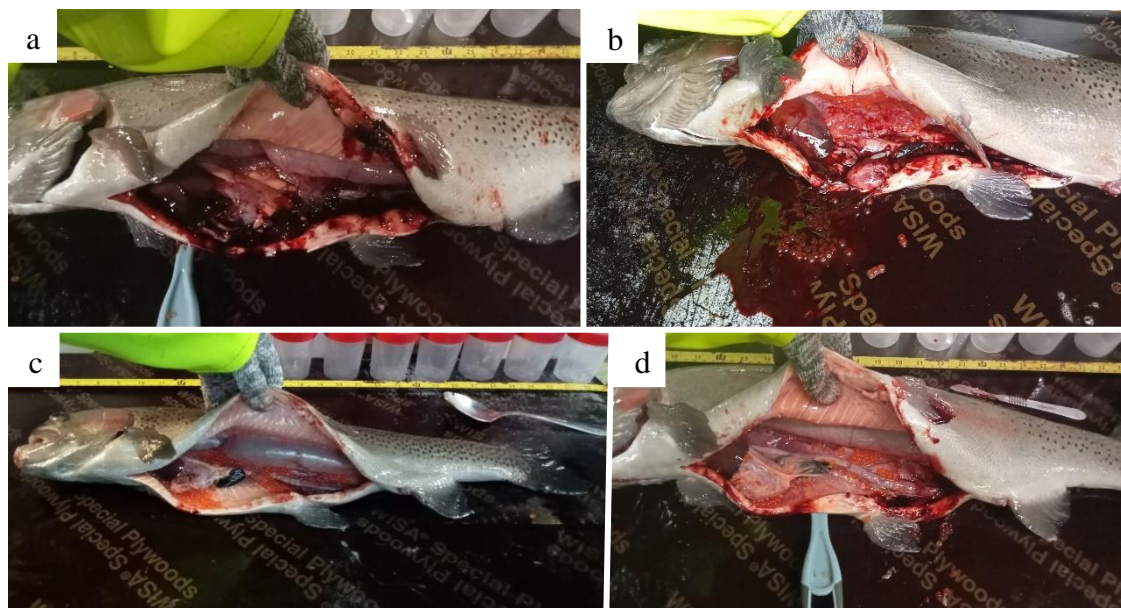


Figura 24: Comparación del desove llevado a cabo por los distintos operarios. a. Ejemplar desovado por el operario 1; b. Ejemplar desovado por el operario 3; c. Ejemplar desovado por el operario 4; d. Ejemplar desovado por el operario 5. Fuente: Elaboración propia.

Dentro de las lesiones encontradas, una de las más llamativas y frecuentes (aproximadamente en un 30% de los casos) fue la aparición del hígado aumentado de tamaño con bordes romos, una coloración heterogénea fundamentalmente morada oscura con zonas rojizas (sobre todo en los bordes) y de consistencia friable. Presentaban nódulos esféricos de 3-5 cm de diámetro, de coloración heterogénea morada con zonas amarillas grisáceas en la superficie y de consistencia blanda. A la apertura de estos se apreciaba una coloración heterogénea amarilla y roja, con la presencia de coágulos de sangre consistencia friable de color rojo intenso que penetraban en el parénquima y se disponían de forma multifocal (**figura 25**).

Otra lesión frecuentemente hallada en los ejemplares de trucha arcoíris sometidos a estudio fue la aparición de un bazo disminuido de tamaño con coloración heterogénea amarilla pálida y marrón violácea de consistencia blanda. A la apertura del mismo se apreciaba una coloración amarilla pálida en toda la extensión interna del parénquima (**figura 25**).

En tercer lugar, se detectó en algunos casos la expulsión del bazo a través del ano con su consiguiente deposición sobre el escurridor (**figura 26**).

También se apreció un aumento de sangre en el interior de la cavidad abdominal de aquellas truchas que presentaban lesiones como consecuencia de la fuerza ejercida sobre las mismas durante el desove.

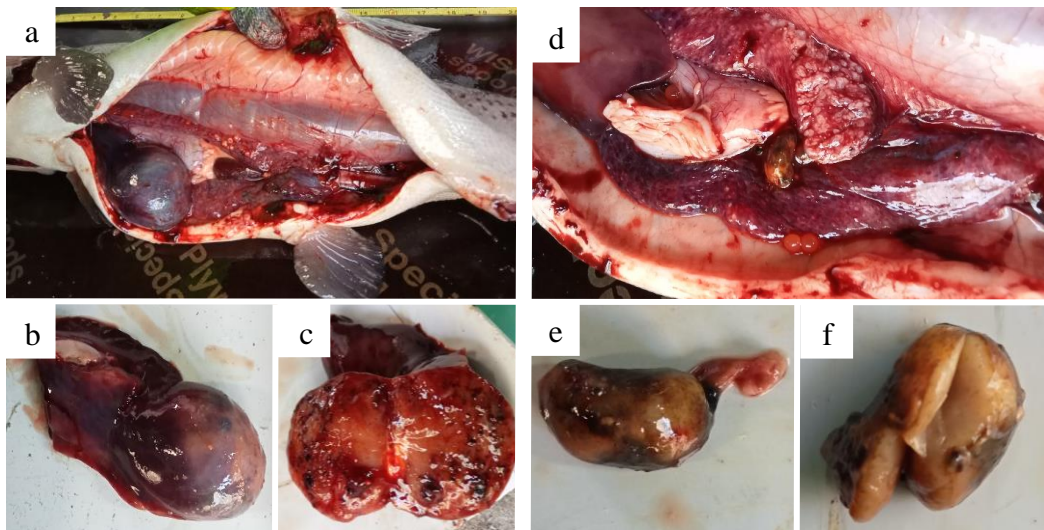


Figura 25: Lesiones halladas en los ejemplares sometidos a estudio. a. Presencia de hígado aumentado de tamaño en el interior de la cavidad abdominal de un ejemplar de trucha arcoíris previamente desovado; b. Nódulo presente en la parte caudal del hígado mencionado en la figura anterior; c. Apertura del nódulo presente en el hígado con presencia de coágulos de sangre; d. Bazo disminuido de tamaño en el interior de la cavidad abdominal de una trucha arcoíris previamente desovada; e. Bazo disminuido de tamaño con coloración heterogénea amarilla pálida y marrón violácea; f. Incisión realizada mediante el empleo de bisturí sobre el bazo apreciándose una coloración amarilla pálida en toda la extensión de su parénquima. Fuente: Elaboración propia.

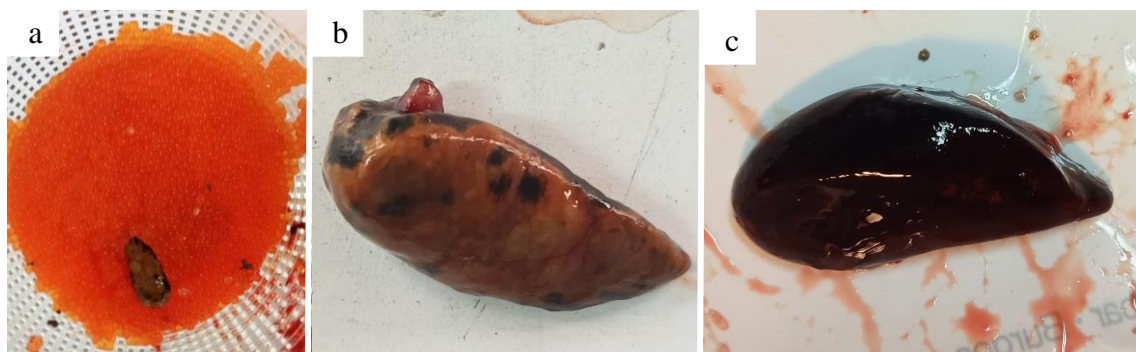


Figura 26: Lesiones en el bazo. a. Bazo en el escurridor de deposición de las huevas extraído de la cavidad abdominal a través del ano; b. Bazo con coloración amarilla pálida heterogénea y marrón violácea con aumento de tamaño, bordes romos y consistencia friable; c: bazo de trucha arcoíris con estructura anatómica macroscópica normal.

Fuente: Elaboración propia.

4.3 CORRELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES SOMETIDAS A ESTUDIO

Posteriormente se llevó a cabo un análisis estadístico de la correlación existente entre las diferentes variables sometidas a estudio. El siguiente análisis presenta tanto un mapa de calor (figura 27) como gráficas de dispersión (figura 28) para comprender las relaciones existente entre las variables medidas en truchas arcoíris durante un estudio de producción de huevas.

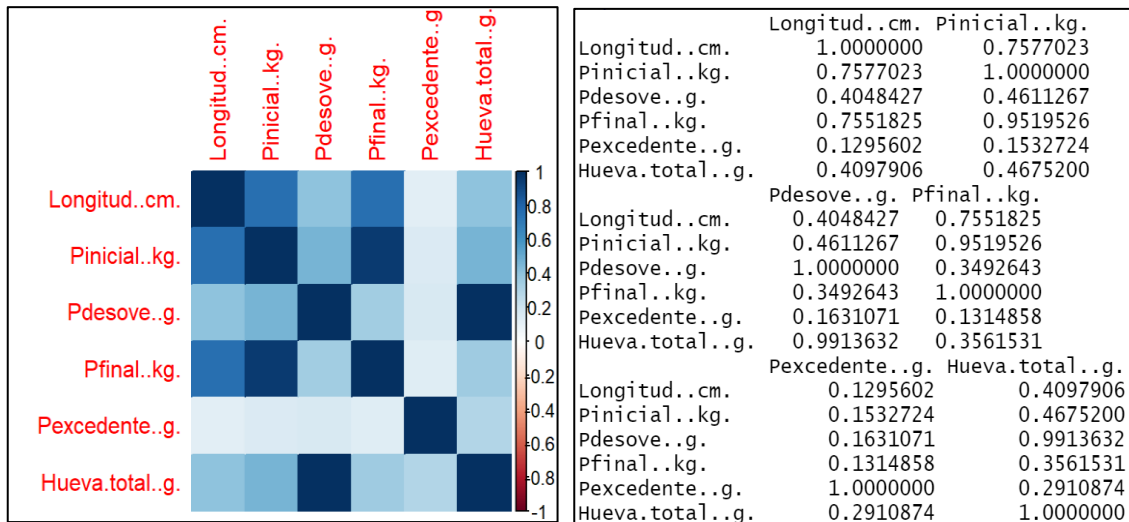


Figura 27: Mapa de calor y resultados numéricos asociados obtenidos a través de Rstudio donde se establece la correlación existente entre las variables sometidas a estudio.

El mapa de calor muestra las correlaciones entre las variables, destacando:

- **Longitud total y peso inicial (75,7%):** existe una correlación positiva fuerte entre la longitud total de la trucha y su peso inicial, lo que indica que las truchas más largas tienden a tener un mayor peso inicial.
- **Peso del desove y peso excedente (99,1%):** existe una correlación casi perfecta entre el peso del desove (cantidad de huevas extraídas mediante masaje abdominal) y el peso excedente (huevas que permanecen en la cavidad abdominal), sugiriendo que una mayor cantidad de huevas extraídas también está asociada con una mayor cantidad de huevas no extraídas.
- **Peso inicial y peso final (95,2%):** el peso inicial está altamente correlacionado con el peso final, indicando que las truchas que son más pesadas al inicio del estudio tienden a seguir siendo más pesadas al final del mismo.
- **Peso del desove y peso inicial (46,1%):** hay una correlación positiva moderada entre el peso del desove y el peso inicial de la trucha.
- **Peso total de huevas y peso excedente (29,1%):** existe una correlación positiva moderada entre el peso total de huevas y el peso excedente.

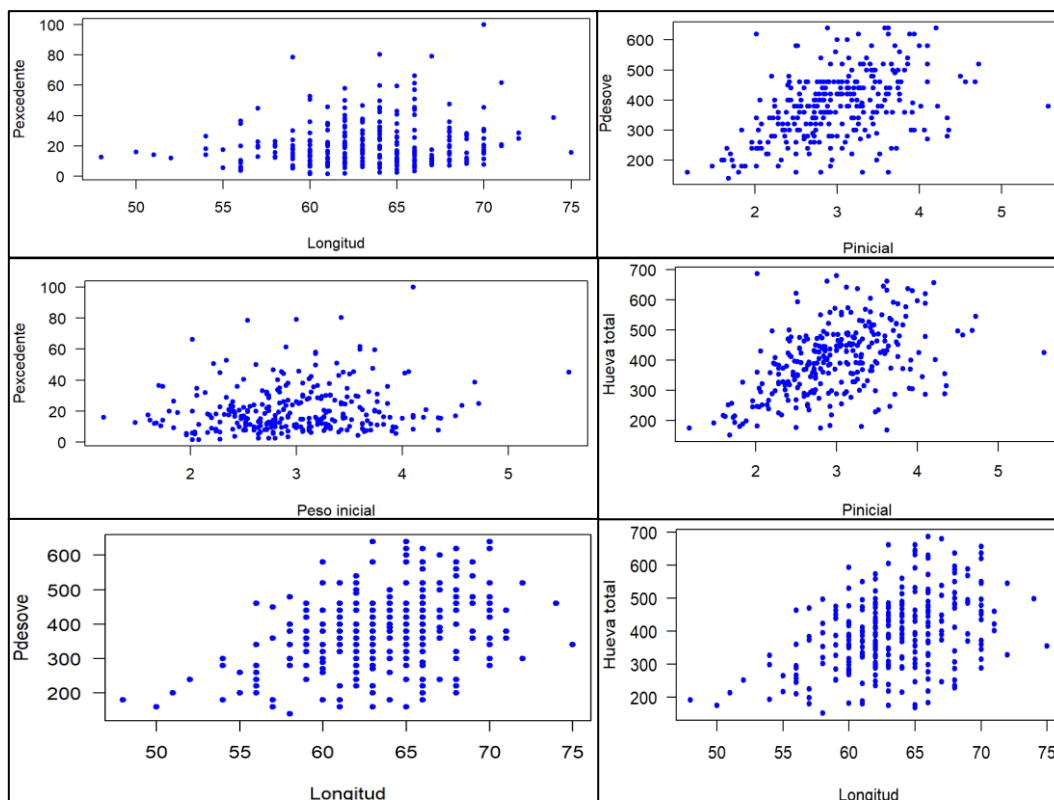


Figura 28: Diagramas de dispersión entre las variables sometidas a estudio obtenidos a través de Rstudio.

Las gráficas de dispersión complementan el mapa de calor al mostrar visualmente cómo se relacionan las variable:

- **Longitud y peso excedente:** la gráfica muestra una dispersión amplia, indicando una correlación débil entre estas variables, como se observó en el mapa de calor (16,3%).
- **Peso inicial y peso del desove:** la correlación moderada (46,1%) se refleja en la dispersión de puntos, mostrando una tendencia ascendente, pero con una gran variabilidad.
- **Peso inicial y peso total de huevas:** la gráfica muestra una tendencia ascendente, consistente con la correlación moderada observada, indicando que las truchas con mayor peso inicial tienden a producir más huevas.
- **Longitud y peso del desove:** existe una relación positiva entre la longitud de la trucha y el peso del desove, aunque con variabilidad, reflejando la correlación moderada observada (40,4%).
- **Peso inicial y peso excedente:** la dispersión amplia indica una relación débil, en línea con la baja correlación observada (13,1%).
- **Longitud y peso total de huevas:** la gráfica muestra una tendencia positiva, confirmando la correlación moderada (40,9%) entre estas variables.

5. DISCUSIÓN

El estudio supuso inicialmente desafíos de colaboración debido a la estructura jerárquica de la empresa, la presencia de grupos estáticos de trabajadores en la misma y la necesidad de trabajar con personas con distintas personalidades y habilidades para trabajar en equipo, que además presentaban cierta incomodidad a raíz de la aplicación del estudio. Para superar esto, fue imprescindible trabajar estrechamente con los operarios integrándose en sus tareas diarias y aprendiendo de ellos, lo que facilitó la confianza y la colaboración.

El equipo de trabajo, compuesto por cinco operarios de edades y personalidades diversas, requiere de una coordinación y cooperación efectivas, así como, de la integración de sus diferentes habilidades. La organización y el trabajo en equipo son claves, aprovechando las habilidades de los operarios tanto asertivo como empático. El trabajo en equipo supone una cooperación estructurada para lograr una meta compartida, utilizando las interdependencias entre los miembros y sus habilidades, conocimientos y experiencias particulares (Cardona y Wilkinson, 2006).

El equipo enfrenta desafíos comunes en estructuras jerárquicas, como el individualismo, y necesita fomentar la cooperación y la retroalimentación. Durante la investigación, todos los operarios desarrollan y practican habilidades de retroalimentación como dar y recibir (Cardona y Wilkinson, 2006). Para evitar las tendencias endogámicas e individualistas de los grupos organizacionales estructurales, es importante fomentar la movilidad, el intercambio y la colaboración externa en los grupos de trabajo (Rocha, Sempere y Sebastián, 2008).

La formación de un equipo de trabajo es significativa cuando existe una meta común y las tareas de sus miembros son interdependientes, lo que requiere de cooperación para completar el trabajo y mejorar su calidad (Gómez y Acosta, 2003). La participación de los operarios en el desove fue variable según su disponibilidad, personalidad y experiencia.

En el presente estudio, se empleó un método de muestro probabilístico aleatorio simple ya que, pese a su mayor coste y menor precisión, presenta como ventaja una mayor facilidad de comprensión y sus resultados son extrapolables (Malhotra, 2008).

Además, permite aplicar aleatoriedad al muestreo, eliminándose lo máximo posible por lo tanto el sesgo de selección, la principal variable extraña que podría haber afectado a la investigación (Malhotra, 2008).

Se estimaron unas pérdidas económicas que suponen un porcentaje medio-bajo (8,47%) en relación a las ganancias, suponiendo que un cambio en la metodología de trabajo supone inversión de tiempo para la formación de los empleados, así como de dinero para la adquisición de materiales y adaptación de las instalaciones para la realización de desove mediante incisión abdominal.

En cuanto a las diferencias entre las pérdidas económicas según el operario encargado del desove, aunque el operario 4 ejerció una menor presión sobre la cavidad abdominal de las truchas por lo que se incrementó el bienestar de los ejemplares y se disminuyó su mortalidad, el valor de la pérdida de hueva es un 37,89% superior a la del operario 3. Esto supone que es imprescindible la búsqueda de un equilibrio entre el aumento de la producción de huevas y la presión ejercida sobre el abdomen para evitar la aparición de lesiones asociadas y disminuir la mortalidad y las pérdidas productivas que derivan finalmente en pérdidas económicas.

Según los datos obtenidos, atendiendo exclusivamente a la productividad por trucha según el operario encargado del desove, se observa que las pérdidas de hueva son inferiores en el caso del operario 3, mientras que las pérdidas del operario 4 son superiores a las de cualquier otro operario, variando la pérdida entre un 3,31% y un 9,15%. El porcentaje de hueva perdida por operario, así como la cantidad de huevas perdidas por trucha dependiendo del operario que realice el desove vienen condicionadas por la experiencia, la fuerza ejercida sobre cada ejemplar, el recorrido seguido sobre el abdomen y la cantidad de pasadas realizadas por operario sobre cada trucha.

De este modo, aunque en principio una mayor experiencia suele resultar en una mayor cantidad de hueva extraída en relación con la cantidad presente en el interior de la cavidad abdominal, esto no siempre es así. La experiencia también contribuye al desarrollo de una técnica de desove efectiva, influyendo en otros factores mencionados anteriormente. Una mayor experiencia permite ejercer una fuerza controlada sobre la trucha para minimizar los daños, realizar un recorrido más amplio desde la zona craneal hasta la caudal, y reducir el número de pasadas necesarias. Esto se observa en el operario 4, a pesar de tener una técnica más controlada debido a su mayor experiencia, tiene mayores pérdidas de hueva que el resto de los operarios. Por otro lado, el operario 2, debido a su falta de experiencia en el desove, presenta una mayor pérdida productiva en comparación con algunos de sus compañeros.

Una menor cantidad de hueva perdida implica una mayor productividad por trucha de tal forma que al abrir la cavidad abdominal de las truchas desovadas por los diferentes operarios, se observa una relación inversa entre la presión ejercida sobre la trucha y la cantidad de hueva perdida. Además, hay una relación directa entre la fuerza aplicada y la cantidad de sangre y lesiones encontradas. Esto genera problemas en varios niveles.

En primer lugar, a nivel de bienestar animal, una preocupación ética a la que se ha dedicado una gran atención durante los últimos años. Los peces poseen los rasgos neuronales, fisiológicos, conductuales y cognitivos necesarios para ser considerados como seres sintientes. Esto implica que es necesaria la implementación de medidas que mejoren el bienestar de los peces a todos los niveles, incluyendo el sufrimiento físico derivado del desove (Saraiva et al., 2024).

También supone un problema productivo a largo plazo, dado que la presión ejercida y por tanto la cantidad de lesiones asociadas al desove no es dependiente del lote, de tal forma que aquellas truchas que se encuentren en sus primeras puestas productivas van a ser desovadas con

la misma presión, con el aumento de la cantidad de lesiones que implica y un aumento de mortalidad consecuente. Si aumenta la mortalidad en las primeras puestas productivas, habrá un menor número de ejemplares que sigan el proceso productivo, obteniéndose una menor cantidad de huevos por puesta.

Además, el número de pasadas que el operario ejerce sobre la pared de la cavidad abdominal está directamente relacionado con la cantidad de mucus desprendido de la superficie de la piel y con una disminución de la protección de las truchas. El mucus es una sustancia protectora contra los tóxicos y la descamación, que impide la fijación de parásitos y facilita la natación al reducir la resistencia al agua (Gómez et al., 2013). La disminución de la cantidad y producción de mucus y mucina da como resultado el acceso de los patógenos a las células epiteliales y propicia la formación de un nicho más estable para posibles infecciones (Sharba et al., 2022). Esto resulta en una mayor susceptibilidad a enfermedades en los lotes, aumentando las pérdidas directas por mayor mortalidad y las pérdidas indirectas debido a los gastos en tratamiento.

Atendiendo a la integridad física de las truchas, existe una gran diferencia dependiendo del operario encargado de su desove. De esta forma se puede observar que el operario 3, cuyo desove es más eficiente en cuanto a la cantidad de huevo extraída, ejerce una mayor presión sobre la trucha para su desove, provocando un aumento en la cantidad de sangre en el interior de la cavidad abdominal y, por lo tanto, de la cantidad de posibles lesiones asociadas. Sin embargo, el operario 4, aquel cuyo desove es el menos eficiente, ejerce una menor presión, siendo un desove mucho más uniforme y desencadenando una menor cantidad de lesiones.

En los ejemplares de trucha arcoíris estudiados se identifican varias lesiones, destacando nódulos esféricos de color morado amarillento con coágulos de sangre distribuidos multifocalmente. Esto sugiere una posible ruptura hepática con hemorragias de posible origen traumático. El síndrome idiopático de la trucha arcoíris incluye lesiones hepáticas similares, a menudo causadas por el estrés y la manipulación durante la extracción de huevos, siendo común la presencia de estos nódulos (Godoy, 2024).

Otra lesión comúnmente observada es la reducción del tamaño del bazo, acompañado de tejido fibroso de coloración amarilla distribuido tanto en el interior como en la superficie del parénquima. La literatura científica ha documentado diversos cambios morfológicos y patológicos que pueden ocurrir en el bazo de los peces teleósteos en respuesta a diferentes tipos de estrés. En varios estudios se detecta una reducción significativa en el tamaño del bazo, así como la presencia de tejido fibroso en el parénquima esplénico, como mecanismos de cicatrización después de lesiones o manipulación física excesiva (Alami-Durante et al., 2021). Gomes et al. (2022) destacan el papel que juega la formación de tejido fibroso en el bazo de peces de cultivo sometidos a condiciones de estrés y Li et al. (2021) han observado efectos fisiológicos e histopatológicos similares en el bazo del pez cebra bajo estrés crónico. Estos cambios morfológicos en el bazo podrían estar relacionados con una respuesta adaptativa común en los

teleósteos para hacer frente a diversas formas de estrés, incluyendo el estrés físico asociado al desove (Fazio, 2022).

También se observa la expulsión del bazo a través del ano, resultado de la aplicación de una fuerza excesiva que causa el desprendimiento de su lugar anatómico habitual y su desplazamiento a través de la cavidad abdominal durante el desove por masaje abdominal, hasta su deposición en el escurridor donde se recolectan las huevas. Esta situación es perjudicial tanto para la integridad física interna de los peces como para su homeostasis, ya que el bazo es un órgano que desempeña un papel crucial en la fisiología y el sistema inmunitario de los peces (Alami-Durante et al., 2021).

Estas observaciones subrayan la importancia de aplicar una técnica adecuada de desove para minimizar las lesiones y reducir la mortalidad en los lotes de truchas en sus primeras puestas productivas. Los hallazgos encontrados en ejemplares individuales pueden ser aplicables a nivel de grupo dando una mejor idea al observador de lo grave y extendido que se encuentra el problema de bienestar en toda la población (Noble et al., 2020).

Una acción interesante habría sido realizar un estudio sobre los ejemplares en sus primeras puestas productivas presentes en los estanques durante los días posteriores al desove. Esto implicaría llevar a cabo necropsias en aquellos que hubieran muerto, con el fin de detectar posibles lesiones asociadas al desove y al manejo. Las necropsias pueden ser una herramienta valiosa para investigar los efectos del manejo traumático en los peces, ya que permiten identificar lesiones y cambios fisiológicos internos que no serían detectables externamente (Fazio et al., 2013). Esto puede ser de gran utilidad para mejorar las prácticas de manejo y minimizar la mortalidad de las truchas, mejorando su bienestar y productividad en las primeras puestas. De esta manera, se podría realizar un análisis detallado de las muertes relacionadas con el manejo de las truchas, cuantificando su número y determinando las causas para estimar las pérdidas productivas debido a la mortalidad producida por el desove, así como identificar las acciones que se pueden llevar a cabo para reducir dichas pérdidas.

En cuanto al análisis estadístico de la correlación de variables mediante el empleo de un mapa de calor y diagramas de dispersión, se determinó que existe una relación positiva moderada entre la longitud total de la trucha y la cantidad total de hueva presente en el interior de su cavidad abdominal (40,98%) y hueva desovada por trucha (40,48%) así como entre el peso inicial de la trucha y la cantidad de hueva desovada (46,11%) y la cantidad de hueva total presente en cada trucha (46,75%). Un coeficiente de correlación entre 0,3 y 0,5 (es decir, una relación entre el 30% y el 50%) indica una relación positiva moderada entre las variables. Esto sugiere que, si bien existe una asociación entre el tamaño de la trucha y la cantidad de hueva, esta no es tan fuerte como para decir que el tamaño influye de manera determinante en la cantidad de hueva (Schober et al., 2018).

Aunque estos resultados sugieren que un mayor tamaño de la trucha podría implicar una mayor cantidad de hueva presente en el interior de la cavidad abdominal antes del desove, el estudio de

Migaud et al. (2007) en salmón atlántico indica que la correlación entre el tamaño de los peces y la calidad de los gametos, incluyendo el volumen de huevos, no es tan marcada.

Migaud et al. (2007) evaluaron el efecto de la composición espectral y la intensidad de la luz sobre los niveles de melatonina, el estrés y el daño retinal en salmón atlántico post-smolt (*Salmo salar*). Los autores encontraron que el tamaño de los peces (longitud y peso) se correlacionaba de manera positiva con la calidad de los gametos, incluyendo el volumen de huevos. Esto sugiere que las características de los reproductores, como el tamaño, pueden influir en la calidad de la puesta y el éxito reproductivo en salmónidos.

Otros estudios llevados a cabo en truchas arcoíris han corroborado estos hallazgos. Aegerter y Jalabert (2004) encontraron una correlación positiva entre el tamaño de las hembras y la calidad de los huevos, mientras que Król y Zakes (2016) observaron que las truchas de mayor tamaño produjeron un mayor número de huevos de mejor calidad. Asimismo, Lahnsteiner y Leitner (2013) señalaron que factores como la temperatura y la nutrición de los reproductores también pueden influir en la calidad de los gametos.

Por lo tanto, aunque no existe una correlación positiva tan fuerte como para decir que el tamaño de la trucha influye de manera determinante en la cantidad de hueva presente en el interior de su cavidad abdominal (Migaud et al., 2007), diversos estudios sugieren que las características de los reproductores, incluyendo su tamaño, pueden ser importantes para mejorar la calidad y el éxito reproductivo en la acuicultura de truchas arcoíris.

En base a los resultados obtenidos en el estudio, pese a que la cantidad de hueva perdida por trucha en cada desove no es tan elevada como para que resulte significativa, es posible que se quiera implementar el nuevo método de desove basado en la incisión abdominal para reducir al máximo las pérdidas de hueva en las truchas que se encuentren en su última puesta productiva.

En tal caso, sería interesante un estudio complementario centrado en la viabilidad de las huevas tras su extracción por incisión abdominal. Esto implicaría evaluar la posibilidad de que las huevas extraídas de esta manera puedan ser embrionadas posteriormente sin sufrir daños en su integridad. Para ello, sería necesario diseñar un protocolo específico para el desove de las truchas mediante incisión abdominal, asegurando que se evite la contaminación y se mantenga la integridad de las huevas, permitiendo así su posterior embrionado.

También se podría estudiar y establecer un protocolo de actuación novedoso, implementando los materiales necesarios en el proceso. Además, sería importante analizar el tiempo requerido en la nueva metodología. De esta manera, se podría determinar si dicho tiempo dista mucho del desove por masaje abdominal. Finalmente, se evaluaría si esta nueva metodología seguiría siendo rentable a este nivel.

Pese a que las pérdidas no sean significativas, en un mundo en constante cambio en el que el movimiento de la población hacia las zonas urbanas se traduce en un aumento del poder adquisitivo y en el que el aumento de la supervivencia supone un aumento de la población (FAO,

2022), es necesaria la búsqueda de metodologías alternativas para incrementar la cantidad de alimento de calidad, como es el pescado, a nivel global de forma sencilla y rentable. El desarrollo de la acuicultura, incluyendo la implementación de técnicas mejoradas de reproducción, puede ser una opción viable para incrementar la disponibilidad de alimentos de origen acuático a nivel global (Tacon y Metian, 2013; Gjedrem et al., 2012).

Además, este estudio se centra en un estudio de la productividad y aumento de la misma en trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), es decir, una de las especies de mayor comercialización a nivel mundial y nacional (FAO, 2022), por lo que un aumento en su producción tendrá grandes consecuencias y será relevante a nivel mundial.

6. CONCLUSIONES

La cantidad de hueva encontrada en el interior del abdomen tras el desove por masaje abdominal varía dependiendo del operario, siendo algunos mucho más eficientes en la extracción de la hueva que otros.

La experiencia y la técnica de desove de los operarios influye significativamente en la productividad y bienestar de las truchas. Las diferencias en la presión aplicada y el número de pasadas afectan la cantidad de hueva extraída y las lesiones en las truchas, subrayando la necesidad de técnicas adecuadas para minimizar daños y reducir la mortalidad.

Aunque una mayor presión abdominal puede aumentar la cantidad de hueva extraída de la trucha, implica un aumento de las lesiones en el interior de la misma implicando un aumento de la mortalidad en aquellos animales que sigan en la explotación para posteriores puestas productivas.

Aumentar el número de pasadas puede disminuir la cantidad de mucus protector lo que conlleva una depresión del sistema inmune con la consecuente aparición de patologías.

Las características físicas de los ejemplares sometidos a estudio (longitud total, peso inicial de la trucha y peso final de la trucha) presentan una correlación positiva baja o moderada entre sí y con la cantidad de hueva extraída mediante masaje y/o incisión abdominal.

Implementar un nuevo método de desove basado en la incisión abdominal podría reducir las pérdidas de hueva. Es crucial realizar estudios complementarios sobre la viabilidad de las huevas extraídas de esta manera y desarrollar protocolos específicos que aseguren la integridad y el posterior embrionado de las huevas, evaluando también la rentabilidad y eficiencia del nuevo método comparado con el desove por masaje abdominal.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Abbate, F., Guerrero, M. C., Levanti, M., Laurà, R., Aragona, M., Mhalhel, K., Montalbano, G., & Germanà, A. (2020). Anatomical, histological and immunohistochemical study of the tongue in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Anatomia, Histologia, Embryologia*, 49(6), 848-858. <https://doi.org/10.1111/ahc.12593>
2. Aegerter, S., & Jalabert, B. (2004). Effects of post-ovulatory oocyte ageing and temperature on egg quality and on the occurrence of triploid fry in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 231(1-4), 59-71.
3. Alami-Durante, H., Hermel, V., & Lefevre, F. (2021). Histopathological and biochemical changes in the spleen of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) under different rearing systems. *Fish Physiology and Biochemistry*, 47(1), 233-246. <https://doi.org/10.1007/s10695-020-00888-9>
4. APROMAR. (2023). La acuicultura en España 2023. https://apromar.es/wp-content/uploads/2023/09/La_acuicultura_Espana_2023_APROMAR_v2.pdf
5. Arregui, L. (2013). *El cultivo de la trucha arco iris* (*Oncorhynchus mykiss*). Fundación Observatorio Español de Acuicultura. https://www.observatorio-acuicultura.es/sites/default/files/images/adjuntos/libros/cuaderno_trucha_digital_web.pdf
6. Bioinnova. (2024). *Anatomía de un vertebrado: Trucha arcoíris*. <https://www.innovabiologia.com/>
7. de la Oliva, G. (2011). *Manual de buenas prácticas de producción acuícola en el cultivo de trucha arco iris*. https://www.academia.edu/16717998/19_Manual_Buenas_Pr%C3%A1cticas_Acu%C3%ADcolas_en_el_cultivo_de_la_trucha_Arco_Iris
8. Demirci, B., Terzi, F., y Kesbiç, O. S. (2022). Examination of Paraffin Sections of Different Rainbow Trout (“*Oncorhynchus mykiss*”) Tissues by Light and Scanning Electron Microscope. *Open Journal of Hepatology*, 4(1), 001-007. <https://doi.org/10.17352/ojh.000007>
9. Doğan, M. (2023). Sex control in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquatic animal reports (AQAR)*, 1(1), Article 1. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7660356>
10. Dysin, A. P., Shcherbakov, Y. S., Nikolaeva, O. A., Terletskii, V. P., Tyshchenko, V. I., & Dementieva, N. V. (2022). Salmonidae Genome: Features, Evolutionary and Phylogenetic Characteristics. *Genes*, 13(12), Artículo 12. <https://doi.org/10.3390/genes13122221>
11. Enciclopedia Británica. (s.f.). Capture fishing. En Enciclopedia Británica. <https://www.britannica.com/topic/capture-fishing>

12. Estrada, M. D. L. L., Flores, P., Caltzontzin, V., & Zarazua, G. (2023). Tecnologías para optimizar el agua en la acuicultura. *Revista Nthe*, 41, 19-26. https://nthe.mx/NTHE_v2/pdfRevistas/PDF_Revista20230425170402.pdf
13. FAO. (2009). *Oncorhynchus mykiss*. En I. G. Cowx (Ed.), *Cultured aquatic species fact sheets*. https://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/es/es_rainbowtrout.htm
14. FAO. (2022). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul*. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461es>
15. Fazio, F., Marafioti, S., Arfuso, F., Piccione, G., y Faggio, C. (2013). Comparative study of the biochemical and hematological parameters of four wild Tyrrhenian fish species. *Veterinary Medicine*, 58(11), 576-581.
16. Fazio, G. (2022). Fish hematology analysis as an important tool of aquaculture: A review. *Aquaculture Reports*, 18, 100568. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100568>
17. Félix-Cuencas, L., León-Ramírez, J. J. D. y López-Tejeida, S. (2024). Nadando entre peces y sus genes: Ingeniería genética en piscicultura. *Revista de divulgación científica iBIO*, 6(3). <https://revistaibio.com/ojs33/index.php/main/article/view/183/188>
18. Fernández, A. I. (2008). Cultivar ríos y mares: la acuicultura española en el siglo XX. *Áreas. Revista Internacional de Ciencias Sociales*, 27, 81-92. <https://revistas.um.es/areas/article/view/118651>
19. Fletcher, T. C. (1981). Non-antibody molecules and the defence mechanisms of fish. En: A.D. Pickering (Ed.). *Stress and Fish* (pp. 171-183). Academic Press.
20. Gjedrem, T., Robinson, N., & Rye, M. (2012). The importance of selective breeding in aquaculture to meet future demands for animal protein: a review. *Aquaculture*, 350, 117-129.
21. Godoy, M. (2024). *Síndrome idiopático de la trucha arcoíris (SIT)*. <https://marcosgodoy.com/>.
22. Gomes, C. A., Santos, A. L. y Silva, C. J. (2022). The role of fibrotic tissue formation in the spleen of farmed fish under stress conditions. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 55(1), 89-101. <https://doi.org/10.1080/10236244.2022.2033874>
23. Gómez, A. y Acosta, H. (2003). Acerca del trabajo en grupos o equipos. *ACIMED*, 11(6). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352003000600011&lng=es&tlng=es
24. Gómez, D., Sunyer, J. O. y Salinas, I. (2013). The mucosal immune system of fish: The evolution of tolerating commensals while fighting pathogens. *Fish & Shellfish Immunology*, 35(6), 1729-1739. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2013.09.032>

25. Kowalski, R. K., Sarosiek, B., Judycka, S., Dryl, K., Grudniewska, J., Dobosz, S. y Cejko, B. I. (2018). Effectiveness of the Air Stripping in Two Salmonid Fish, Rainbow Trout (*Oncorhynchus Mykiss*) and Brown Trout (*Salmo Trutta morpha fario*). *Journal of Visualized Experiments*, 139, 56894. <https://doi.org/10.3791/56894>
26. Król, J. y Zakes, Z. (2016). Egg quality and hatchability of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in relation to female size. *Aquaculture International*, 24(3), 813-824.
27. Lahnsteiner, F. y Leitner, S. (2013). The influence of temperature on gametogenesis and gamete quality in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Fish Physiology and Biochemistry*, 39(4), 864-873.
28. Leavitt, D. (2023). Caviar Harvesting: Where Does Caviar Come From? How is Caviar Made?. *Caviar Star*. <https://caviarstar.com/blogcaviar-harvesting-where-does-caviar-come-from-how-is-caviar-made/>
29. Li, M., Zhang, M. y Wang, Y. (2021). Physiological and histopathological effects of chronic stress in zebrafish (*Danio rerio*). *Fish & Shellfish Immunology*, 108, 42-49. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.12.020>
30. Little, D. C., Newton, R. W. y Beveridge, M. C. (2016). Aquaculture: a rapidly growing and significant source of sustainable food? Status, transitions and potential. *The Proceedings of the Nutrition Society*, 75(3), 274-286. <https://doi.org/10.1017/S0029665116000665>
31. Maíz, A. R., Valero, L. y Briceño, D. (2010). Elementos prácticos para la cría de truchas en Venezuela. *Mundo Pecuario*. 2(6), 157-168. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_peces/piscicultura/137-truchas.pdf
32. Malhotra, N. K. (2008). Muestreo: diseño y procedimientos. En P. M. Guerrero (Ed.), *Investigación de mercados* (5ª ed., pp. 332-362). Pearson Educación.
33. Migaud, H., Cowan, M., Taylor, J. y Ferguson, H. W. (2007). The effect of spectral composition and light intensity on melatonin, stress and retinal damage in post-smolt Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture*, 270(1-4), 390-404.
34. Nakae, M. y Hasegawa, K. (2022). The lateral line system and its innervation in the masu salmon *Oncorhynchus masou masou* (Salmonidae). *Ichthyological Research*, 69(3), 362-371. <https://doi.org/10.1007/s10228-021-00843-0>
35. Naylor, R. L., Hardy, R. W., Buschmann, A.H., Bush, S. R., Cao, L., Klinger, D. H., Pequeño, D. C., Lubchenco, J., Shumway, S. E. y Troell, M. (2021). A 20-year retrospective review of global aquaculture. *Nature*, 591(7851), 551-563. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03308-6>
36. Noble, C., Gismervik, K., Iversen, M. H., Kolarevic, J., Nilsson, J., Stien, L. H. y Turnbull, J. F. (2020). *Welfare indicators for farmed rainbow trout: Tools for assessing fish welfare* (pp. 31-66).

37. Real Academia Española. (2023). Cultura. En *Diccionario de la lengua española*. Recuperado en 22 de abril de 2024, de <https://dle.rae.es/acuicultura>
38. Saraiva, J. L., Faccenda, F., Cabrera-Álvarez, M. J., Povinelli, M., Hubbard, P. C., Cerqueira, M., Farinha, A. P., Secci, G., Tignani, M. V., Pulido Rodriguez, L. F. y Parisi, G. (2024). Welfare of rainbow trout at slaughter: Integrating behavioural, physiological, proteomic and quality indicators and testing a novel fast-chill stunning method. *Aquaculture*, 581, 740443. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740443>
39. Schober, P., Boer, C., & Schwarte, L. A. (2018). Correlation coefficients: Appropriate use and interpretation. *Anesthesia & Analgesia*, 126(5), 1763-1768.
40. Sharba, S., Sundh, H., Sundell, K., Benktander, J., Santos, L., Birchenough, G., & Lindén, S. K. (2022). Rainbow trout gastrointestinal mucus, mucin production, mucin glycosylation and response to lipopolysaccharide. *Fish & Shellfish Immunology*, 122, 181-190. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.01.031>
41. Stoskopf, M. K. (1993). Immunology. En *Fish medicine* (pp. 153-176). Saunders Company W.B.
42. Tacon, A. G., & Metian, M. (2013). Fish matters: importance of aquatic foods in human nutrition and global food supply. *Reviews in Fisheries Science*, 21(1), 22-38.
43. Trainini, J., Lowenstein, J., Beraudo, M., Mario, W., Alejandro, T. y Jesús, V. (2023). *Anatomía y Organización del Corazón Helicoidal*. Ediciones UNDAV.
44. Troutlodge. (19 de diciembre de 2019). *Conteo de ovas*. <https://www.troutlodge.com/es/articles/Conteo-de-ovas/>
45. Troutlodge. (2024). *The logical choice in trout breeding and genetics*. Troutlodge. www.troutlodge.com
46. Umair, S., Zafar, I., Bibi, S., Jan, Z., Ullah, A., Ahmad, I., Ul Ain, Q. y Ashraf, M. (2024). The Rainbow Trout Genome: A Significant Milestone for Aquaculture Development. En M. Ashraf, F. Rashid, A. Amid y K. Saba (Eds.), *Coldwater Fisheries and Aquaculture Management* (pp. 1-25). Apple Academic Press, Inc.
47. Vázquez, M. G. (2017). *Muestreo probabilístico y no probabilístico*. [Licenciatura en Ciencias Empresariales, Universidad del Istmo]. Gestipolis. <https://www.gestipolis.com/wp-content/uploads/2017/02/muestreo-probabilistico-no-probabilistico-guadalupe.pdf>
48. Vilcherrez, J. y Pardo-Figueroa, L. (2022). Reproducción de trucha arco iris con aplicación de fotoperiodo y evaluación de su eficacia en la producción de ovas en la empresa Marandes EIRL de Lagunillas, Puno. *Tecnohumanismo*, 2(2), 262–281. <https://doi.org/10.53673/th.v2i6.142>
49. Yu, Y., Huang, Z., Kong, W., Dong, F., Zhang, X., Zhai, X., Cheng, G., Zhan, M., Cao, J., Ding, L., Han, G., Takizawa, F., Ding, Y., Oriol Sunyer, J. y Xu, Z. (2022). Teleost

swim bladder, an ancient air-filled organ that elicits mucosal immune responses. *Cell Discovery*, 8(1), 1-18. <https://doi.org/10.1038/s41421-022-00393-3>