



Reproducción de trucha arcoíris con aplicación de fotoperiodo y evaluación de su eficacia en la producción de ovas en la empresa Marandes EIRL en Lagunillas, Puno
Reproduction of rainbow trout with application of photoperiod and evaluation of its effectiveness in the production of eggs in the company Marandes EIRL in Lagunillas, Puno
Reprodução de trucha arcoíris com aplicação de fotoperiodo e avaliação de sua eficácia na produção de ovas na empresa Marandes EIRL em Lagunillas, Puno

ARTÍCULO GENERAL

Jose Vilcherrez Lozada
j.vilcherrez@grupocorresur.org
Grupo Corresur, Arequipa

Luis Pardo-Figueroa Tassara
luis.pardo@lagoverde.pe
Lago Verde SRL, Puno

Recibido 10 de Mayo 2022 | Arbitrado y aceptado 17 de Mayo 2022 | Publicado el 24 de Junio 2022

RESUMEN

Este trabajo evalúa la aplicación de una prueba de fotoperiodo en la reproducción de truchas en la empresa Marandes EIRL. La experiencia se desarrolló en el centro de reproducción Rumitía, a 4,260 msnm, con temperatura media diaria de 8.8°C. Se compara los resultados de ovas obtenidas en fotoperiodo con ovas similares obtenidas en ambiente natural. A tal efecto, se construyó una sala de fotoperiodo en Rumitía, implementada con tres estanques de fibra de vidrio para albergar 20 reproductores por estanque. La iluminación artificial se suministró 24 horas/día, con fluorescentes ubicados a 1.5 m sobre la superficie del agua del estanque. Se seleccionaron 40 hembras y 20 machos del plantel de reproductores ubicado en la laguna Lagunillas, a 4,219 msnm, con temperatura media diaria de 10.3°C. El traslado de reproductores al ambiente de fotoperiodo generó alto estrés y baja de apetito que provocó alta mortalidad; por ello, al cuarto mes de prueba, se realizó una reposición de reproductores muertos. Desde entonces transcurrieron cinco meses hasta la maduración sexual de reproductores. Las ovas obtenidas con fotoperiodo resultaron con buenos y mejores atributos. El desove fue sencillo y rápido, por la suave textura corporal de las hembras y por la sincronización de la maduración sexual de hembras y machos al mismo tiempo. A los 51 días después del desove las ovas se transformaron en larvas, una semana menor respecto a las ovas de ambiente natural. El proceso de transformación de ovas en larvas duró dos días, la mitad de tiempo que las ovas de ambiente natural. Se lograron ovas con bajo contenido en grasa y alto en proteínas, acorde con el tipo de alimento suministrado a los reproductores; con ello, se favoreció el buen desarrollo de alevinos y se generó un entorno favorable para la producción de truchas. Palabras clave; fotoperiodo, reproductores, maduración sexual, desove, ovas

ABSTRACT

This work evaluates the application of a photoperiod test in the reproduction of trouts in the company Marandes EIRL. The experiment took place in the Rumitía breeding center, at 4,260 msnm, with an average daily temperature of 8.8°C. The results of eggs obtained in the photoperiod are compared with similar eggs obtained in the natural environment. For this purpose, a photoperiod room was built in Rumitía, implemented with three fiberglass ponds to house 20 reproductives per pond. Artificial lighting is operated 24 hours a day, with fluorescent lights located 1.5 m above the water-tank surface. 40 females and 20 males were selected from the breeding stock located in the Lagunillas lagoon, at 4,219 masl, with an average daily temperature of 10.3°C. The transfer of reproductives to the photoperiod environment generates high stress and low appetite, which causes high mortality; by ello, in the month of prueba, a replacement of dead players was carried out. Since then, five months have passed until the sexual maturation of reproductives. The eggs obtained with photoperiod resulted in good and better attributes. The spawning was simple and fast, for the smooth body texture of the females and for the synchronization of the sexual maturation of females and males at the same time. In the 51 days after spawning, the eggs turned into larvae, a week shorter with respect to the eggs in the natural environment. The process of transforming eggs into larvae lasted from the days, the mitad of time that the eggs from a natural environment. If eggs were obtained low in fat and high in protein, agree with the type of food supplied to the breeders; With that, the good development of fingerlings was favored and a favorable environment for the production of truchas was generated. Keywords; photoperiod, reproductive, sexual maturity, spawning, roe

RESUMO

Este trabalho avalia a aplicação de uma verificação de fotoperiodo na reprodução de truchas na empresa Marandes EIRL. A experiência se desenvolveu no centro de reprodução Rumitía, a 4.260 msnm, com temperatura média diária de 8,8°C. Compare os resultados de ovas obtidas em fotoperiodo com ovas semelhantes obtidas em ambiente natural. A tal e tal, se construiu uma sala de fotoperiodo em Rumitía de fibra, com três estanques de fibra de vidro para albergar 20 reprodutores por estanque. A iluminação artificial se resume a 24 horas/dia, com fluorescentes ubicadas a 1,5 m sobre a superfície da água do estanque. Seleccione 40 hembras e 20 machos da planta de reprodutores ubicados na lagoa Lagunillas, a 4.219 msnm, com temperatura média de 10,3°C. A transferência de reprodutores para o ambiente de fotoperiodo gera alto estrés e baixo de apetite que provoca alta mortalidade; por ello, al cuarto mes de prueba, se realizou una reposición de reproductores muertos. Desde entonces transcurrieron cinco meses hasta la maduración sexual de reproductores. As ovas obtidas com fotoperiodo resultam de buenos e mejores atributos. O desove fue sencillo e rápido, pela suave contextualização corporal das hembras e pela sincronização da maturação sexual das hembras e machos ao mesmo time. Aos 51 dias después do desove as ovas se transformaram em larvas, uma semana menor respeito às ovas de ambiente natural. O processo de transformação de ovas em larvas duró dos dias, a mitad de time que as ovas de ambiente natural. Se lograron ovas com baixo conteúdo em grasa e alto em proteínas, acorde com o tipo de alimento administrado aos reprodutores; com ello, se favoreció el buen desarrollo de alevinos e se gerar un ambiente favorable para a produção de truchas. Palavras-chave; fotoperiodo, reproductores, maduración sexual, desove, ovas

Introducción

El fotoperiodo aplicado en la reproducción de trucha es una técnica utilizada para manipular la madurez sexual de los reproductores, induciendo el adelanto o retraso del desove. El manejo del fotoperiodo implica aumentar o disminuir las horas de luz diaria disponible para los reproductores, mediante iluminación artificial. Se requiere que los ambientes de confinamiento de los peces estén adecuadamente implementados y manejados.

El fotoperiodo implica manipular el comportamiento de la glándula pineal y el hipotálamo; ambas glándulas secretan y sintetizan hormonas reproductivas como la hormona liberadora de gonadotropina, el estradiol, la progesterona y la testosterona, las cuales regulan el desarrollo gonadal en los peces (Prayogo et al., 2012, citado por Salamanca Cansaya, 2020). Las variaciones de luz diaria inducen a una aceleración en la producción de hormonas reproductivas.

Para desarrollar un manejo efectivo del fotoperiodo es necesario entender claramente cómo la luz es percibida por el pez. Los órganos receptores de la luz son la glándula pineal y los ojos, específicamente la retina. Se sabe que el fotoperiodo es percibido por los foto-receptores ubicados en la glándula pineal, lo que se traduce en fluctuaciones rítmicas de melatonina, hormona clave en la percepción del día y la noche de los peces, influenciando la mayor parte de procesos fisiológicos, entre ellos, la reproducción (Ekstrom y Meissl, 1997; citados por Mella, 2018) . En la actualidad, se utilizan diversos sistemas de iluminación en pisciculturas, entre ellos los haluros metálicos, tubos fluorescentes y luces LED. Estos sistemas pueden ser usados en suspensión o flotantes en la unidad de cultivo o sumergidos en la columna de agua (Mella, 2018).

La intensidad de luz por encima de 0,016 watts/m² es percibida como luz por los peces, favoreciendo la maduración sexual. Sin embargo, la luz artificial puede inducir daño en la retina, pero aún no se han estudiado los niveles de iluminación que pueden afectarlos; no obstante, los peces han desarrollado mecanismos de protección alternativos, como, por ejemplo, la migración de gránulos de melanina, movilidad y regeneración de las foto-receptores que permiten la recuperación de la retina en 30 días, aproximadamente (Migaud, 2020).

En truchicultura el objetivo principal del fotoperiodo es anticipar la madurez sexual de los reproductores, de manera tal que el productor pueda obtener dos desoves por año:

uno en ambiente natural y otro en ambiente artificial con fotoperiodo. No obstante, el fotoperiodo es condición necesaria pero no suficiente para anticipar la madurez sexual; la temperatura del agua es una variable asociada sumamente importante. Según Migaud (2020), en trucha arco iris, se puede gatillar la ovulación en la semana que el piscicultor lo requiera, con una buena foto manipulación; sin embargo, los peces no ovularán si la temperatura no es adecuada. Al respecto, la temperatura favorable para la crianza de reproductores de trucha se considera en el rango de 13°C a 18°C y la temperatura óptima para la maduración sexual es de 12.6 °C (FAO, 2014). No obstante, la maduración final del ovocito y el desove requieren un fotoperiodo de días cortos y temperaturas inferiores a 10 °C (Valdebenito, 2009, citado por Mella, 2018).

Aplicaciones exitosas de fotoperiodo en la reproducción de trucha arcoíris se vienen realizando en Chile en los últimos años, luego de imponerse, en 2011, restricciones a la importación de especies hidrobiológicas, ovas o gametos (entre ellos de trucha) a fin de impedir el ingreso de enfermedades y sus agentes causales; tal medida, junto con la menor competitividad de la trucha con el salmón Atlántico, provocó una notable caída en la producción de trucha en Chile que, por entonces, lideraba la producción mundial (Estay, 2017) . Estas medidas restrictivas propiciaron que las empresas nacionales emprendieran la producción de sus propias ovas, ya sea para el autoabastecimiento o para la venta a terceros (Colihueque & Estay, 2018). La empresa Piscícola Huililco, ubicada en Pucón, región de la Araucanía, al sur de Chile destaca en el manejo de fotoperiodo en la reproducción de ovas de trucha Esta empresa trabajó intensamente en el desarrollo de protocolos de manipulación fotoperiódica sobre los reproductores para mantener estable la disponibilidad de ovas en las cuatro estaciones del año, toda vez que es principal proveedor de ovas para Piscícola Entre Ríos Ltda., la única empresa chilena que produce trucha pan size en forma estable y en grandes volúmenes para exportación (Estay, 2016).

Personal propio y vinculado a la empresa Marandes EIRL conoció in situ las experiencias de Piscícola Huililco, en visita realizada en diciembre de 2019 . Este acontecimiento influyó en la decisión de Marandes de implementar una experiencia propia de reproducción de trucha en fotoperiodo, acondicionando sus instalaciones en Runitía, Puno, a una altitud de 4,260 msnm. La experiencia se inició en agosto de 2020, una vez que disminuyeron los riesgos derivados de la pandemia por la Covid-19 . Por entonces, Marandes había desarrollado pruebas de desove y embrionamiento en ambiente natural, demostrando que las ovas nacionales reúnen condiciones de desempeño

productivo muy similares a las ovas importadas, a un precio bastante menor (26 US\$/millar vs. 35 US\$/millar), con salvedad de que las ovas importadas tienen ventaja en ofertarse 100% hembras, por haber sido sometidas a un proceso de reversion sexual, atributo que es una carencia en las ovas producidas localmente (Vilcherrez, Pardo-Figueroa, & Huamaní, 2021).

En este trabajo se exponen el proceso seguido y los resultados de la aplicación de fotoperiodo en la reproducción de ovas de trucha arcoíris desarrollado por Marades, con el objeto de medir su eficacia respecto a las ovas obtenidas en ambiente natural. A tal efecto, la empresa implementó una sala de fotoperiodo en ambiente indoor (bajo techo). A esta sala fueron trasladados reproductores seleccionados con este propósito, los cuales habían sido utilizados previamente en un proceso de desove en ambiente natural. La hipótesis subyacente es que las ovas obtenidas en ambiente de fotoperiodo tienen mejores atributos de calidad que las ovas obtenidas en ambiente natural.

A modo de referente similar, se destaca los ensayos realizados por Salamanca Cansaya (2020) en Chucuito, Puno, a 3,828 msnm. Los ensayos se realizaron durante 120 días, a una temperatura media de 12.5°C y nivel medio de oxígeno disuelto (OD) de 5.4 mg/l. Se encontró mejor respuesta de reproductores que fueron expuestos a fotoperiodo de día largo, con 18 horas de luz y 6 horas de oscuridad (18L:6O), logrando 30.0% de reproductores aptos para desove, en comparación a un 13.3% de reproductores expuestos a día corto (18O:6L). Por su parte, ninguno de los reproductores sometidos a régimen natural (12O:12L) estuvo apto para desove (0.0%).

Metodología

Se aplicó la metodología ensayo-error, en la medida de que se trata de obtener conocimiento o generar una posible solución en la reproducción de ovas embrionadas dos veces por año (Enciclopedia Online, 2018). La aplicación de la técnica de fotoperiodo es la prueba sobre la cual se espera generar incidencia; esta técnica, para el caso en estudio, es aun de conocimiento incipiente.

El proceso se inició una vez que se establecieron condiciones mínimas y aceptables de trabajo en el contexto de la Covid-19, luego del confinamiento domiciliario obligatorio de tres meses dispuesto por el gobierno peruano, desde el 15 de marzo de 2020.

El diseño, construcción y equipamiento de la sala de fotoperiodo duró aproximadamente 2.5 meses, desde inicios de julio hasta el 18 de setiembre. La sala está

ubicada en el sector Runitía, donde la empresa dispone un centro de embrionamiento y alevinaje de truchas. Desde el centro de producción de truchas, ubicado en la laguna Lagunillas, donde se encuentran también las jaulas de reproductores, hasta Runitía se llega aproximadamente en una hora. Otro centro similar de embrionamiento y alevinaje de la empresa está ubicado en las inmediaciones de la citada laguna.

Una vez que se concluyó la construcción y equipamiento de la sala de fotoperiodo (Figura 1), se procedió a realizar las pruebas hidráulicas y del sistema de iluminación, a fin de verificar la funcionalidad de la sala y/o establecer ajustes para poner a punto las condiciones operativas.



Figura 1.- Vista parcial de la sala de fotoperiodo indoor de la empresa Marandes EIRL, implementada en el sector Runitía

La sala de fotoperiodo tiene un área de 31.5 m² (10.5m x 3m). A lo largo de toda la “sala oscura” se instalaron 4 contenedores cuadrangulares, instalados en línea, todos construidos en fibra de vidrio. Las tuberías de agua están fijadas a la pared a una altura de 1.80m, de donde se alimenta de agua a los contenedores. Cada contenedor recibe igual caudal de agua, de 1.2 l/s; el agua no se reutiliza entre ellos. El caudal de agua puede ser regulado mediante una válvula esférica de PVC. Para el desfogue del agua hacia la salida se construyó una canaleta en el piso de la sala, con rebose a 20 cm por debajo del borde. El diámetro de ingreso y salida de agua es de 4”.

Las especificaciones de cada contendor son las siguientes:

- Material: Fibra de vidrio (color celeste por dentro y fuera)

- Tamaño: Alto, 1.54 m; Largo, 1.65 m; Ancho, 1.65 m
- Área: 2.72 m²
- Volumen total: 4.19 m³
- Volumen efectivo: 3.81 m³
- Profundidad: 1.40 m

El diseño y construcción de la sala de fotoperiodo incorporó un sistema de reutilización de aguas afuera de la sala. A tal efecto, el agua proveniente de un manantial está destinada inicialmente en su totalidad a los reproductores y, como segundo uso, para alimentar las artesas circulares de alevinos 2, en etapa de engorda, ubicadas en otro ambiente del centro Rumitía.

Uno de los contenedores está previsto de utilizarlo solo en forma provisional, para realizar el mantenimiento de los otros contenedores o para colocar en cuarentena cualquier reproductor que manifieste algún síntoma de enfermedad.

Debido a que en la zona no se cuenta con conexión a energía eléctrica, se instalaron paneles solares con baterías para abastecer de energía al sistema de iluminación. El funcionamiento del sistema de iluminación para los reproductores consta básicamente de los componentes siguientes:

- Un Panel eléctrico para el control del sistema de energía solar, implementado con 2 controladores solares, 2 llaves termo magnéticas de 32 Amperes, 1 inversor de energía de 2000W y la caja metálica de protección de todo el sistema
- 8 baterías de ion litio solares
- 6 paneles solares de 1,100W cada uno.
- 8 fluorescentes de 40W cada uno, con sus respectivos protectores herméticos de luminarias (uno por cada dos fluorescentes).

Por cada estanque (contenedor) se instaló una luminaria con dos tubos fluorescentes cada una; colocadas a 60 cm por encima de la superficie del agua.

El costo directo en la sala de prueba de fotoperiodo fue de S/. 28,000, equivalente a unos US\$ 7,000, íntegramente financiado por la empresa Marandes EIRL. Agregando un 15% de gastos generales, el costo total de la sala oscila los US\$ 8,000.

Una vez disponible la sala de fotoperiodo, se preseleccionaron 80 hembras y 40 machos del plantel de 311 reproductores (Set. 2020) que dispone la empresa en la laguna Lagunillas, los cuales fueron puestos en observación en dos jaulas separadas, en la misma laguna, una jaula de hembras y otra de machos. De este lote se seleccionaron, finalmente, 40 hembras y 20 machos que fueron llevados a la sala oscura de fotoperiodo en Rumitía. Los criterios de selección aplicados fueron los siguientes: *i) sobrevivencia*; separando especímenes de más de dos años de edad; *ii) resistencia a enfermedades*; para los ejemplares elegidos por sobrevivencia; *iii) mayor crecimiento*; separando reproductores más desarrollados en talla y peso; y *iv) ausencia de deformidades*; eligiendo especímenes de buena morfología y sin rastros de lesiones por malformación genética.

Por lo tanto, el diseño experimental se asimiló a una prueba de tratamiento único, con preselección y selección de reproductores dirigidas en proporción de 1 macho por 2 hembras; con reposición de reproductores muertos o dañados y con muestra final definida por la capacidad instalada de la sala de fotoperiodo. La muestra final resultante de reproductores seleccionados fue de 75% sobre los preseleccionados y 19.3% sobre el total de reproductores del plantel.

Definidas las condiciones y estableciendo los cuidados del caso, el traslado de reproductores se realizó el 03 de octubre de 2020. Por cada estanque de fibra de vidrio se colocaron 20 reproductores, un estanque de machos y dos de hembras. Un estanque quedó como volante para el mantenimiento de los otros tres o para monitorear individuos en cuarentena.

Los reproductores utilizados para la prueba de fotoperiodo, fueron seleccionados de dos lotes de reproductores que fueron desovados con anterioridad para pruebas en ambiente natural, en fechas 28 de octubre y 14 de diciembre de 2019, respectivamente¹. Este requisito fue establecido con la finalidad de determinar si estos reproductores podían ser estimulados para pasar a un segundo desove en el año; esta vez bajo la modalidad de reproducción por fotoperiodo.

Una biometría realizada en el proceso de prueba determinó un peso promedio de 1.5 kg en reproductores machos y 1.7 kg en hembras, con una talla promedio de 48 cm y 53 cm para machos y hembras, respectivamente

Se estableció que la ración diaria de alimento balanceado a suministrar sea de 300 gr, de calibre 10 mm, tipo estándar, en concordancia con lo recomendado por el

proveedor (Naltech). Se trata de evitar el uso de alimento energético o alto en grasa, a fin de que los reproductores no engorden y, más bien, mantengan un crecimiento bajo y con producción de carne magra. Este requisito incide en que las ovas obtenidas tengan también un elevado nivel de proteínas y baja concentración de grasa, mejorando su calidad.

Como criterio de prueba se asumió no establecer un plazo definido hasta que los reproductores manifiesten síntomas de maduración sexual. Más bien, se estableció que esta maduración sea espontánea y, seguidamente, proceder a realizar el desove. No obstante, dado el conocimiento incipiente en la materia, se consideró que el plazo límite de espera sea el 30 de julio de 2020; es decir, 10 meses después de haber iniciado la prueba (03 Oct. 2020). Más allá de este plazo, la prueba habría abortado.

Durante el proceso de espera de maduración sexual, se realizó un monitoreo periódico y permanente de los reproductores, con el objeto de verificar las señales de maduración sexual mediante el palpado abdominal, midiendo además los parámetros ambientales, la mortalidad diaria y la alimentación de forma diaria.

Una vez que los reproductores de fotoperiodo manifestaron signos de maduración sexual, a finales de junio-inicios de julio de 2020, éstos se tuvieron en observación constante para confirmar los signos de maduración y, luego, proceder al desove.

Las ovas sembradas en la sala de incubación de Rumitía fueron monitoreadas de manera diaria, registrándose los datos de temperatura del agua, mortalidad, y cuidando la limpieza de las instalaciones.

Resultados

Manejo de reproductores en ambiente de fotoperiodo

El manejo de reproductores en ambiente oscuro de fotoperiodo, con iluminación artificial, fue un proceso bastante errático; atribuible en parte a la carencia de experiencias previas y poco conocimiento especializado sobre la materia y, de otra parte, a factores del entorno asociados a la zona en la que se desarrolló la experiencia.

Una primera comprobación observada en la prueba fue que los reproductores trasladados al ambiente de fotoperiodo manifestaron, desde un inicio, síntomas de estrés. Su comportamiento fue bastante nervioso y se mostraron muy asustadizos en todo momento; incluso, tuvieron serias dificultades para captar de manera adecuada el alimento. El efecto inmediato de este comportamiento de inicio fue una alta mortalidad

y una notoria baja de peso. Tal situación se fue superando en forma gradual y paulatina; luego de tres meses los reproductores mostraron una adaptación a su nuevo entorno.

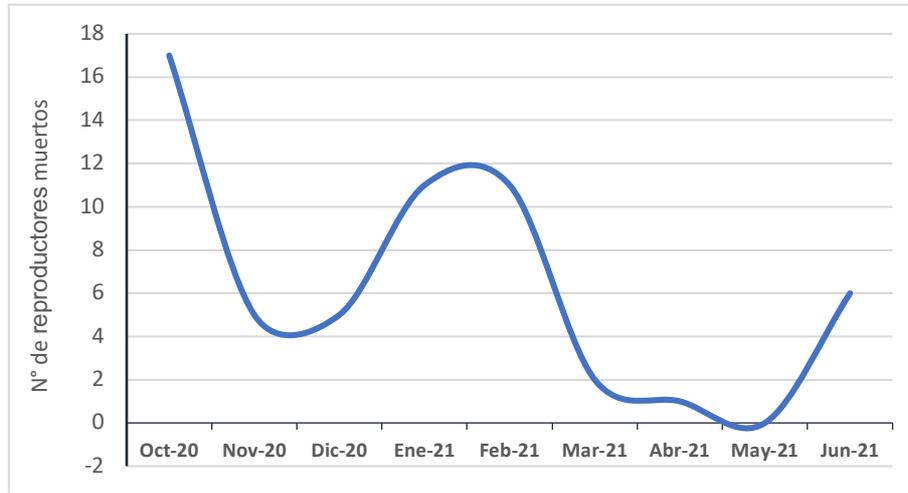
La *Tabla 1* muestra la drástica caída de las existencias de reproductores en los tres primeros meses de prueba, a consecuencia de la alta mortalidad. Dada esta situación y con el objeto de mantener viva la prueba se decidió realizar una reposición de 20 reproductores al cuarto mes, a riesgo de que no llegaran a madurar a tiempo o no sincronicen con los reproductores existentes. La reposición se hizo el 8 de febrero de 2021, agregando 14 hembras y 6 machos en los respectivos estanques. Los nuevos reproductores tuvieron un comportamiento similar que los anteriores; es decir, un alto estrés de inicio, alta mortalidad y baja de peso. La *Figura 1* muestra la alta mortalidad observada inmediatamente después de la instalación inicial (Oct. 2020) y de la reposición (Feb. 2021). Hecha la reposición, se determinó también que la prueba sería suspendida en julio de 2021, si acaso los reproductores no mostraran síntomas de maduración sexual.

Tabla 1.- Impacto en la mortalidad de los reproductores por efecto del traslado de su ambiente natural (laguna Lagunillas) al nuevo ambiente artificial de fotoperiodo en el centro de reproducción de Rumitía.

Meses	Reproductores instalados (Unidades)	Mortalidad al final del periodo (Unidades)	Existencias al final del periodo (Unidades)
Oct-20	60	17	43
Nov-20		5	38
Dic-20		5	33
Ene-21		11	22
Feb-21	20	11	31
Mar-21		2	29
Abr-21		1	28
May-21		0	28
Jun-21		6	22
Total	80	58	
Tasa de mortalidad global (%)		73%	

Fuente: Registros de información de la prueba de fotoperiodo del proyecto PNIPA-ACU-SIADE-PP-00060, ejecutado por la empresa MARANES EIRL, 2019

Figura 1.- Efecto recurrente en la alta mortalidad de reproductores luego de su instalación inicial en los estanques de fotoperiodo (Oct. 2020) y en la fase de reposición (Feb. 2021)



Las primeras señales de maduración sexual se observaron a inicios de julio de 2021. Hasta entonces, la tasa de mortalidad acumulada fue de 73%, quedando en existencias 22 reproductores que fueron los sujetos de prueba. Las medidas adoptadas de reposición de reproductores y la comprobación de síntomas de maduración sexual conllevaron a mantener viva la prueba y continuar el proceso hasta cuando se logró la maduración sexual plena de los mismos.

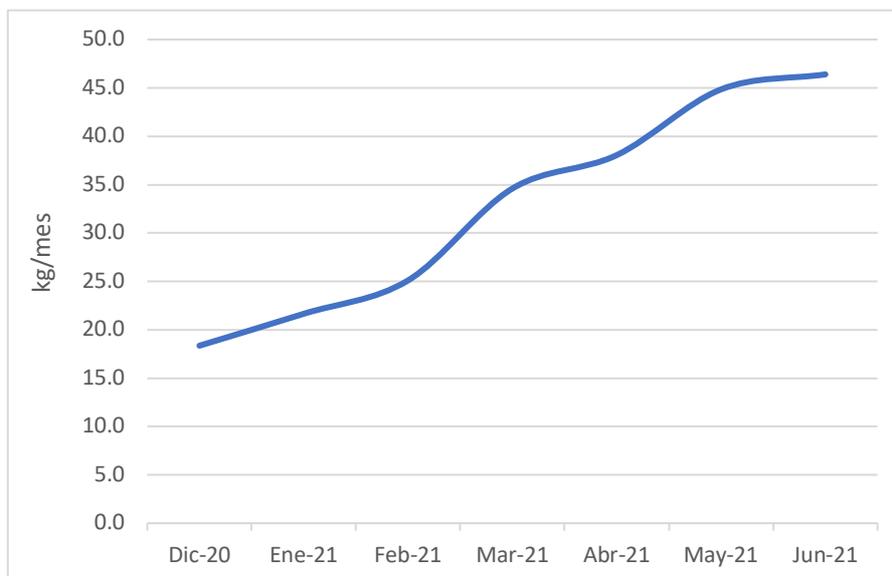
La alimentación de reproductores fue otro factor perturbador de la prueba. En general, el consumo de alimento durante el periodo de prueba fue bajo; siendo crítico los tres primeros meses, a consecuencia del estrés y falta de apetito de los reproductores. La Tabla 2 muestra el consumo de alimento del periodo Dic. 2020 - Jun. 2021, sin considerar el consumo de los peces muertos. En promedio, cada pez consumió 8.3 kg/mes, que equivale a unos 277 gr/día; es decir, por debajo de la ración diaria propuesta de 300 gr. Aun así, al momento de la maduración sexual los reproductores habían recuperado notablemente su peso, mostrando buenas condiciones para el desove, tal como se aprecia en la Figura 2, cuya tendencia creciente no refleja un mayor consumo para engorde, sino la recuperación del consumo de alimento de los peces.

Tabla 2.- Consumo de alimento de reproductores en ambiente de fotoperiodo en el periodo diciembre 2020-junio 2021.

Mes	Existencias (N° de reproductores)	Alimento mensual consumido (kg/mes)
Dic-20	33	18.4
Ene-21	22	21.7
Feb-21	31	25.1
Mar-21	29	34.6
Abr-21	28	38.1
May-21	28	44.9
Jun-21	22	46.4
Promedio existencias por mes	28	
Consumo total de alimento (Kg)		229.0
Consumo promedio mensual (Kg x pez)		8.3
Consumo diario promedio (gr/pez)		276.9

Fuente: Registros de información de la prueba de fotoperiodo del proyecto PNIPA-ACU-SIADE-PP-00060, ejecutado por la empresa MARANES EIRL, 2019

Figura 2.- Tendencia de recuperación del consumo total de alimento en los reproductores instalados en ambiente de fotoperiodo.



En cuanto a los parámetros ambientales, la temperatura el agua en Rumitía fue un factor condicionante en la prueba. Las oscilaciones diarias de temperatura en el periodo

de prueba arrojaron una media general de 8.8 °C, muy por debajo de los 12°C que se recomienda para estimular la reproducción sexual de los reproductores. En julio de 2021, la temperatura fue, en cierta medida, favorable para proceder al desove, pues se registró 8.6 °C en promedio, valor cercano a los 10°C que se recomienda para este propósito (Tabla 3).

En cuanto al oxígeno disuelto en agua (OD) y en nivel de saturación de oxígeno, los registros fueron discontinuos por fallas en la calibración del equipo de medición, probablemente por efecto de la presión provocada por la altura (4,260 msnm). Para volver a calibrar el equipo había que recurrir al proveedor, en Arequipa, con las consiguientes demoras en disponerlo operativo nuevamente. Las mediciones realizadas en los tiempos que estas fueron posibles reportaron un nivel promedio de OD de 6.2 mg/l; es decir, muy cercano los 6 mg/l recomendados para mantener la buena salud de los reproductores. En cuanto a nivel de saturación de oxígeno, el promedio de 89.7% se consideró también bastante aceptable.

Tabla 3.- Parámetros ambientales registrados en Rumitía durante del desarrollo de la prueba de fotoperiodo.

Mes	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	Saturación de oxígeno (%)
Oct-20	9.0	nd	nd
Nov-20	9.1	nd	nd
Dic-20	9.2	6.1	91.1
Ene-21	9.1	5.7	86.2
Feb-21	9.0	5.6	89.5
Mar-21	8.9	nd	nd
Abr-21	8.9	nd	nd
May-21	8.1	6	nd
Jun-21	8.5	6.2	92.1
Jul-21	8.6	nd	nd
Promedio	8.8	5.9	89.7

nd: no determinado

Fuente: Registros de información de la prueba de fotoperiodo del proyecto PNIPA-ACU-SIADE-PP-00060, ejecutado por la empresa MARANES EIRL, 2019

Una cuestión relevante observada durante el desarrollo de la prueba fue que, luego de aproximadamente un mes de haber instalado los reproductores en la sala de

fotoperiodo, éstos mostraron signos de hinchazón de ojos, probablemente por la cercanía de la iluminación que provocó daños en la retina de los peces, tal como lo advierte Miguad (2020). Como medida de solución se amplió la distancia de los fluorescentes a 1.50 m de la superficie del agua ya que, inicialmente, estuvieron instalados a 60 cm. Así mismo, se quitó uno de los fluorescentes de las luminarias, quedando todos los estanques con solo un tubo fluorescente. Con estas medidas se logró que los reproductores recuperaran su estado normal de los ojos, aproximadamente después de un mes.

Bajo las condiciones expuestas, la maduración sexual de los reproductores de fotoperiodo fue un proceso lento y de tiempo largo. Transcurrieron 10 meses desde la instalación inicial y 5 meses desde la reposición. La detección de la maduración sexual se realizó mediante palpado abdominal. Esta práctica se realizó sólo en tanto y en cuanto se evidenció los síntomas de maduración, luego fue suspendida a fin de evitar daños en los reproductores que podían poner en riesgo su desove.

Desove y embrionamiento con fotoperiodo

El desove y la incubación se realizaron el 30 de julio de 2021. El desove de reproductores se hizo de manera más fácil comparado con el desove en ambiente natural. La razón es que las ovas contenidas en las hueveras son más suaves, haciendo que el desove se realice de forma rápida. Así también, las hembras reproductoras mostraron una textura corporal bastante más suave que las hembras normales, haciendo más fácil el desove.

Los reproductores machos y hembras utilizados en esta prueba sincronizaron su maduración sexual al mismo tiempo, por lo que el proceso de desove fue oportuno para ambos y las ovas no se sobre maduraron. Este requisito es importante, por cuanto el desove en ambiente natural siempre afronta dificultades de los machos para sincronizar su madurez sexual con las hembras.

Sin embargo, el desove causó de nuevo un fuerte estrés de los reproductores, provocando un incremento notable de la mortalidad. Con ello, la mortalidad agregada de reproductores de la prueba osciló el 80%.

La tasa de fecundación lograda fue del orden de 70.9%. A tal efecto se consideran las ovas muertas en los 9 primeros días después de la incubación, las cuales, al no haber sido fecundadas, se volvieron “ovas blancas”. La tasa de fecundación lograda en fotoperiodo es superior al 65% obtenida en desoves realizados en ambiente natural. No

obstante, aun con buenas prácticas de manejo, no se logra superar el 80% establecido como indicador de referencia. Para ello, se requiere un activador de semen que permita prologar la motilidad de los espermatozoides y, consecuentemente, mejorar su tiempo de activación de 30 segundos hasta 2 minutos aproximadamente. Este químico no se vende en Perú, por lo que habría que importarlo, posibilidad que se sujeta a la escala de reproducción como requisito principal.

Luego de transcurrido un mes desde la fase de fecundación, la tasa de mortalidad de ovas llegó a 46.2%, considerada como tasa aceptable al estar por debajo del 50% sugerido por las buenas prácticas acuícolas (Tabla 4); hasta entonces, habían transcurrido 41 días después del desove. Luego de 10 días las ovas pasaron a la fase de larvas, en un proceso rápido de dos días. Por lo tanto, desde el desove hasta llegar a larvas (51 días), a una temperatura media diaria registrada de 8.1°C, se habían acumulado 415 UTA (Unidades Térmicas Acumuladas). Comparando este desempeño de las ovas producidas en fotoperiodo, hasta la fase de larvas, se evidencia que tuvieron un mejor desarrollo que las ovas obtenidas en ambiente natural, las cuales pasaron a larvas a los 58 días, equivalente a unas 570 UTA (Vilcherrez, et al, 2021).

Se destaca también, como aspecto relevante, que no existen mayores diferencias en el comportamiento o desarrollo de las ovas producidas en fotoperiodo respecto de las ovas obtenidas en ambiente natural. Sin embargo, se comprobó que las ovas de fotoperiodo registran menor mortalidad, siempre y cuando éstas no sean tocadas o movidas, por lo mismo que tienen una configuración corporal sumamente delicada.

Tabla 4.- Indicadores registrados en las ovas producidas en la prueba de fotoperiodo, hasta alcanzar la fase de larvas.

Indicador	Valor
Ovas sembradas (Its)	2.95
Numero von Bayer	62
Cantidad estimada	29,072
Fecha de siembra (inicio)	30 de julio de 2021
Fecha última de fecundación	8 de agosto de 2021
Fecha de monitoreo de la prueba	9 de setiembre de 2021
Total, días de monitoreo	41
Mortalidad del periodo (Unidades)	13,426

Mortalidad (%)	46.2%
Tasa de fecundación (%)	70.9%
UTAs totales, a la fecha de monitoreo	334
Fecha de conversión de ovas a larvas	19 de setiembre de 2021
Total, días hasta la conversión de ovas a larvas	51
UTAs totales, hasta la conversión de ovas en larvas	415

Fuente: Registros de información de la prueba de fotoperiodo del proyecto PNIPA-ACU-SIADE-PP-00060, ejecutado por la empresa MARANES EIRL, 2019

Respecto a los atributos de calidad de las ovas obtenidas con fotoperiodo, se destaca que los huevos tienen una coloración diferente a las ovas nacionales desovadas con anterioridad en ambiente natural; siendo éstas de una coloración naranja, con mucho menor intensidad, aun cuando el alimento suministrado ha sido el mismo para los reproductores desovados en ambiente natural en la laguna Lagunillas. Esta diferenciación se atribuye a la ausencia de luz natural que influye, en cierta forma, en la coloración de las ovas, pues los mismos reproductores cambiaron su colocación natural grisácea a una coloración más clara.

Una comprobación relevante es que las ovas logradas en fotoperiodo tienen bajo contenido de grasa. Se considera que este atributo de mejor calidad es resultante de una buena selección de reproductores y del tipo de alimento suministrado a los mismos, con un alto contenido de proteína y bajo contenido de grasa. En la Figura 3 y Figura 4 se muestra la diferenciación respecto a las ovas obtenidas en ambiente natural cuya alimentación de reproductores no es adecuada (Figura 5). Las imágenes fueron tomadas con un microscopio a 100x.



Figura 3 .- Ova obtenida con fotoperiodo. Nótese pequeñas gotas de grasa, pero no se ve grandes cantidades de la misma; por ello se le atribuye el atributo de buena calidad



Figura 4.- Ova obtenida con fotoperiodo. Se observa con notoriedad el micropilo, a partir del cual se verá el "ojo" de la ova y por donde empieza el desarrollo embrionario.



Figura 5.- Foto tomada de otro lote de ovas nacionales. Nótese la gran cantidad de grasa que se acumula en las ovas si la alimentación de reproductores no es adecuada, ocasionando problemas a futuro en la engorda de truchas

Conclusiones

Los reproductores que se manejan en un ambiente natural, como es el caso de la laguna Lagunillas, al ser trasladados a un ambiente de fotoperiodo, como el caso Runitía, sufren un gran estrés; lo mismo ocurre al momento en que éstos son desovados. El estrés impacta fuertemente en la sobrevivencia de los reproductores, generado una alta tasa de mortalidad. La experiencia desarrollada, expuesta en este trabajo, reportó una tasa de mortalidad agregada de orden de 80%, con reproductores de 1.6 años de edad en promedio. Una medida de control para superar este inconveniente, en sucesivas aplicaciones de fotoperiodo, es la selección de reproductores mayores a 2.5 años y solo

dispuestos para tener dos desoves al año, uno en ambiente natural y otro en fotoperiodo; después de ello, se deben descartar.

El plazo de maduración sexual de los reproductores utilizados en la presente experiencia fue un proceso lento y prolongado, con una duración cercana a los 10 meses desde la instalación inicial y 5 meses después de la reposición de reproductores. La razón principal de esta ocurrencia es atribuible a la baja temperatura del agua que, en Rumitía, registró una media de 8.8 °C durante el periodo de prueba, muy por debajo de los 12 °C recomendado para un adecuado manejo de reproductores destinados al desove con fotoperiodo. Más bien, la temperatura de la zona sí favorece el desove y desarrollo de las ovas obtenidas, por cuanto se encuentra cercana a los 10°C que es la temperatura deseable para estos efectos.

Se comprobó que la iluminación artificial de la sala de fotoperiodo es condición primordial para la adaptación de los reproductores. La excesiva iluminación provocada por la poca distancia y alta intensidad de luz, provocó inflamación de los ojos de los peces. Las medidas correctivas adoptadas fueron eficaces para superar el problema, colocando las luminarias a 1.5 m de distancia y reduciendo la intensidad de luz a solo un tubo fluorescente por cada contenedor. De este modo, se dejan sentadas las condiciones para explorar parámetros óptimos de iluminación artificial.

El desove de reproductores dispuestos en fotoperiodo resulta una práctica más sencilla y rápida, en comparación con el desove en ambiente natural. Esta práctica se facilita por la contextura corporal bastante suave de las hembras y por la sincronización de la maduración sexual de machos y hembras al mismo tiempo. En ambiente natural, esta sincronización deseada conlleva tiempos de espera que demandan observación y palpaciones constantes de los reproductores hasta disponer las condiciones requeridas para el desove.

El desarrollo de las ovas obtenidas en ambiente de fotoperiodo es más ventajoso que las obtenidas en ambiente natural. El plazo en que las ovas se transforman en larvas es más corto y, a la vez, el proceso de transformación de larvas es más rápido. Para el caso en estudio se obtuvieron larvas a los 51 días desde el desove (415 UTA) y en dos días todas las ovas se convirtieron en larvas. Las referencias sobre pruebas realizadas con anterioridad en ambiente natural señalan 58 días transcurridos para la transformación de ovas en larvas (570 UTA) y entre 4 y 5 días la duración del proceso de transformación de ovas en larvas.

Las ovas obtenidas con fotoperiodo resultaron con mejores atributos de calidad que las obtenidas en ambiente natural, explicado por el bajo contenido de grasa y más proteína en su configuración corporal. Este requisito favorece el desarrollo de las truchas en sus fases subsiguientes de larvas y alevinos; por lo mismo que, un mayor contenido de proteínas en su alimento, favorece la generación de biomasa. La buena selección de reproductores y el suministro de alimento bajo en grasa y de alto contenido proteico inciden en la buena calidad de ovas obtenidas.

La experiencia desarrollada en la aplicación del fotoperiodo dejó en evidencia que es importante el manejo de la temporalidad de la campaña anual, a efecto de optimizar los tiempos de maduración sexual y reproducción en dos desoves. Para el caso de Lagunillas, el desove en ambiente natural ocurre entre los meses de febrero a julio; por lo tanto, el periodo adecuado para inducir un segundo desove en ambiente oscuro de fotoperiodo está comprendido entre los meses de setiembre a febrero.

Referencias bibliográficas

- Colihueque, N., & Estay, F. (2018). Perspectivas para el mejoramiento de la calidad de la ova en la salmonicultura. *Molinai, Journal of Science*, 43.
- Enciclopedia Online. (13 de Noviembre de 2018). Ensayo y error. Obtenido de <https://enciclopediaonline.com/es/ensayo-y-error/>
- Estay, F. (29 de Noviembre de 2016). Trucha pan size, una alternativa para los productores de trucha arcoíris. (Patricio@salmonexpert.cl, Entrevistador)
- Estay, F. (2017). Una mirada a la industria de la trucha arcoíris cultivada en agua dulce en Chile y el mundo. *Salmonexpert*, 51-52.
- Mella, V. (2018). Uso del fotoperiodo en el manejo reproductivo: fisiología y aspectos prácticos. *DocPlayer*. Obtenido de *DocPlayer*.
- Migaud, H. (27, 28 de Octubre de 2020). Fotoperiodo: una herramienta útil para el cultivo de salmónidos. Obtenido de 7° Workshop Internacional de Fotoperiodo, Santiago, Chile: <https://www.salmonexpert.cl/article/fotoperiodo-una-herramienta-utl-para-el-cultivo-de-salm-oacute-nidos/>
- Salamanca Cansaya, D. I. (10 de Octubre de 2020). “INDUCCIÓN A LA MADURACIÓN SEXUAL Y DESOVE DE *Oncorhynchus mykiss* “TRUCHA ARCO IRIS” POR FOTOPERIODO EN EL CIPBS – CHUCUITO, UNA PUNO”. Puno, Puno, Perú.

Vilcherrez, J., Pardo-Figueroa, L., & Huamaní, R. (2021). EVALUACION DE LA COMPETITIVIDAD DE OVAS EMBRIONADAS DE TRUCHA ARCO IRIS PRODUCIDAS LOCALMENTE EN EL SECTOR LAGUNILLAS, PUNO. Tecno Humanismo, 10-12.

ⁱ La referencia corresponde al trabajo de Vanessa Mella (2018), quien señala que la retina de los peces capta longitudes de onda entre 360 a 620 nm (Ali y col., 1961; Kraaij y col., 1998). En tanto, la glándula pineal capta longitudes de onda entre 510– 540 nm, alcanzando el óptimo a los 500 nm, valores que se encuentran dentro del espectro de luz visible en los rangos de luz verde-azul (Morita, 1966; Ekstrom y Meissl, 1997). La unidad de medida de longitud de onda está expresada en nanómetros (nm), que equivalen a 10^{-9} metros.

ⁱ En 2011 Chile producía 225 mil t/año de trucha arcoíris. Las restricciones impuestas a la importación de productos hidrobiológicos, ovas y gametos (D.S. Minecon N° 72-2011 Reglamento de Certificación y Otros Requisitos Sanitarios para la Importación) provocó una caída gradual de la producción chilena; tal es así que, en 2018, se registró una producción de sólo 79 mil t/año, dando paso a que Irán y Turquía se posicionen como los primeros productores en el mundo, registrando, en 2018, una producción de 180 mil/año y 113 mil t/año, respectivamente, desplazando a Chile al tercer lugar (PNIPA, 2020)

ⁱ La trucha *pan size* es el formato clásico de venta de trucha, conocida como tamaño plato o tamaño porción, cuya presentación es entre 200 gr a 300 gr por unidad.

ⁱ Marandes EIRL ejecutó el proyecto denominado “Evaluación de la alternativa de producción nacional de ovas embrionadas de trucha arcoíris (*orcorhynchus mykiss*) y monitoreo de su comportamiento productivo en la laguna Lagunillas- Puno”, entre 2019-2021, con auspicio del Programa Nacional de Innovación en Pesca y Acuicultura del Ministerio de la Producción (PNIPA-PRODUCE).

ⁱ Para contrarrestar los efectos de la pandemia por la Covid-19, el gobierno peruano dispuso estrictas medidas de confinamiento domiciliario durante tres meses, que inició el 15 de marzo de 2020.

ⁱ Los reproductores que fueron utilizados para la prueba de fotoperiodo y que fueron desovados en ambiente natural, con fechas 03 de octubre y 12 de diciembre de 2020, forman parte del proyecto signado en la nota 4, cuyos resultados están expuestos en el trabajo de Vilcherrez, et al (2021)

ⁱ Las “ovas blancas” que se registran hasta el 9no. día después de la incubación es la base de cálculo de la *Tasa de Fecundación de Ovas*. Luego de este periodo ya no se consideran como “ovas blancas” y se registran simplemente como mortalidad de ovas