

**EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA REPRODUCCIÓN DE TRUCHA ALBINA Y  
TRUCHA SILVESTRE (*Oncorhynchus mykiss*), ADAPTADA AL ALTIPLANO  
NARIÑENSE**

**MARLON ESTEBAN SANTACRUZ VILLOTA  
MARIO ALEXANDER SANTACRUZ VILLOTA**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS  
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDROBIOLÓGICOS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN PRODUCCIÓN ACUÍCOLA  
PASTO, COLOMBIA  
2022**

**EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA REPRODUCCIÓN DE TRUCHA ALBINA Y  
TRUCHA SILVESTRE (*Oncorhynchus mykiss*), ADAPTADA AL ALTIPLANO  
NARIÑENSE**

**MARLON ESTEBAN SANTACRUZ VILLOTA  
MARIO ALEXANDER SANTACRUZ VILLOTA**

**Informe final de Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al  
título de Ingeniero en Producción Acuícola**

**Director  
JORGE NELSON LÓPEZ MACÍAS  
D.M.V.Z., ESP., M.S.C., Dr. Sc.**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS  
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDROBIOLÓGICOS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN PRODUCCIÓN ACUÍCOLA  
PASTO, COLOMBIA  
2022**

Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva de los autores. Artículo 1ro del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

---

JORGE NELSON LÓPEZ MACÍAS  
Doctor en Medicina Veterinaria y Zootecnia  
ESP., M.Sc., Dr. Sc.  
Director

---

GUSTAVO ADOLFO TORRES VALENCIA  
Profesional en Acuicultura  
Dr. en Acuicultura  
Jurado delegado

---

WILMER RENÉ SANGUINO ORTIZ  
Ing. En Producción Acuícola  
M.Sc. Ingeniería de Producción  
Jurado

San Juan de Pasto, junio 2022

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

JORGE NELSON LÓPEZ MACÍAS

Doctor en Medicina Veterinaria y Zootecnia, ESP., M.Sc., Dr. Sc. Profesor titular Departamento de Recursos Hidrobiológicos de la Universidad de Nariño

JULBRINNER SALAS BENAVIDES

Biólogo, M.Sc., Candidato a Doctorado. Director del Departamento de Recursos Hidrobiológicos de la Universidad de Nariño.

WILMER RENÉ SANGUINO ORTIZ

Ingeniero en Producción Acuícola, M.Sc. Ingeniería de Producción. Candidato a Doctorado. Profesor del Departamento de Recursos Hidrobiológicos de la Universidad de Nariño.

GUSTAVO ADOLFO TORRES VALENCIA

Profesional en Acuicultura, Doctor en Acuicultura. Profesor del Departamento de Recursos Hidrobiológicos de la Universidad de Nariño.

PIEDAD MEJÍA SANTACRUZ

Secretaria del Departamento de Recursos Hidrobiológicos.

LUIS ALFONSO SOLARTE PORTILLA

Zootecnista, Esp. Secretario Académico Facultad de Ciencias Pecuarias de la Universidad de Nariño.

Al programa de Ingeniería en Producción Acuícola y a todas las personas que de una u otra forma colaboraron con el desarrollo de esta investigación.

## **DEDICADO A:**

A mi madre Nedy Eulalia Villota Córdoba, guerrera entregada con alma y corazón durante toda su vida a su familia, mi modelo de superación y ejemplo a seguir, que hizo parte de todas mis batallas, preparándome para el futuro; me da mucha alegría de tenerte como madre ya que juntos en familia nos fuimos superando gracias a esas grandes luchas que afrontamos cada día.

A mi padre Luis Rafael Santacruz Erazo, un guerrero más que desde la eternidad me acompaña día a día, mi héroe, mi ángel, un verdadero amigo que a pesar de la corta edad que me acompañaste, puedo afirmar que fueron los mejores de mi infancia. Siempre te recordaré.

A mis hermanos Mario, Camila, Alejandro Santacruz, a mi consejera y compañera de vida Angélica Rosero por hacer parte de ese apoyo incondicional creyendo constantemente en mí.

Al profesor Jorge Nelson López Macías por hacer parte de gran parte de mi formación no solo académica si no también personal y profesional porque con ello aprendí que con perseverancia obtendré y alcanzaré mis metas.

En general a todos los docentes del programa de Ingeniería en producción acuícola y resaltar a los profesor Julbrinner Salas, Wilmer Sanguino, Gustavo Torres, directivos, administrativos y quienes me dieron la oportunidad de adquirir una excelente formación para hoy en día poder compartir y expresar todo el conocimiento conseguido durante el paso por la Universidad de Nariño.

Al Centro Ambiental y Piscícola Guairapungo de CORPONARIÑO que nos abrió las puertas para investigar y generar nuevo conocimiento para la región.

**“En los momentos de crisis sólo la imaginación es más importante que el conocimiento”**

**Albert Einstein**

Les dedico a ustedes este logro y me siento muy orgulloso de haber coincidido con todos y espero seguir contando con su apoyo así como yo lo haré siempre. Infinitas gracias.

**Marlon Santacruz**

## **DEDICADO A:**

Nunca es tarde agradecer a esas personas que contribuyeron a lo largo de la vida a mi formación como persona y como profesional. Aunque se han escrito muchas palabras de gratitud, en ocasiones el papel no puede plasmar a la perfección tanto afecto y admiración en el término de tan fructífero estudio.

Quiero mostrar mi agradecimiento a mi tutor el doctor Jorge Nelson López, de la misma forma al profesor Julbrinner Salas y al igual que al resto de profesores del programa y de la facultad por brindar sus conocimientos, consejos y apoyarme cuando lo he pedido. Asimismo, a la universidad de Nariño que fue la institución que me abrió sus puertas y me ha permitido formar parte de un equipo de profesionales brillantes, adquirir un gran bagaje de conocimientos para mi formación personal, poder ser un profesional ético y competente, además de aportar un granito de arena a la comunidad en general.

Así mismo, me gustaría agradecer la entrega incondicional de mi difunto padre Luis Rafael Santacruz y mi madre Nedy Eulalia Villota, quienes han supuesto un antes y un después a lo largo de mi vida, quienes me han ayudado a superar todos los obstáculos, grandes y pequeños, y me han animado a persistir, A mis hermanos Marlon, Camila y Alejandro, Así mismo a mi mejor amigo Diego por soportar mi mal humor y apoyarme siempre. Finalmente le agradezco también a una persona muy especial Jesica por apoyarme incondicionalmente y acompañarme a ser mejor persona día a día y motivarme a lograr mis sueños.

El camino hacia la culminación de mi trabajo académico habría sido mucho más complicado y sinuoso sin el apoyo y la motivación que todas las personas aquí nombradas y las que me quedaron faltando por nombrar. Deseo a todos ellos un próspero futuro, lleno de triunfos profesionales y de grandes riquezas en esta vida, las mejores energías y muchas gracias.

Mario Santacruz

## RESUMEN

La presente investigación evaluó en el Centro Ambiental y Piscícola Guairapungo de CORPONARIÑO, la eficiencia reproductiva comparativa de la trucha albina importada y la trucha silvestre (*Oncorhynchus mykiss*), adaptada a condiciones de altura en el lago Guamuez, corregimiento el Encano, Nariño. El estudio comprendió desde la selección de reproductores hasta la fase de eclosión, analizando las características fenotípicas, morfométricas e índices reproductivos de los machos y hembras, en términos de las condiciones cualitativas y cuantitativas de los óvulos y espermatozoides, expresadas como número de óvulos por kg de peso vivo, número de espermatozoides por mililitro, porcentaje de fertilización y de eclosión, con el fin de establecer comparativamente la calidad en cuanto al número de las larvas finales obtenidas en ambas variedades de trucha. Igualmente, se registraron dos veces por semana los parámetros fisicoquímicos de temperatura, oxígeno disuelto y pH.

Se utilizó un Diseño Irrestrictamente al Azar (DIA) conformado por tres tratamientos y cuatro réplicas por tratamiento, de tal manera que cada réplica estuvo constituida por los gametos de un macho y una hembra de trucha (*O. mykiss*) de la siguiente forma: T1 (tratamiento testigo): cuatro ejemplares de trucha silvestre machos y cuatro hembras silvestres para conformar cuatro réplicas con una relación macho-hembra de 1:1; T2: cuatro ejemplares de trucha silvestre hembras y cuatro machos de trucha albina y T3: cuatro ejemplares de trucha albina hembras y cuatro machos de trucha albina. Se utilizó el estadístico SPSS IBM 20 para determinar las diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos y establecer el mejor tratamiento.

La investigación demostró, que el mejor tratamiento desde el punto de vista estadístico ( $P < 0,05$ ) fue el T2 (cruce de machos albinos y hembras silvestres de trucha arcoíris), debido a que presentó el mayor porcentaje de eclosión (59,72%) obteniendo una producción de 426 larvas de trucha arcoíris por kilogramo de peso vivo (PV).

**Palabras clave:** Espermatozoides, óvulos, porcentaje de fertilización, porcentaje de eclosión, porcentaje de sobrevivencia, densidad espermática.



## ABSTRACT

This research evaluated the comparative reproductive efficiency of albino trout and imported wild trout (*Oncorhynchus mykiss*), adapted to high altitude conditions in Lake Guamuez, El Encano district, Nariño, at the Guairapungo Environmental and Fish Farming Center of CORPONARIÑO. The study comprised from the broodstock selection to the hatching phase, analyzing the phenotypic, morphometric characteristics and reproductive indices of males and females, in terms of the qualitative and quantitative conditions of the ovules and spermatozoa, expressed in number of ovules per kg of live weight, number of spermatozoa per milliliter, fertilization rate and hatching percentage, in order to comparatively establish the quality in terms of the number of final larvae obtained in both varieties of trout. Likewise, the physicochemical parameters of temperature, dissolved oxygen and pH were recorded twice a week.

A Random Design Without Restrictions (DIA) was carried out, made up of three treatments and four repetitions per treatment, in such a way that each replica was composed of the gametes of a male and a female trout (*O. mykiss*) as follows: T1 (control treatment): four male and four wild female wild trout specimens to form four replicates with a male-female ratio of 1:1 male-to-female ratio; T2: four wild female albino trout and four male albino trout and T3: four female albino trout and four male albino trout. The SPSS IBM 20 statistic was used to determine the statistically significant differences between the treatments and establish the best treatment.

The investigation showed that the best treatment from the statistical point of view ( $P < 0.05$ ) was T2 (crossing of albino males and wild females of rainbow trout), because it presented the highest percentage of hatching (59.72%) obtaining a production of 426 rainbow trout larvae per kilogram of live weight (LW).

**Keywords:** spermatozoa, ovules, fertilization rate, hatching rate, survival rate, sperm density.

## CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>16</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>18</b>
2.1. OBJETIVO GENERAL .....	18
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
<b>3. MARCO REFERENCIAL.....</b>	<b>19</b>
3.1. PRODUCCIÓN DE TRUCHA EN NARIÑO.....	19
3.2. PROCEDENCIA DE LAS OVAS Y ALEVINOS DE TRUCHA .....	19
3.3. CALIDAD DE LA SEMILLA.....	20
3.4. OBTENCIÓN DE GAMETOS DE CALIDAD CON RELACIÓN A LA ALIMENTACIÓN EN REPRODUCTORES.....	20
3.5. TRUCHA ALBINA .....	21
3.6. ACUICULTURA DE ALTURA.....	22
3.7. GENERALIDADES DE LA ESPECIE .....	22
3.8. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LA TRUCHA ARCOÍRIS ( <i>ONCORHYNCHUS</i> <i>MYKISS</i> ) 23	
3.9. CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS.....	23
3.10. HÁBITAT Y BIOLOGÍA.....	24
3.11. SISTEMA DE PRODUCCIÓN .....	25
3.12. REPRODUCCIÓN DE TRUCHA ARCOÍRIS.....	26
3.13. EVALUACIÓN DE GAMETOS MASCULINOS Y FEMENINOS.....	26
3.13.1. <i>Concentración y porcentaje de motilidad espermática.</i> .....	26
3.13.2. <i>Gametos femeninos.</i> .....	26
3.14. OBTENCIÓN DE GAMETOS Y FERTILIZACIÓN .....	27
3.15. INCUBACIÓN .....	28
<b>4. DISEÑO METODOLÓGICO .....</b>	<b>31</b>
4.1. LOCALIZACIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO .....	31
4.2. PERÍODO DE ESTUDIO.....	31
4.3. INSTALACIONES, MATERIALES, EQUIPOS E INSUMOS .....	32
4.3.1. <i>Instalaciones.</i> .....	32
4.3.1. <i>Materiales.</i> .....	33
4.3.2. <i>Equipos.</i> .....	33
4.3.3. <i>Insumos.</i> .....	33
4.4. MATERIAL BIOLÓGICO .....	34
4.4.1. <i>Selección de reproductores.</i> .....	35
4.4.2. <i>Reproducción.</i> .....	36
4.4.3. <i>Incubación.</i> .....	37
4.4.4. <i>Características cuantitativas y cualitativas de los óvulos.</i> .....	38
4.4.5. <i>Características cuantitativas y cualitativas de los espermatozoides.</i> .....	40
4.5. SUMINISTRO DE AGUA.....	40

4.6. PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA .....	41
4.7. REGISTRO DE INFORMACIÓN .....	41
4.8. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	42
4.8.1. Prueba de hipótesis. ....	42
4.8.1. Análisis estadístico. ....	43
4.9. ÍNDICES REPRODUCTIVOS Y VARIABLES ZOOTÉCNICAS .....	43
4.9.1. Evaluación fenotípica de las hembras: peso, talla, estado de madurez sexual y características cualitativas y cuantitativas de los óvulos. ....	43
4.9.2. Evaluación fenotípica de los machos: peso, talla, estado de madurez sexual y características cualitativas y cuantitativas de los espermatozoides. ....	44
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>45</b>
5.1. CARACTERÍSTICAS FENOTÍPICAS DE COLORACIÓN, DIMORFISMO SEXUAL Y MORFOMÉTRICAS PROMEDIO REPRODUCTIVAS DE MACHOS DE TRUCHA ARCOÍRIS .....	45
5.2. CARACTERÍSTICAS FENOTÍPICAS DE COLORACIÓN, DIMORFISMO SEXUAL Y MORFOMÉTRICAS PROMEDIO REPRODUCTIVAS DE HEMBRAS DE TRUCHA ARCOÍRIS .....	47
5.3. EVALUACIÓN DE VARIABLES REPRODUCTIVAS .....	48
5.3.1. Índices reproductivos en machos de trucha arcoíris. ....	48
5.3.2. Índices reproductivos en hembras de trucha arcoíris. ....	52
Tabla 8. Volumen de huevos promedio por tratamiento .....	52
Tabla 9. Fecundidad absoluta promedio por tratamiento .....	53
Tabla 10. Diámetro de huevos promedio por tratamiento .....	54
Tabla 11. Fertilización de huevos por tratamiento mediante la prueba Chi-cuadrado .....	55
Tabla 12. Eclosión de huevos por tratamiento mediante la prueba Chi-cuadrado... ..	57
Tabla 13. Número de larvas promedio por tratamiento .....	58
5.4. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE CALIDAD DE AGUAS DE LA ESTACIÓN 58	
5.4.1. Temperatura. ....	59
5.4.2. Oxígeno Disuelto. ....	60
5.4.3. pH del agua. ....	60
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>62</b>
6.1. CONCLUSIONES .....	62
6.2. RECOMENDACIONES .....	62
<b>7. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>63</b>
<b>8. ANEXOS .....</b>	<b>70</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos requeridos para la producción de trucha arcoíris...	25
Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos de los estanques de reproductores .....	32
Tabla 3. Peso y talla promedio de machos de trucha arcoíris. ....	47
Tabla 4. Peso y talla promedio de hembras de trucha arcoíris.....	48
Tabla 5. Volumen espermático promedio por tratamiento.....	48
Tabla 6. Densidad espermática promedio por tratamiento.....	49
Tabla 7. Motilidad espermática promedio por tratamiento.....	50
Tabla 8. Volumen de huevos promedio por tratamiento .....	52
Tabla 9. Fecundidad absoluta promedio por tratamiento .....	53
Tabla 10. Diámetro de huevos promedio por tratamiento .....	54
Tabla 11. Fertilización de huevos por tratamiento mediante la prueba Chi-cuadrado....	55
Tabla 12. Eclosión de huevos por tratamiento mediante la prueba Chi-cuadrado .....	57
Tabla 13. Número de larvas promedio por tratamiento .....	58

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estación Ambiental y Piscícola Guairapungo de CORPONARIÑO, Vereda Casapamba, El Encano – Nariño .....	31
Figura 2. Estanques de reproductores de trucha arcoíris de la Estación Ambiental y Piscícola Guairapungo .....	32
Figura 3. Piletas para recepción de reproductores seleccionados en la Estación Ambiental y Piscícola Guairapungo .....	34
Figura 4. Sala de incubación de la Estación Ambiental y Piscícola Guairapungo .....	34
Figura 5. Selección de las hembras maduras de trucha arcoíris albina de los estanques de reproducción.....	35
Figura 6. Selección de las hembras maduras de trucha arcoíris silvestre de los estanques de reproducción.....	35
Figura 7. Extracción de ovas de las hembras de trucha.....	36
Figura 8. Extracción de semen en machos .....	37
Figura 9. Inseminación artificial de trucha arcoíris .....	37
Figura 10. Incubación de ovas de trucha arcoíris albina y silvestre .....	38
Figura 11. Conteo de ovas por el método de peso.....	39
Figura 12. Registro del diámetro de ovas.....	39
Figura 13. Muestra de esperma de reproductor de trucha arcoíris.....	40
Figura 14. Estructura de entrada del agua al sistema .....	41
Figura 15. Aireación del recurso por el efecto de la caída del agua .....	41
Figura 16. Vista lateral de machos de trucha arcoíris albina. ....	45
Figura 17. Vista dorso lateral de machos de trucha arcoíris albina .....	46
Figura 18. Vista lateral de hembras de trucha arcoíris albina .....	47
Figura 19. Densidad espermática de los machos de trucha por tratamientos .....	49
Figura 20. Motilidad espermática por tratamiento en machos de trucha arcoíris .....	50
Figura 21. Fecundidad absoluta de los diferentes tratamientos en hembras de trucha ..	53
Figura 22. Diámetro de los huevos en hembras de trucha por cada tratamiento .....	55
Figura 23. Porcentaje de fertilización por tratamiento en trucha arcoíris.....	56
Figura 24. Porcentaje de eclosión por tratamiento .....	57
Figura 25. Número de larvas en los tres tratamientos.....	58
Figura 26. Registro de temperatura durante el período experimental .....	59
Figura 27. Registro de oxígeno durante el período experimental.....	60
Figura 28. Registro de pH de durante el período experimental .....	61

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Protocolo de bienestar animal .....	70
Anexo B. Análisis descriptivo de la población de machos y hembras de trucha .....	73
Anexo C. Prueba de normalidad de las variables dependientes en los machos y hembras de la población de estudio.....	75
Anexo D. Análisis descriptivo de los machos de estudio.....	76
Anexo E. Análisis de varianza del peso de machos de trucha arcoíris. ....	77
Anexo F. Análisis de varianza de talla en machos de trucha arcoíris.....	78
Anexo G. Análisis descriptivo de las hembras de estudio .....	79
Anexo H. Análisis de varianza del peso de hembras de trucha arcoíris.....	80
Anexo I. Análisis de varianza de talla en hembras de trucha arcoíris .....	81
Anexo J. Análisis de varianza del volumen seminal en machos de trucha.....	82
Anexo K. Análisis de varianza de densidad espermática en machos de trucha.....	83
Anexo L. Prueba de comparaciones múltiple de tukey en la densidad Espermática.....	84
Anexo M. Análisis de varianza de motilidad espermática en machos de trucha .....	85
Anexo N. Prueba de comparaciones múltiple de tukey en la motilidad espermática.....	86
Anexo O. Análisis de varianza de huevos por volumen en hembras de trucha.....	87
Anexo P. Análisis de varianza de fecundidad absoluta en hembras de trucha .....	88
Anexo Q. Análisis de varianza en el diámetro de huevos en hembras de trucha.....	89
Anexo R. Prueba de Chi-cuadrado del porcentaje de fertilización en hembras de trucha .....	90
Anexo S. Prueba de Chi-cuadrado del porcentaje de eclosión en hembras de trucha...	91
Anexo T. Prueba de comparaciones múltiple de tukey en porcentaje de eclosión.....	92
Anexo U. Análisis de varianza del número de larvas en hembras de trucha.....	93
Anexo V. Prueba de comparaciones múltiple de tukey con el número de larvas .....	94
Anexo W. Análisis descriptivo de parámetros fisicoquímicos de estudio .....	95
Anexo X. Muestreos de temperatura de la sala de incubación del estudio. ....	96
Anexo Y. Muestreos de Oxígeno Disuelto de la sala de incubación del estudio. ....	97
Anexo Z. Muestreos de pH de la sala de incubación del estudio. ....	98

## GLOSARIO

**MADUREZ SEXUAL:** es el momento en el cual un organismo acuático animal adquiere la capacidad para llevar a cabo la reproducción.

**OVA:** ovulo fecundado de peces.

**ESPERMATOZOIDE:** es la célula sexual masculina que se produce en los testículos del macho, a través del proceso conocido como espermatogénesis.

**DESOVE:** liberación de gametos femeninos al medio para fecundación externa.

**FECUNDACIÓN:** proceso por el cual dos gametos (masculino y femenino) se fusionan durante la reproducción sexual para crear un cigoto, con un genoma derivado de ambos progenitores.

**INCUBACIÓN:** fase de producción piscícola, durante la cual los organismos acuáticos se desarrollan.

**ECLOSIÓN:** momento en que las ovas comienzan a salir de su huevo, una vez han alcanzado el máximo nivel de su desarrollo y están listos para nacer.

**ACUICULTURA:** es la ciencia que estudia las técnicas, procedimientos, conocimientos y actividades orientadas a la producción, el crecimiento o desarrollo y comercialización de organismos acuáticos, animales o vegetales, de aguas dulces, salobres o saladas, en recintos artificiales y condiciones controladas, para beneficio del hombre.

**PARÁMETRO FÍSICO-QUÍMICO:** información de la naturaleza química del agua y sus propiedades físicas.

**ESTANQUE:** estructura artificial, construida de diferentes materiales y dimensiones con fines de cultivo, diseñado de acuerdo a la tecnología de crianza de cada especie acuícola.

**SEMILLA:** en acuicultura se refiere a larvas, post larvas, alevines, juveniles que se producen en viveros o laboratorios o se colectan del medio natural y se emplean en un sistema de cultivo acuícola.

**TRUCHA ARCOÍRIS:** especie íctica de la familia salmonidae, originaria de los ríos y lagos de la costa occidental de Norte América, la cual ha sido introducida en el mundo entero debido a su uso en la pesca deportiva y a su incremento de peso, bajo condiciones controladas de cultivo.

## 1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO<sup>1</sup>, la acuicultura en el mundo es fundamental y necesaria principalmente por proveer alimento de excelente calidad a la población humana, generando un producto proteico de alto valor nutricional al consumidor. En el año 2020 la producción mundial de peces alcanzó un máximo, de 178 millones de toneladas, de las cuales el 89 % se empleó para consumo y las restantes se destinaron a usos no alimentarios. Morales y Morales<sup>2</sup>, reportaron 50 especies que son cultivadas en América Latina y el Caribe, dentro de ellas está la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) que, dentro de los peces de aleta, en la acuicultura continental la trucha en el mundo ocupa el puesto número 13 con aproximadamente “739,5”<sup>3</sup> mil toneladas de peso vivo producidas en el año 2020.

El cultivo de trucha en Colombia descrito por la FAO<sup>4</sup>, se destaca como uno de los países con mayor biodiversidad del mundo al igual que una vasta red fluvial que recorre todo el país. De esta manera, desde la década de los ochenta la acuicultura se consolida con un crecimiento exponencial, “produciendo 224 toneladas en 1980 a 175.580 toneladas en 2020”<sup>5</sup>, que según la FAO<sup>6</sup>, son producidas en granjas industriales, sistemas semiintensivos e intensivos, en estanques excavados, recubiertos con geomembrana, contruidos en cemento y jaulas flotantes. Según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - MADR<sup>7</sup>, la trucha arcoíris ocupa actualmente el cuarto renglón, representando el 11,36% de la producción piscícola total del país, proveniente de los departamentos de Antioquia, Cundinamarca, Cauca, Nariño, Boyacá, Santander, Risaralda, Quindío, entre otros.

---

<sup>1</sup> FAO. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul. Rome: [Italia], 2022. p. 31. ISBN 978-92-5-136464-2

<sup>2</sup>MORALES, Vielka V. y MORALES, Reinaldo R. Síntesis regional del desarrollo de la acuicultura. 1. América latina y el caribe – 2005. Roma: [s.n.], 2006. p. 38. ISSN 0429-9329

<sup>3</sup> FAO. La Situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2022. Vers une transformation bleue. Rome: [Italia], 2022. p. 76. ISBN 978-92-5-136461-1

<sup>4</sup>FAO. Visión general del sector acuícola nacional. Colombia. [Online]. 2021. [citada: 15 marzo 2021]. [http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso\\_colombia/es](http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_colombia/es).

<sup>5</sup> Producción de pescado crece hasta un 18% en Semana Santa [Online]. 2021 [Citada: 6 de junio de 2021] <https://www.portafolio.co/economia/produccion-de-pescado-crece-hasta-un-18-por-ciento-en-semana-santa-550553>

<sup>6</sup> FAO. Op. Cit., p.1

<sup>7</sup>MADR. Sistema de información de precios y mercados para la producción acuícola y pesquera. Trucha arco iris en Colombia: estructura y costos de producción. En: Corporación Colombia Internacional, 2009. Vol. 5, no. 13. ISSN 2011-8120



De acuerdo con, Hortúa<sup>8</sup> y Roca et al<sup>9</sup>, el departamento de Boyacá es el mayor productor de trucha en Colombia, seguido por el departamento de Nariño en el municipio El Encano; produciéndose según Fuentealba<sup>10</sup>, la Corporación Autónoma Regional de Nariño – CORPONARIÑO<sup>11</sup> y el MINISTRO DEL MEDIO AMBIENTE<sup>12</sup>, en el año 2018 un total de 848,09 toneladas de trucha arcoíris de las cuales el 95,4% son provenientes de cultivos en jaulas flotantes en las veredas Santa Teresita y Mojondinoy.

En los últimos años, infortunadamente el Instituto Colombiano Agropecuario - ICA<sup>13</sup>, ha reportado el incremento de la mortalidad en los cultivos de trucha arcoíris en esta región, debido principalmente a la importación de ovas no certificadas y de orígenes desconocidos; lo que ha favorecido a la propagación de enfermedades, reduciendo la rentabilidad de la truchicultura; y con el fin de mantener el crecimiento de la industria truchícola nariñense, se requiere el suministro constante de postlarvas de excelente calidad genética.

Por lo anteriormente expuesto, por la falta de estudios reproductivos en las variables zootécnicas de interés y considerando el incremento de los costos de la semilla importada, certificada tipo monosexo y triploide, marca Troutlodge<sup>14</sup>, además de la devaluación permanente del peso colombiano, los resultados de la presente investigación permitirán producir a futuro en la Estación Ambiental y Piscícola Guairapungo de CORPONARIÑO, larvas de trucha adaptadas a las condiciones de altura en el altiplano nariñense, a partir del cruce de padrotes de trucha silvestre con la trucha albina importada, la cual se caracteriza por su mayor rusticidad registrando el mayor porcentaje de fertilización y eclosión durante la reproducción, obteniendo de esta manera en posibles investigaciones futuras al final de cada ciclo de cultivo, ejemplares con características fenotípicas y de crecimiento deseadas por los productores, con el fin de fomentar el cultivo de trucha con estos cruzamientos de larvas adaptadas en las siguientes fases de cultivo para el incremento de la producción con fines productivos en carne, pesca deportiva o acuariofilia como estrategia de desarrollo económico sustentable de la región.

---

<sup>8</sup>HORTÚA CORTÉS, Nadezhdy Ginova. Zonificación de la Acuicultura Nacional. [Online]. 2013.

<sup>9</sup>ROCA LANA O, B., MENDOZA URECHE R. y MANJARRÉS MARTÍNEZ L. 2018. Estimaciones de la producción de la acuicultura durante los años 2017 y 2018. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP), SEPEC. Bogotá, 25 p.

<sup>10</sup>FUENTEALBA URZÚA, Paula Javiera. (Mono) cultivos de trucha arcoíris en la laguna La Cocha, Colombia: trayectorias y transformaciones socioambientales, productivas, culturales y en las relaciones de género dentro del entorno lacustre.

<sup>11</sup>CORPONARIÑO. Resolución 1006. [Online]. 2015.

<sup>12</sup>MINISTRO DEL MEDIO AMBIENTE. DECRETO 698 DE 2000 [Online]. <http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=1149135>

<sup>13</sup>ICA. El ICA atendió la notificación de mortalidad de trucha arcoíris en Nariño [online]. 2018. [Citada: 6 de junio de 2021] <https://www.ica.gov.co/noticias/ica-notificacion-mortalidad-trucha-arcoiris.aspx>

<sup>14</sup>ACUAGRANJA S.A.S. Ovas Troutlodge. [online]. 2020. [Citada: 6 de junio de 2021] <https://acuagranja.com.co/ovas/>

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Analizar la eficiencia reproductiva comparativa de la trucha albina importada vs la trucha silvestre (*Oncorhynchus mykiss*), adaptada a condiciones de altura y disponible en el Centro Ambiental y Piscícola Guairapungo de CORPONARIÑO.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Establecer las características fenotípicas como la coloración, dimorfismo sexual y morfométricas promedio de los reproductores estudiados.
- Estudiar las características cuantitativas de los gametos masculinos.
- Estudiar las características cuantitativas de los gametos femeninos.

### 3. MARCO REFERENCIAL

#### 3.1. PRODUCCIÓN DE TRUCHA EN NARIÑO

En el departamento de Nariño, específicamente en la laguna de La Cocha ubicada en el corregimiento el Encano, el ICA<sup>15</sup> estima que existen 114 predios dedicados a la producción de trucha arcoíris (*O. mykiss*), su gran mayoría se encuentran en establecimientos de acuicultura de recursos limitados como los medianos y pequeños productores. Según el Servicio Estadístico Pesquero Colombiano las piscifactorías generan en el año una producción total aproximada de 848,09 toneladas.

#### 3.2. PROCEDENCIA DE LAS OVAS Y ALEVINOS DE TRUCHA

Según Cabra<sup>16</sup>, la producción anual está sujeta a las importaciones de las ovas provenientes de Estados Unidos, las empresas productoras de semilla contienen todos los permisos correspondientes para el ingreso al país. Ese es el origen de la mayoría de los alevines que utiliza la industria en el país, ya que tienen crecimientos más rápidos por la presencia de hembras. En Nariño, Martínez y Gonzalez<sup>17</sup>, informan que los ejemplares se importan para su producción debido a que no se ha desarrollado técnicas de producción de semilla de buena calidad y certificada en el país.

La producción de trucha es sustentable por su gran demanda en el mercado y para poder proporcionar un alimento de excelente calidad en una estación de producción de carne de pescado, es necesario adquirir ovas o larvas de excelente calidad, que se adapten fácilmente al medio de cultivo con el fin de reducir mortalidades. Es por esto que en Colombia según el ICA<sup>18</sup> y el ICA<sup>19</sup>, han informado que las mayores pérdidas de ejemplares son por la proveniencia de semilla de contrabando. “La incidencia de contrabando de ovas de trucha arcoíris, traídas desde el Ecuador por parte de algunos productores, es una de las principales causas que favorece el ingreso de enfermedades

---

<sup>15</sup>INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO - ICA. Para fortalecer la producción acuícola de Nariño, el ICA asegura el adecuado manejo sanitario con actividades de control. 2021. <https://www.ica.gov.co/noticias/ica-fortalece-produccion-acuicola-en-narino>

<sup>16</sup>CABRA, Erika. CARACTERIZACIÓN Y PROPUESTA PARA LA EXPORTACIÓN DE TRUCHA ARCOÍRIS COLOMBIANA A ARUBA. Trabajo de Investigación para optar el título de Ingeniera Comercial. Universidad De Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Facultad de Ciencias Ambientales e Ingenierías. Ingeniería Comercial. 2019. Bogotá.

<sup>17</sup>Martínez, H. y Gonzalez, F. La Cadena de la Piscicultura en Colombia. Investigación, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2005. Observatorio Agrocadenas Colombia.

<sup>18</sup>INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO – ICA. El ICA capacita a productores en sanidad acuícola y enfermedades que afectan a la trucha arcoíris. 2018. Bogotá D.C. [Online]. <https://www.ica.gov.co/noticias/ica-capacita-productores-narino-sanidad-acuicola>

<sup>19</sup>INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO – ICA. El ICA une esfuerzos con los productores de trucha para mejorar la sanidad acuícola de Nariño. 2021. Bogotá. <https://www.ica.gov.co/noticias/el-ica-une-esfuerzos-con-los-productores-de-trucha>

a los cultivos”<sup>20</sup>, generando enfermedades de fácil propagación como sucede en la laguna de la cocha.

### **3.3. CALIDAD DE LA SEMILLA**

En términos generales según Rosado<sup>21</sup> la calidad de la semilla no es otra cosa sino que obtener ovas resistentes hasta producir alevinos viables, con esta precisión se tiene que los indicadores de calidad están referidos a la supervivencia en las diferentes etapas de desarrollo; para el caso específico de las truchas, corresponden a fertilización inicial, cantidad de ovas que alcanzan estadio de embrión, número de larvas eclosionadas y finalmente, número de alevinos que sobreviven hasta primera alimentación. Si bien el indicativo de calidad continúa estableciéndose a través de la supervivencia, que dependerá de la configuración estructural del huevo, la que conjuntamente tiene componentes dimensionales o físicos, y de composición. Entre los que son considerados están, el diámetro, peso, volumen y densidad. Aquellos de composición contemplan los contenidos de proteínas y lípidos principalmente, aunque de especial relevancia adquieren otros compuestos y elementos menores como vitaminas, carotenos, enzimas y hormonas específicas, entre otras. Se entiende que los huevos de peces deberán contener todos los requerimientos necesarios, en las cantidades adecuadas, para el desarrollo embrionario; de aquí se deduce que será la condición de la hembra la que al final determine la calidad de la ova, en lo referente a su composición final.

### **3.4. OBTENCIÓN DE GAMETOS DE CALIDAD CON RELACIÓN A LA ALIMENTACIÓN EN REPRODUCTORES**

Para producir ovas y espermatozoides de excelente calidad, es necesario preparar los reproductores para la generación de material genético que soporte condiciones ambientales no controlables en los cultivos; el factor principal para el éxito en la obtención de los gametos masculinos y femeninos es la alimentación de los animales, que generalmente en condiciones de cautiverio se realiza con dietas balanceadas, que contenga los requerimientos nutricionales demandados por cada fase de cultivo en los peces. Por lo general en reproductores según Choquehuayta<sup>22</sup>, es recomendable alimentar con alimento balanceado que contenga un porcentaje de proteína de 40% en 2 raciones diarias, que permitirá de esta manera la formación de las gónadas en su mayor proporción de huevos, un tamaño de ova ideal y una alta producción de espermatozoides en reproductores de trucha.

---

<sup>20</sup> INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO – ICA. El ICA atendió la notificación de mortalidad de trucha arcoíris en Nariño. 2018. Bogotá. [Online]. <https://www.ica.gov.co/noticias/ica-notificacion-mortalidad-trucha-arcoiris.aspx>

<sup>21</sup> ROSADO, Rafael. CONSIDERACIONES SOBRE LA PRODUCCIÓN NACIONAL DE SEMILLA DE TRUCHA ARCO IRIS (*Oncorhynchus mykiss*). Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuícola año II, vol. 2, 2007. ISSN 1909 - 8138

<sup>22</sup> CHOQUEHUAYTA, A. MANUAL DE CRIANZA DE TRUCHAS EN ESTANQUES Y LOMBRICULTURA. Puno, 2008.

### 3.5. TRUCHA ALBINA

Arregui<sup>23</sup>, demostró que países como Canadá, Chile, EEUU o Dinamarca disponen de programas nacionales o regionales de selección de trucha arco iris, la selección o cría selectiva consiste en la mejora de los genes de una población a través de sus expresiones o caracteres; los caracteres (expresión de los genes) pueden ser cualitativos o cuantitativos, la genética de los caracteres cualitativos es sencilla y no está influida por el ambiente; estos caracteres están controlados normalmente por uno o dos genes, los colores corporales albino o azul plateado están controlados en cada caso por un gen autosómico con acción génica de dominancia completa, el carácter recesivo albino o azul plata sólo se expresará en individuos homocigóticos recesivos.

Ordoñez<sup>24</sup>, encontró que la trucha albina es un animal que surge de la unión de dos animales de razas o especies diferentes, son extraños, curiosos y suelen nacer como producto de la intervención humana. Estos aportan las mejores características del padre y de la madre, por eso suelen cruzarse para incrementar la productividad; este tipo de organismo no deja de sorprender, sobre todo cuando los colores de los peces resultan tan llamativos.

La trucha albina actualmente no se cuenta con información suficiente para su producción; además, se tiene referencia según Ordoñez<sup>25</sup>, que estos ejemplares fueron obtenidos como un híbrido entre dos especies distintas; por ejemplo, la trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y la trucha dorada (*Oncorhynchus aguabonita*), al cruzar estas especies surge la llamada trucha Palomino, que algunos pescadores la confunden con una arcoíris albina, concepto herrado a la hora de describir esta trucha, ya que su característico y llamativo color surge de cruzar los genes que determinan el color de piel, siendo el gen G para la trucha arcoíris y color normal, y G' para la trucha dorada, en este caso, estos tipos de genes son del tipo codominantes, ya que ambos aportan de igual manera en la determinación de ese rasgo, de manera genotípica y fenotípica, estas truchas se caracterizan por poseer el denominado "Vigor híbrido", llamado así porque este pez crece más rápido que la trucha arcoíris y la trucha dorada, es un común habitante de las aguas del estado de Virginia en los Estados Unidos. Ahora se encuentran en Chile y es muy probable que en un futuro habiten en lugares de pesca a lo largo del país. Según el Ministerio del Ambiente<sup>26</sup>, del Perú reportó que en la región de Huánuco

---

<sup>23</sup>ARREGUI MARAVER, Luz. El cultivo de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). Madrid: Fundación Observatorio Español de Acuicultura, 2013. 103p. (Cuadernos de Acuicultura). ISBN 978-84-939800-4-7

<sup>24</sup>ORDOÑEZ D., Ricardo. La trucha de oro [Online]. [Citada: 6 de junio de 2021] <https://www.lavaguada.cl/reportajes/trucha-oro/trucha-oro.htm>

<sup>25</sup>Ibid., p 1

<sup>26</sup>MINISTERIO DEL AMBIENTE. Servicio de sistematización de información temática para la elaboración del documento de la línea de base de la trucha con fines de bioseguridad. [Online].

se encontró un cultivo de trucha albina, la cual como lo indicaron presenta un mejor desempeño en el crecimiento, pero no es muy comercial.

### 3.6. ACUICULTURA DE ALTURA

La piscicultura en altura requiere información básica para la producción de estos organismos; un factor importante que está asociado a la acuicultura de altura es el oxígeno disuelto. Meyer<sup>27</sup>, en su estudio presenta que la solubilidad del oxígeno en el agua disminuye mientras baja la presión atmosférica; es decir, a alturas mayores (sobre el nivel de mar) el agua puede mantener menores cantidades de gas en solución. El oxígeno se mantiene en solución en el agua debido a la presión atmosférica y la presión parcial de oxígeno como componente del aire. Con menos presión atmosférica, hay menos fuerza para mantener el gas en el agua. Pero esto no ha impedido a los acuicultores en la realización de cultivos como lo indica la FAO<sup>28</sup>, en la crianza de peces con estructuras flotantes, estanques en tierra, concreto, canales y sistemas con recirculación. Esto se lo puede evidenciar con cultivos realizados como lo menciona AQUA<sup>29</sup>, en Perú se está produciendo trucha arcoíris (*O. mykiss*), a 3.800 metros de altura, la cual, en los últimos diez años, ha presentado un crecimiento de más del 670%, pasando desde 6.997 toneladas en 2007 a 54.424 toneladas en 2017; El 80% de esta producción proviene del Departamento de Puno, específicamente, desde el lago Titicaca que se encuentra a esta altitud. En Colombia también se realiza la acuicultura en altura en el lago Guamuez ubicado en el Encano departamento de Nariño que se encuentra a 2.680 m s. n. m., y como lo indica el ICA “En la laguna de La Cocha se estima que existen 114 predios dedicados a la producción de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), en su gran mayoría establecimiento de acuicultura de recursos limitados, y medianas y pequeñas empresas. Según el Servicio Estadístico Pesquero Colombiano, tienen una producción total aproximada de 848,09 toneladas en el año”<sup>30</sup>.

### 3.7. GENERALIDADES DE LA ESPECIE

---

Perú, 2019, 91 p. [https://bioseguridad.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2020/02/sist\\_ldb\\_trucha\\_2019.pdf](https://bioseguridad.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2020/02/sist_ldb_trucha_2019.pdf)

<sup>27</sup>MEYER, Daniel E. Introducción a la Acuicultura [Online]. Zamorano, 2004, 144 p. [https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2490/1/208986\\_0363%20-%20Copy.pdf](https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2490/1/208986_0363%20-%20Copy.pdf)

<sup>28</sup>FAO. *Oncorhynchus mykiss* [Online]. 2009 [Citada: 6 de junio de 2021]. In Cultured aquatic species fact sheets. Text by Cowx, I. G. Edited and compiled by Valerio Crespi and Michael New. [http://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/es/es\\_rainbowtrout.htm](http://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/es/es_rainbowtrout.htm)

<sup>29</sup>AQUA. Perú: Produciendo truchas a 3.800 metros de altura [Online]. 2021, [Citada: 6 de junio de 2021] <https://www.aqua.cl/reportajes/peru-produciendo-truchas-3-800-metros-altura/>

<sup>30</sup>ICA. Para fortalecer la producción acuícola de Nariño, el ICA asegura el adecuado manejo sanitario con actividades de control [Online]. 2021, [Citada: 6 de junio de 2021] <https://www.ica.gov.co/noticias/ica-fortalece-produccion-acuicola-en-narino>

La trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) como lo afirma Hermes<sup>31</sup>, es una especie íctica foránea con una continua renovación a través de importaciones masivas de ovas desde los sitios de producción en Estados Unidos y Canadá hacia zonas de cultivo de alta montaña en Colombia. Las cifras de producción piscícola muestran una curva ascendente durante los últimos nueve años; la Federación Colombiana de Acuicultores (FEDEACUA) reportó un crecimiento de 9,01% de 2006 hasta 2016<sup>32</sup>, convirtiéndola en un recurso acuícola de importancia, de tal manera que en el año 2019 las producciones en Colombia presentadas por las estadísticas en el Servicio Estadístico Pesquero Colombiano - SEPEC<sup>33</sup>, representaron por especie un total de 34023,93 toneladas de las cuales la especie, *Oncorhynchus mykiss* reportó el 10% de las toneladas producidas.

### 3.8. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LA TRUCHA ARCOÍRIS (*Oncorhynchus mykiss*)

Reino: *Animalia*  
Subreino: *Bilateria*  
Infrareino: *Deuterostomía*  
Phylum: *Chordata*  
Subphylum: *Vertebrata*  
Infraphylum: *Gnathostomata*  
Superclase: *Actinopterygii*  
Clase: *Teleostei*  
Superorden: *Protacanthopterygii*  
Orden: *Salmoniformes*  
Familia: *Salmonidae*  
Subfamilia: *Salmoninae*  
Género: *Oncorhynchus*  
Especie: *Oncorhynchus mykiss*  
Nombre Común: Trucha Arcoíris<sup>34</sup>

### 3.9. CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS

---

<sup>31</sup>HERMES PINEDA, Santis, et al. Triploidía en trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*): posibilidades en Colombia. En: Rev Col Cienc Pec. Diciembre, 2004, Vol. 17, no.1.

<sup>32</sup>BELEÑO, Isis. La trucha, el oro azul de la agroindustria Colombiana [Online]. Bogotá: EDITORIAL LA REPÚBLICA S.A.S., 2017. [Citada: 31 mayo 2021] [https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/2428/Guia\\_Normas\\_%20ICONTEC\\_2018.pdf?sequence=5&isAllowed=y#:~:text=Seg%C3%BAn%20lo%20indica%20la%20norma,%2C%20edici%C3%B3n%2C%20entre%20otros.%22](https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/2428/Guia_Normas_%20ICONTEC_2018.pdf?sequence=5&isAllowed=y#:~:text=Seg%C3%BAn%20lo%20indica%20la%20norma,%2C%20edici%C3%B3n%2C%20entre%20otros.%22)

<sup>33</sup>ROCA LANAO, B., R. MENDOZA URECHE., L. y MANJARRÉS MARTÍNEZ. Producción de acuicultura en el área monitoreada por el SEPEC durante el año 2019. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP), 2019. Bogotá, 16 p.

<sup>34</sup>ITIS. *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792). [Online]. 2020.



Desde el punto de vista de la FAO<sup>35</sup>, la trucha arcoíris (*O. mykiss*), es una especie íctica perteneciente a la familia de los salmónidos, su anatomía externa se la puede identificar con un cuerpo de forma alargada, fusiforme con 60-66 vértebras, 3-4 espinas dorsales, 10-12 rayos dorsales blandos, 3-4 espinas anales, 8-12 rayos anales blandos, 19 rayos caudales; una aleta adiposa con borde negro, sin tubérculos nupciales, presentan cambios morfológicos en la cabeza, boca y color en los machos maduros; coloración azul a verde oliva sobre una banda rosada a lo largo de la línea lateral y plateada por debajo de ella, lomo, costados, cabeza y aletas cubiertas con pequeños puntos negros; la coloración varía con el hábitat, tamaño, y condición sexual, la trucha arco iris es nativa de las cuencas que drenan al Pacífico en Norte América, abarcando desde Alaska a México; en 1874 ha sido introducida en las aguas de todos los continentes excepto la Antártica, con propósitos recreacionales para pesca deportiva y para acuicultura. Como resultado, se han desarrollado varios linajes o cepas locales domesticadas como son las variedades "Shasta" y "Kamloops"<sup>36</sup>.

### 3.10. HÁBITAT Y BIOLOGÍA

En términos generales, para la FAO, la trucha arcoíris presenta:

Hábitos alimenticios carnívoros, resistente, fácil de desovar, de crecimiento rápido y tolerante a una amplia gama de ambientes y manipulaciones; los alevines grandes pueden ser criados fácilmente en la alimentación con una dieta artificial como se realiza en las producciones. La trucha arco iris es capaz de ocupar muchos hábitats diferentes, que abarcan desde un ciclo de vida anádromo [la cepa conocida como cabeza de acero "steelhead", que vive en el océano pero desova en ríos y corrientes con fondos de grava, flujos rápidos y bien oxigenados, hasta habitar de manera permanente en lagos]. La cepa o linaje anádromo es conocida por su crecimiento rápido, alcanzando 7-10 kg dentro de 3 años, mientras que la cepa de agua dulce sólo puede alcanzar 4.5 kg en el mismo lapso. La especie puede soportar amplias gamas de variación de temperatura (0-27 °C), pero el desove y crecimiento ocurren en una gama más estrecha (9-14 °C). La temperatura óptima del agua para el cultivo de trucha arco iris está por debajo de 21 °C. Como resultado, la temperatura y disponibilidad de alimento influyen el crecimiento y la maduración, haciendo que la edad de madurez varíe; aunque por lo general es 3-4 años. Las hembras son capaces de producir hasta 2000 huevos/kg de peso corporal. Los huevos son de diámetros relativamente grandes (3-7 mm). La mayoría de los peces desova sólo una vez, en primavera (enero-mayo), aunque la crianza selectiva y el ajuste del fotoperíodo ha producido cepas de criadero que pueden madurar más temprano y desovar todo el año. La selección de características superiores también se logra por entrecruzamiento, aumentando las tasas de crecimiento, resistencia a las enfermedades, fecundidad y mejorando la calidad y sabor de la carne. La manipulación genética de los cromosomas sexuales del embrión produce hembras triploide estériles, evitando así la mandíbula 'ganchuda' que no agrada al cliente y asegurando que los individuos introducidos/escapados no puedan reproducirse. Las truchas no desovarán naturalmente en sistemas de cultivo; de modo que para reproducción se deben obtener ya

---

<sup>35</sup>FAO. Programa de información de especies acuáticas *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792). [Online]. 2021. [http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oncorhynchus\\_mykiss/es](http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oncorhynchus_mykiss/es)

<sup>36</sup> FAO. *Oncorhynchus mykiss*. In Cultured aquatic species fact sheets. 2009. Text by Cowx, I. G. Edited and compiled by Valerio Crespi and Michael New.



sea por desove artificial en un hatchery o por recolección de huevos de poblaciones silvestres. Las larvas están bien desarrolladas al momento de la eclosión. En la naturaleza, las truchas adultas se alimentan de insectos acuáticos y terrestres, moluscos, crustáceos, huevos de peces y otros peces pequeños, pero el alimento más importante son los camarones de agua dulce, que contienen los pigmentos carotenoides responsables del color rosado-naranja en la carne. En acuicultura, la inclusión en los alimentos de los pigmentos sintéticos astaxantina y cantaxantina causa que se produzca esta coloración rosada (cuando sea deseada)<sup>37</sup>.

### 3.11. SISTEMA DE PRODUCCIÓN

Los sistemas de producción que se practican en la mayoría de granjas desde la perspectiva de la FAO, se practican en monocultivos; los sistemas intensivos son considerados necesarios en la mayoría de las situaciones, para generar una producción económicamente atractiva, es por esto, que una buena producción comercial de trucha debe tener un suministro de agua de alta calidad durante todo el año (1 L/min/kg de trucha sin aireación o 5L/s/tonelada de trucha con aireación), que satisfaga un número de criterios en los parámetros suministrados por la fuente hídrica como se expresan en la tabla 1<sup>38</sup>.

**Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos requeridos para la producción de trucha arcoíris**

<b>Parámetros fisicoquímicos</b>	<b>Cantidades requeridas</b>
O <sub>2</sub> disuelto:	6-8 ppm
CO <sub>2</sub> :	<2.0 ppm.
Temperatura:	8-9°C (Reproducción); 10-16°C (optima efectiva)
pH:	6.5 - 8.5.
Alcalinidad (como CaCO <sub>3</sub> ):	10-400 mg/Litro.
Manganeso:	<0.01 mg/Litro.
Hierro	<1.0 mg/Litro.
Zinc:	<0.05 mg/Litro.
Cobre:	<0,006 mg/Litro en agua blanda o <0.3 mg/Litro en agua dura.

Fuente: FAO. Visión general del sector acuícola nacional. Colombia. [Online]. 2021.

El suministro de agua registrada por la FAO<sup>39</sup>, generalmente viene por gravedad en grandes volúmenes y con altos recambios, utilizando alimento concentrado del 48% de proteína para iniciación y del 45 por ciento de proteína para las fases siguientes con o sin pigmento y no se utilizan fertilizantes; la densidad utilizada es de 60 peces/m<sup>3</sup>, equivalente a una carga de 0,18 – 0,24 kg/m<sup>3</sup> con un rendimiento de producción estimada de alrededor de 300 kg/m<sup>3</sup> /año; también se realizan cultivos en jaulas flotantes en lagos

<sup>37</sup>Ibid., p 1

<sup>38</sup>Ibid., p 1

<sup>39</sup>FAO. Op. cit., p.1

naturales y represas de aguas frías.

### **3.12. REPRODUCCIÓN DE TRUCHA ARCOÍRIS**

La FAO, en cuanto a la reproducción, la trucha:

No desova naturalmente en sistemas de acuicultura, por lo tanto, los huevos son desovados artificialmente de peces reproductores de alta calidad cuando están totalmente maduros; aunque las truchas comienzan a desovar a los dos años de edad, casi nunca se usan hembras para propagación antes que ellas tengan tres o cuatro años de edad. El número se puede obtener por el cálculo a partir de [los porcentajes] de sobrevivencia en las diferentes etapas del ciclo de vida y de la fecundidad de las hembras reproductoras. Generalmente, se estima satisfactoria una proporción sexual de un macho a tres hembras para los reproductores. Los machos y hembras se mantienen generalmente separados. La mantención de los reproductores puede ser costosa e intensiva en labor, provocando que algunas granjas compren huevos con ojos de otras fuentes; éstos debieran ser 'certificados como libres de enfermedad', si bien ellos debieran ser tratados con yodo (100 mg/litro por 10 min) a su llegada y elevados gradualmente a la temperatura del hatchery. Los reproductores son seleccionados para crecimiento rápido y maduración temprana (usualmente después de 2 años). Una herramienta de manejo usada frecuentemente es el empleo sólo de hembras de sexo invertido como reproductores, para producir progenie sólo de hembras que crecen más rápido. Los machos funcionales son producidos por administración oral de la hormona masculina 17 $\alpha$ -metil testosterona a través del alimento inicial en la etapa de alevín<sup>40</sup>.

### **3.13. EVALUACIÓN DE GAMETOS MASCULINOS Y FEMENINOS**

#### **3.13.1. Concentración y porcentaje de motilidad espermática.**

La Concentración y porcentaje de motilidad espermática de reproductores de trucha arcoíris, se realiza de la siguiente manera:

Concentración espermática: permite conocer el número de células espermáticas por unidad de volumen. El método más utilizado es el hemocitómetro, que consiste en diluir una muestra de semen con solución salina fisiológica (NaCl 0.9%), en una proporción que varía de acuerdo con la concentración espermática (1:1000 - 1:2000). Posteriormente se realiza el conteo individual de los espermatozoides en una cámara contadora de partículas (Neubauer o Makler). Movilidad masal y tiempo de activación: determina la movilidad masal de la muestra, activando una gota de semen (20  $\mu$ L) con agua (180  $\mu$ L) y se registra la duración del movimiento de los espermatozoides<sup>41</sup>.

#### **3.13.2. Gametos femeninos.**

---

<sup>40</sup>FAO. Op. Cit., p 1

<sup>41</sup>CRUZ CASALLAS, Pablo Emilio, VELASCO SANTAMARÍA, Yohana María y MEDINA ROBLES, Víctor Mauricio. Estado actual de la crioconservación de semen de peces tropicales en Colombia: resultados y perspectivas. En: Universidad de los Llanos. 10 p

Es importante tener en cuenta su color y diámetro de los huevos, que se obtiene por medio de una medición con pie de rey y el desplazamiento del núcleo del huevo en el microscopio para determinar su calidad; además de cuantificar el número de huevos desovados por hembra que se lo obtiene por diferentes métodos; en este caso los importadores mundiales de trucha Troutlodge<sup>42</sup>, presentan una metodología de conteo en canaleta Von Bayer, que consiste en pasar las ovas en línea recta de la base de la canaleta que tiene una medida en pulgadas que además indica el diámetro en la revisión de la tabla de Von Bayer brindando un número de ovas por litro y finalizar con el conteo de recipientes que contienen cada litro de ovas para multiplicar el valor de la tabla obteniendo así el valor total de ovas por cada individuo.

### **3.14. OBTENCIÓN DE GAMETOS Y FERTILIZACIÓN**

La obtención de gametos y fertilización de los reproductores según la FAO, presenta que:

La reproducción de la trucha arcoíris en las piscifactorías se realiza por medio de técnicas que están bien desarrolladas. El método de fertilización en seco, sin adición de agua, es el modo más común. Los huevos son removidos manualmente desde las hembras (anestesiadas) aplicando presión desde las aletas pélvicas hasta el área ventral, que causa menos estrés a los peces y produce huevos limpios y más saludables. La inserción de una aguja hipodérmica unos 10 mm en la cavidad del cuerpo cerca de las aletas pélvicas y presión de aire (2 psi) expelle los huevos. El aire es removido desde la cavidad del cuerpo masajeando los costados del pez. Hasta 2000 huevos/kg de peso corporal son recolectados en un recipiente y mantenidos secos, mejorando la fertilización. Los machos son tratados de la misma manera que las hembras, recolectando el semen en un recipiente, evitando la contaminación con heces o agua. El semen de más de un macho (asegura buena fertilización) es mezclado con los huevos. Se recomienda mezclar el semen de tres o cuatro machos antes de la fertilización, para reducir la endogamia. Se agrega agua para activar los espermios y causar un aumento de tamaño de los huevos de alrededor de 20 por ciento al llenarse el espacio perivitelino; un proceso conocido como “endurecimiento del huevo”. Los huevos fertilizados pueden ser transportados después de 20 minutos y hasta 48 horas después de la fertilización, pero luego no se pueden mover hasta la etapa en la cual, los ojos son visibles a través del huevo. La exposición directa a la luz debe ser evitada durante todas las etapas de desarrollo, pues matará los embriones. Una técnica que se ha desarrollado para mejorar el rendimiento de la producción es el uso del cultivo monosexo de hembras o de triploides. La triploidia es inducida exponiendo los huevos a presión o calor, mientras que los peces monosexo son producidos fertilizando huevos de hembras normales (cromosomas XX) con esperma de hembras masculinizadas de sexo invertido (cromosomas XXX). Los testículos maduros de peces de sexo invertido son grandes y redondeados pero no tienen abertura de salida. Los testículos son removidos del abdomen y lacerados para drenar el semen en contenedores. Se agrega un volumen igual de líquido adicional para dar motilidad a los espermios y dejarlos listos para fertilizar ovas normales. Una ventaja de esta técnica es que sólo los reproductores son de sexo invertido y ellos pueden ser criados

---

<sup>42</sup>TROUTLODGE. Conteo de ovas [Online]. 2021 [Citada: 14 de junio de 2021]. <https://www.troutlodge.com/es/articles/Conteo-de-ovas/>

separadamente, mientras que los peces comercializados no están expuestos a tratamiento hormonal<sup>43</sup>.

### 3.15. INCUBACIÓN

La incubación en trucha se realiza de la siguiente forma:

Los huevos son incubados sin perturbarlos hasta que se alcanza la etapa de ova con ojo, en bateas de incubación, incubadoras de flujo vertical o jarros de incubación. Las bateas de incubación y crianza tienen 40-50 cm de ancho, 20 cm de profundidad y hasta unos 4 m de largo. Usualmente ellas tienen 2 estratos de huevos colocados en canastillos de alambre o bandejas de malla (bandejas californianas) sostenidas unos 5 cm sobre el fondo y el agua pasa a través de la bandeja (3-4 L/min). A medida que los huevos eclosionan (4-14 semanas) los alevines caen a través de la malla a una batea inferior. La alternativa son las incubadoras de flujo vertical (incubadoras Heath) que apilan hasta 16 bandejas unas sobre otras. Una sola fuente de agua que fluye (3-4 L/min) a través de los huevos, derrama y cae sobre la bandeja de más abajo, aireándose al mismo tiempo, permitiendo eclosionar grandes números de huevos con una mínima cantidad de espacio y agua. Los alevines con saco pueden permanecer en las bandejas hasta que comienzan a nadar hacia arriba alrededor de 10 a 14 días después de la eclosión. El tiempo que toma la eclosión varía dependiendo de la temperatura del agua, siendo de 100 días a 3,9 °C y 21 días a 14,4 °C (alrededor de 360 grados día). Los jarros de eclosión, disponibles comercialmente o contruidos con un tambor de 40 L y tubería de PVC, introducen agua desde el fondo que luego fluye por la parte superior. Se puede incubar de manera barata 50.000 huevos suspendidos en un flujo de agua que rueda los huevos, siempre que la incubadora contenga dos tercios de su volumen de huevos y que la tasa de flujo levante los huevos 50 por ciento de su profundidad estática. En todos los métodos indicados, los huevos muertos son removidos regularmente para limitar la infección por hongos. Las infecciones fúngicas se pueden controlar usando formalina (solución de formaldehído al 37 por ciento) en el flujo de agua entrante en una dilución de 1:600 por 15 minutos diariamente, pero no dentro de las 24 horas desde la eclosión. Una vez alcanzada la etapa de ova con ojo se extraen los huevos (dejando caer los huevos 40 cm) por lo que se remueve los huevos débiles y no desarrollados. Las truchas eclosionan (típicamente 95 por ciento) con una reserva de alimento en un saco vitelino (el cual dura entre 2-4 semanas), por lo tanto, se les llama larvas con saco. La eclosión del lote de huevos usualmente toma 2-3 días, tiempo durante el cual todas las cáscaras de huevo son removidas regularmente, así como también las larvas muertas o deformes. Los huevos incubados separadamente en bandejas son transferidos a bateas de crianza después de eclosionar. Luego de la eclosión, se remueven las bandejas y la profundidad del agua en las bateas se mantiene baja (8-10 cm) con un flujo reducido hasta que las larvas alcanzan la etapa de “nado hacia arriba”, el saco vitelino es absorbido y comienza la búsqueda activa de alimento<sup>44</sup>.

Es importante y se hace necesario tener en cuenta los protocolos de reproducción de trucha arcoíris (*O. mykiss*) ya que además de ser una especie de aguas frías según

---

<sup>43</sup>FAO. Op. Cit., p.1

<sup>44</sup>Ibid., p 1

López<sup>45</sup>, es la especie íctica más importante de la acuicultura continental semiintensiva e intensiva del suroccidente Colombiano, estas se producen con aproximadamente 2000 toneladas/año, de las cuales, el altiplano Nariñense participa en el mismo período con 900 ton/año. Sin embargo, los principales obstáculos para la expansión de esta actividad acuícola en la región son la ausencia de semillas certificada adquirida a menor precio por algunas estaciones piscícolas que las obtienen ilegalmente y se ven reflejados en los altos costos de producción y alta mortalidad que se presenta durante el ciclo productivo específicamente en los cultivos establecidos en jaulas flotantes localizadas en el lago Guamuéz.

Además las afirmaciones de López y Salas<sup>46</sup>, el lago Guamuéz por su condición de humedal de importancia internacional, reconocido como riqueza ecológica de la humanidad, tiene aún más importancia para la zona de influencia, dadas sus características especiales al estar insertado en la cordillera de los Andes. Esto no implica que no pueda ser usado para algunas actividades antrópicas, como la pesca y la acuicultura, las que, por sus características, pueden llegar a ser inocuas para el medio ambiente como alternativa adicional en la producción de alimento para la humanidad, pues en estas condiciones, el convenio Ramsar deja abierta la posibilidad de su uso para estos fines en condiciones racionales, siempre que no ofrezcan amenazas para su deterioro; teniendo en cuenta que el lago se ha constituido en la única fuente de sustento económico para los moradores de la región, a través de turismo, pesca y acuicultura en estructuras flotantes.

En las explotaciones intensivas de trucha arcoíris según López y Salas en el 2012<sup>47</sup>, es recomendable el cultivo de ejemplares sólo hembras dentro de los protocolos de reproducción, debido a la precocidad sexual de los machos, lo cual ocasiona que un buen porcentaje de los nutrientes de la dieta sean utilizados en la formación de esperma, afectando negativamente los parámetros zootécnicos. Además, los machos son más agresivos y gastan energía en el ataque de sus congéneres propiciando, situaciones de jerarquía y dominancia, lo que se traduce en heridas y traumatismos en la piel y por ende, mayor incidencia y propagación de enfermedades causadas por agentes infecciosos.

---

<sup>45</sup>LÓPEZ MACÍAS, Jorge Nelson y RUALES, Elver. Manejo preventivo de la flavobacteriosis de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en cultivos intensivos en jaulas flotantes y superintensivos en raceways. En: Rev Acta Biol. Par, 2012. Vol. 41, no 1-2.

<sup>46</sup>LÓPEZ MACÍAS, Jorge Nelson y SALAS BENAVIDES, Julbrinner. Caracterización comparativa de la condición limnológica del lago Guamuéz en relación con la producción de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en jaulas flotantes. En: Rev ENTORNOS, abril, 2013. Vol. 26, no. 2.

<sup>47</sup>LÓPEZ MACÍAS, Jorge Nelson y SALAS BENAVIDES, Julbrinner. Evaluación de la ginogénesis de trucha arcoíris (*O. mykiss*), utilizando choque térmico de 27°C a diferentes periodos de exposición, en el centro ambiental Guairapungo (Nariño). En: Rev Veterinaria y Zootecnia, diciembre, 2012. Vol. 6, no, 2.

En los estudios de Sánchez et al.<sup>48</sup>, el 91,7% de los habitantes encuestados en el departamento de Nariño expresó su interés en contar con un plan de manejo sanitario de los animales para reducir mortalidades y maximizar la producción y el 76% de los encuestados utiliza antibióticos para combatir enfermedades en los peces cultivados, lo que significa que las producciones están viéndose afectadas por los factores estresantes que hacen que el sistema inmune de los peces se deprima, abriéndole paso a los agentes patógenos oportunistas que causan mortalidades en los cultivos.

En relación con la producción, López, et al.<sup>49</sup>, en el año 2014 el departamento de Nariño presentó liderazgo en Colombia en la producción de trucha de altura, principalmente en el lago Guamuez; infortunadamente, este cuerpo de agua de altiplano, enfrenta desde hace varios años un gran deterioro medioambiental debido a las descargas de basuras, aguas residuales domésticas, deforestación intensa de los bosques naturales de la cuenca, actividades agrícolas y ganaderas que erosionan los suelos e incrementan la cantidad de sólidos disueltos, afectando negativamente el hábitat de los peces, toda vez que aumenta la turbidez por la disminución del oxígeno disuelto, con alteración de los procesos de respiración, visión, olfato y con ello la respuesta inmunológica de los peces, causando así enfermedades y subsecuentemente el metabolismo oxidativo de los nutrientes, lo que incide en las variables de incremento de peso, talla y conversión alimenticia, impactando la rentabilidad de la truchicultura.

---

<sup>48</sup>SÁNCHEZ ORTIZ, Iván A, et al. Diagnóstico técnico de la cadena piscícola en Ancuya, Chiles y el Encano (Nariño, Colombia). En: REVIP, 2013. Vol. 2, no. 1.

<sup>49</sup>LÓPEZ MACÍAS, Jorge Nelson, et al. Caracterización parasitaria de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y su efecto en la producción de la estación piscícola flotante Intiyaco, en el lago Guamuez (Nariño). En: Rev Veterinaria y Zootecnia, diciembre, 2012. Vol. 8, no. 2.

## 4. DISEÑO METODOLÓGICO

### 4.1. LOCALIZACIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO

La investigación se realizó en la Estación Ambiental y Piscícola Guairapungo de CORPONARIÑO, que se encuentra localizado en el departamento de Nariño, corregimiento El Encano en la vereda Casapamba (Figura 1), con coordenadas geográficas 01°06'3.80" N y 77°07'2.26" W<sup>50</sup>, altura de 2.840 msnm, temperatura promedio del agua de 13°C y su extensión de 4.280 Hectáreas.

**Figura 1. Estación Ambiental y Piscícola Guairapungo de CORPONARIÑO, Vereda Casapamba, El Encano – Nariño**



### 4.2. PERÍODO DE ESTUDIO

El trabajo de campo se realizó durante 6 meses, realizando la selección, separación y aclimatación de reproductores de los estanques hacia piletas separadas con los parámetros de calidad de agua promedio descritos en la tabla 2.

<sup>50</sup>CORPONARIÑO.

Expediente

OCSC-009-17.

En:

<https://corponarino.gov.co/expedientes/calidadambiental/boletin/2017res112catq.pdf>



**Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos de los estanques de reproductores**

<b>Parámetro (Unidades de medida)</b>	<b>Valor</b>
temperatura promedio (°C)	11
pH	5,5
Oxígeno disuelto (mg/L)	7,61

#### **4.3. INSTALACIONES, MATERIALES, EQUIPOS E INSUMOS**

##### **4.3.1. Instalaciones.**

De la Estación Ambiental y Piscícola Guairapungo se utilizaron los estanques de reproductores para la selección de los ejemplares albinos y silvestres (Figura 2).

**Figura 2. Estanques de reproductores de trucha arcoíris de la Estación Ambiental y Piscícola Guairapungo**



En la sala de alevinaje se utilizaron dos piletas de concreto con dimensiones de 2,70 m de largo, 1 m de ancho y 0,65 m de columna de agua, previamente lavadas para la separación de los reproductores maduros seleccionados (Figura 3). Además se utilizaron de la sala de incubación, tres piletas de concreto con caudal promedio de 0,14 L/s para la recepción de las ovas (Figura 4).



#### **4.3.1. Materiales.**

- Nasas
- Portaobjetos y cubreobjetos
- Cámara de Neubauer (BOECO Germany®)
- Micropipeta
- Cajas de Petri
- Chinchorro
- Bayetillas
- Recipientes plásticos
- Bastidores
- Baldes
- Tazas
- Pie de rey
- Coladores de plástico
- Metro
- Ictiómetro
- Cinta de enmascarar
- Lapiceros
- Botellas plásticas
- Guantes de caucho
- Probetas de plástico

#### **4.3.2. Equipos.**

- HACH PENTAIR referencia FF - 1ª (Hach, Loveland, CO)
- Ysi EcoSence® - Modelo No. DO200
- Balanza JCM – Modelo ACS015H/C
- pH-metro APERA Serie 60
- Computador portátil ASUS®
- Computador portátil ACER®
- Cámara
- Microscopio OLYMPUS
- Microsoft Excel
- Microsoft Word
- Software SPSS – IBM 20

#### **4.3.3. Insumos.**

- Alimento concentrado

- Eugenol®
- Solución Serra (60% de alcohol, 30% de formol y 10% de ácido acético)
- Suero fisiológico

**Figura 3. Piletas para recepción de reproductores seleccionados en la Estación Ambiental y Piscícola Guairapungo**



**Figura 4. Sala de incubación de la Estación Ambiental y Piscícola Guairapungo**



#### **4.4. MATERIAL BIOLÓGICO**

Los reproductores evaluados en este trabajo tienen aproximadamente tres años de adaptación en condiciones de altura, los ejemplares silvestres fueron capturados por los

integrantes de la estación en las quebradas Santa Lucía y Santa Isabel ubicadas en el Encano. En el caso de las truchas albinas evaluadas, fueron importadas en una cepa de variedad “Kamloop”.

#### **4.4.1. Selección de reproductores.**

Una vez realizada la captura por arrastre con chinchorro, las hembras sexualmente maduras de trucha silvestre y albina se seleccionaron por la presencia del vientre abultado y flácido, con el poro urogenital prominente y enrojecido (Figura 5 y 6). Los reproductores machos maduros seleccionados, presentaron la expulsión del líquido seminal, mediante leve presión abdominal; con relación a la coloración de la piel, los reproductores silvestres son más oscuros y brillantes lo que no sucede en machos albinos.

**Figura 5. Selección de las hembras maduras de trucha arcoíris albina de los estanques de reproducción**



**Figura 6. Selección de las hembras maduras de trucha arcoíris silvestre de los estanques de reproducción**



Los ejemplares fueron trasladados desde los estanques a la sala de reproducción en tanques plásticos rectangulares, previamente lavados y desinfectados con sal marina, se llenaron con agua para reubicarlos posteriormente hasta los estanques de alevinaje. La manipulación de los ejemplares fue realizada con Eugenol® a una dosis de 3 gotas/L de agua, para sedarlos y luego se registraron las características fenotípicas y morfométricas tanto de los machos como de hembras (Anexo A).

#### **4.4.2. Reproducción.**

Se realizó el proceso de reproducción artificial mediante el método en seco (Anexo A); una vez sedados los animales, se realizó en primer lugar la extracción de gametos de las hembras; para tal efecto, se limpió la zona abdominal y por medio de un masaje abdominal cefalocaudal, se depositó los huevos en un recipiente plástico previamente desinfectado y seco (Figura 7).

**Figura 7. Extracción de ovas de las hembras de trucha**



Posteriormente se secó la zona abdominal de los machos y se colectó el esperma en otro recipiente evitando el contacto con cualquier materia orgánica, o agua (Figura 8). Se vertió en las ovas para así activar el esperma con suero fisiológico (9 mL/1 mL de semen) y fertilizar mediante una mezcla homogénea (Figura 9).



**Figura 8. Extracción de semen en machos**



**Figura 9. Inseminación artificial de trucha arcoíris**



#### **4.4.3. Incubación.**

Una vez realizada la fertilización de las ovas, se pasaron a bastidores que ocupan un volumen de 14,4 L que fueron sembrados a una densidad aproximada promedio de siembra de 0,13 ovas/mL, se lavaron con agua continental proveniente del sistema, con el fin de retirar el exceso de fluidos que se obtienen después de la reproducción artificial. Las ovas se incubaron, en estructuras horizontales durante un periodo de 320 grados/día que corresponde a un periodo promedio de 30 a 32 días. Se eliminaron diariamente las ovas muertas, las cuales se caracterizan por la coloración blanquecina, con el fin de evitar la propagación de hongos y con ello registrar en la tabla de campo diariamente la

mortalidad de estas para determinar el número de ovas eclosionadas al finalizar el estudio (Figura 10).

**Figura 10. Incubación de ovas de trucha arcoíris albina y silvestre**



#### **4.4.4. Características cuantitativas y cualitativas de los óvulos.**

##### **4.4.4.1. Conteo de ovas y diámetro de ovas.**

En la Estación Ambiental y Piscícola Guairapungo, se utilizó el método por peso, a partir del cual se tomó cuatro muestras de 30 ovas por separado que se pudieron contar y manipular, en un recipiente plástico con agua previamente tarado, y determinar así el peso inicial de 30 ovas, posteriormente se estimó el peso total de huevos extraídos por cada reproductor y así se obtuvo el número de ovas por desove (Figura 11). Igualmente, se realizó la medición del diámetro de las ovas manipuladas con un pie de rey para reportar el promedio de esta dimensión en cada hembra (Figura 12).

**Figura 11. Conteo de ovas por el método de peso**



La calidad del óvulo se estimó por la apariencia física de estas; como el estado de migración del núcleo germinal que se determinó mediante lavado de las ovas a muestrear, en solución fisiológica (cloruro de sodio al 0,6%) y luego se colocó en solución Serra (60% de alcohol, 30% de formol y 10% de ácido acético) para que se produzca la aclaración de la membrana tecal y el citoplasma de la ova, haciendo posible la visualización de la posición citológica del núcleo a través del estereoscopio.

**Figura 12. Registro del diámetro de ovas**



#### **4.4.5. Características cuantitativas y cualitativas de los espermatozoides.**

##### **4.4.5.1. Conteo de espermatozoides.**

El conteo de los gametos en reproductores machos, se realizó mediante el método del hemocitómetro; en la cual, se tomó el semen de cada individuo de trucha en una probeta de plástico para determinar el volumen espermático a partir de la recolección in situ en recipientes plásticos (Figura 13), y de la cantidad total de esperma del individuo, se retiró una muestra de 50  $\mu\text{L}$  con una micropipeta y se diluyó en 950  $\mu\text{L}$  de solución salina fisiológica (NaCl 0.9%) obteniendo un factor de dilución de 20 para estimar el número de células/mL en una cámara contadora Neubauer. Adicionalmente, en el microscopio con el objetivo 100X se cuantificó el tiempo de motilidad e indicadores cualitativos como color y consistencia de los espermatozoides.

**Figura 13. Muestra de esperma de reproductor de trucha arcoíris**



#### **4.5. SUMINISTRO DE AGUA**

La estación dispone de dos fuentes hídricas denominadas Caballo corral y Casapamba, las cuales son captadas por la bocatoma lateral tipo rejilla (estructura de entrada) que dirige el caudal por gravedad en un sistema de gradas integrándole aireación al agua por el efecto de la caída, para su posterior distribución a las zonas de reproducción, sala de incubación, larvicultura y alevinaje (Figura 14 y 15).



**Figura 14. Estructura de entrada del agua al sistema**



**Figura 15. Aireación del recurso por el efecto de la caída del agua**



#### **4.6. PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA**

Los parámetros fisicoquímicos de calidad de agua, temperatura y oxígeno disuelto, se determinaron dos veces por semana, con el equipo YSI EcoSence® referencia DO200A; y con el pH-metro APERA serie 60 se registró el potencial de Hidrógeno (pH).

#### **4.7. REGISTRO DE INFORMACIÓN**

Los registros se consignaron en las bases de datos de campo y se llevó el respaldo en forma sistémica en programas computacionales de software libre Excel.

#### **4.8. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Se utilizó un Diseño Irrestringidamente al Azar (DIA) conformado por tres tratamientos y cuatro réplicas por cada uno de ellos, de tal manera que cada réplica contuvo los embriones fecundados por los gametos de un macho y una hembra de trucha (*O. mykiss*) de la siguiente forma:

T1 (Tratamiento testigo): Cuatro ejemplares de trucha silvestre machos y cuatro hembras silvestres, con una relación macho-hembra 1:1, constituyendo cuatro réplicas.

T2: Cuatro ejemplares de hembras silvestres y cuatro machos albinos, con una relación macho-hembra 1:1, constituyendo cuatro réplicas.

T3: Cuatro ejemplares de hembras albinas y cuatro machos albinos, con una relación macho-hembra 1:1, constituyendo cuatro réplicas.

Los datos fueron expresados en promedios con la desviación estándar por cada tratamiento, tomando una muestra representativa de 30 ejemplares de cada sexo para someter los datos a una prueba de normalidad y el posterior análisis de varianza. Además, se realizó una transformación de los datos en los porcentajes de fertilización y de eclosión por medio de la prueba Chi-cuadrado.

El modelo matemático utilizado se representa bajo la siguiente expresión algebraica<sup>51</sup>.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{j(i)} + \eta_{k(ij)}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Variable respuesta

$\mu$  = Media general del experimento

$T_i$  = Efecto del i - ésimo tratamiento

$\varepsilon_{j(i)}$  = Error experimental asociado a la j-ésima unidad experimental que recibe el i-ésimo tratamiento

$\eta_{k(ij)}$  = Error de muestreo asociado a la K- ésima unidad experimental

$k$  = Unidad observacional

##### **4.8.1. Prueba de hipótesis.**

---

<sup>51</sup> SOLARTE, Carlos; GARCÍA, Hernán A e IMUEZ, Marco. Bioestadística: Aplicaciones en producción y salud animal, San Juan de Pasto: Editorial Universitaria – Universidad de Nariño, 2009. p. 304.

Hipótesis nula ( $H_0$ ): No existen diferencias significativas en el efecto medio de los tratamientos sobre las diferentes variables.

$$H_0: T_i = T_j \{i \neq j\}$$

Hipótesis alterna ( $H_1$ ): Por lo menos uno de los tratamientos tiene un efecto medio sobre las variables en evaluación.

$$H_1: T_i \neq T_j \{i, j = 1, 2, 3\}$$

#### 4.8.1. Análisis estadístico.

Con el software estadístico SPSS IBM 20, se efectuó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar las diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, con el propósito de establecer la mejor repuesta con respecto a los ejemplares de diferente condición fenotípica desde los índices reproductivos de los padrotes machos y hembras en manejo zootécnico.

### 4.9. ÍNDICES REPRODUCTIVOS Y VARIABLES ZOOTÉCNICAS

Los índices reproductivos como fecundidad que define el número de óvulos por kg de peso vivo, el conteo de espermatozoides por mL, porcentaje de fertilización y porcentaje de eclosión, fueron analizadas comparativamente en la variedad trucha albina como en la trucha silvestre (*O. mykiss*), utilizando prueba de hipótesis para determinar cuál de ellas presentan ventajas en la producción acuícola en el buen desarrollo en los sistemas de cultivo. Para este efecto, se evaluaron los reproductores machos y hembras. Así mismo, se analizaron mediante métodos cualitativos y cuantitativos, las variables zootécnicas y los gametos masculinos y femeninos, de la siguiente forma:

#### 4.9.1. Evaluación fenotípica de las hembras: peso, talla, estado de madurez sexual y características cualitativas y cuantitativas de los óvulos.

- Peso y talla de reproductores hembra.
- Características cualitativas de los óvulos maduros: color y tamaño promedio.
- Características cuantitativas de los óvulos:
  - Índice de Fecundidad Absoluta (IFA):

$$IFA = N^{\circ} \text{ de óvulos por hembra} \quad (1)$$

- Porcentaje de Fertilización (%F):

$$\% F = \frac{N^{\circ} \text{ de óvulos fertilizados}}{N^{\circ} \text{ de óvulos totales}} \times 100 \quad (2)$$

- Porcentaje de Eclosión (%E):

$$\% E = \frac{N^{\circ} \text{ de óvulos eclosionados}}{N^{\circ} \text{ de óvulos fertilizados}} \times 100 \quad (3)$$

#### **4.9.2. Evaluación fenotípica de los machos: peso, talla, estado de madurez sexual y características cualitativas y cuantitativas de los espermatozoides.**

- Peso y talla de reproductores macho.
- Características cualitativas de los espermatozoides: color y consistencia.
- Características cuantitativas de los espermatozoides: tiempo de motilidad de los espermatozoides, volumen y número de espermatozoides/mL.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los ejemplares evaluados en el presente trabajo, presentó un comportamiento normal de los datos, según la prueba de Shapiro Wilk con significancia  $p > 0,05$  en muestras de 30 individuos por cada sexo que fueron capturados al azar, por lo que se puede afirmar que se trabajó con una población homogénea; indicando un peso y talla promedio respectivamente de los ejemplares machos con  $1494,50 \pm 318,85$  g y  $45,27 \pm 3,42$  cm y un peso de hembras promedio de  $2780,92 \pm 341,01$  g con una talla de  $55,95 \pm 5,21$  cm (Anexo B y C).

### 5.1. CARACTERÍSTICAS FENOTÍPICAS DE COLORACIÓN, DIMORFISMO SEXUAL Y MORFOMÉTRICAS PROMEDIO REPRODUCTIVAS DE MACHOS DE TRUCHA ARCOÍRIS

Las características fenotípicas de los machos analizados, presentaron en el caso de la trucha albina, una coloración amarilla en la región dorsal del pez, a partir de la maxila superior hasta el pedúnculo caudal, su mandíbula inferior es más prominente que la superior (similar a machos de trucha silvestre) sus ojos son de color rojo, el opérculo color rosado, un cuerpo dividido por una franja en ambos lados de coloración rosada que se extiende a lo largo de la línea lateral desde el opérculo hasta el final de la región troncal (característica que también presenta la trucha silvestre), aleta dorsal y adiposa con coloración amarilla y aletas pectorales, ventrales, anal y caudal de color rosado (Figura 16 y 17).

**Figura 16. Vista lateral de machos de trucha arcoíris albina.**



**Figura 17. Vista dorso lateral de machos de trucha arcoíris albina**



Con respecto al color y naturaleza del semen de trucha albina y trucha silvestre registraron características similares de color blanco y consistencia lechosa. “El color y consistencia del semen se atribuyen a la concentración espermática y la naturaleza del líquido seminal, que sirve como medio de suspensión”<sup>52</sup>. Según Valdebenito et al.<sup>53</sup>, Cruz-Casallas<sup>54</sup> y Torres et al.<sup>55</sup>, el semen en salmónidos es de color blanco, consistencia lechosa y en algunos casos viscoso, características que concuerdan con las obtenidas en la presente investigación. “Esto se debe a la relación con la capacidad y maduración de los espermatozoides durante la migración a lo largo del conducto deferente y la producción del fluido que determina su hidratación”<sup>56</sup>.

Con relación al peso y talla de los machos de trucha silvestre y albina evaluados en este ensayo, se determinó que en el tratamiento 1 (T1), los machos silvestres, presentaron pesos y tallas promedio de  $1403,00 \pm 161,87$  g y  $46,63 \pm 4,54$  cm respectivamente; el tratamiento 2 (T2) con machos albinos, registraron pesos y tallas promedio de  $1322,00 \pm 83,22$  g y  $42,55 \pm 0,64$  cm; y el tratamiento 3 (T3) con promedio de peso de  $1758,50 \pm 442,57$  g y  $46,64 \pm 2,65$  cm (Tabla 3, Anexo D). El análisis de varianza con un  $p > 0,05$ , no detectó diferencias estadísticas significativas en los distintos tratamientos, con

---

<sup>52</sup> BUSTAMANTE GONZÁLEZ, Jesús et al. Crecimiento y calidad espermática en trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss* (Teleostei: Salmonidae) durante la temporada reproductiva. En: Hidrobiológica. Junio, 2018, vol. 28, no. 2. ISSN 0188-8897

<sup>53</sup> VALDEBENITO, I. et al. Análisis cualitativo y cuantitativo del semen de puye *Galaxias maculatus*. Biología Pesquera. 1995. 24: 17-21.

<sup>54</sup> CRUZ-CASALLAS, P. E. Técnicas de laboratorio para la evaluación de la calidad seminal en peces. En: Orinoquia. 2001. Vol. 5, No. 1. p 155-163

<sup>55</sup> TORRES, G. et al. Aspectos de la producción anual de semen de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en los Andes tropicales Venezolanos. En: Mundo Pecuario. 2014. Vol.1. p 9-14

<sup>56</sup> SCHULZ, R.W. y MIURA, T. Spermatogenesis and its endocrine regulation. Fish Physiology and Biochemistry. 2002. Vol, 26. p 43-56. DOI:10.1023/A:1023303427191



respecto al peso y talla de machos, lo que demuestra que los datos se ajustan a la distribución normal (Anexos E y F).

**Tabla 3. Peso y talla promedio de machos de trucha arcoíris.**

<b>Medidas corporales</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>
Peso (g)	1403,00±161,87 <sup>a</sup>	1322,00±83,22 <sup>a</sup>	1758,50±442,57 <sup>a</sup>
Talla (cm)	46,63±4,54 <sup>a</sup>	42,55±0,64 <sup>a</sup>	46,64±2,65 <sup>a</sup>

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

Fuente: Esta investigación.

## **5.2. CARACTERÍSTICAS FENOTÍPICAS DE COLORACIÓN, DIMORFISMO SEXUAL Y MORFOMÉTRICAS PROMEDIO REPRODUCTIVAS DE HEMBRAS DE TRUCHA ARCOÍRIS**

La caracterización fenotípica de las hembras reproductoras albinas, al igual que la trucha silvestre, presenta la papila urogenital prominente, enrojecida y vientre abultado; además, tiene una coloración amarilla en la mayor parte del cuerpo, ojos rojos, y sus aletas son del mismo color que la de los machos albinos a excepción de la aleta caudal que sigue manteniendo el color amarillo (Figura 18).

**Figura 18. Vista lateral de hembras de trucha arcoíris albina**



Con relación al peso y talla de las hembras de trucha silvestre y albina evaluadas en esta investigación, se encuentra en el T1 y T2 hembras silvestres, que presentaron pesos y tallas promedio de 2862,75±157,55 g 56,50±1,73 cm y 2953,75±233,65 g 58,75±4,35 cm respectivamente, el T3 con hembras albinas, registraron pesos y tallas promedio de 2526,25±460,16 g 52,59±7,18 cm (Tabla 4, Anexo G). En este sentido, el análisis de varianza con un  $p>0,05$ , indica que no existen diferencias estadísticas significativas en los distintos tratamientos en el peso y talla de las hembras estudiadas, lo que acepta la  $H_0$  y se establece que los datos se ajustan a la distribución normal (Anexos H y I).

**Tabla 4. Peso y talla promedio de hembras de trucha arcoíris.**

<b>Medidas corporales</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>
Peso de hembras (g)	2862,75±157,55 <sup>a</sup>	2953,75±233,65 <sup>a</sup>	2526,25±460,16 <sup>a</sup>
Talla de hembras (cm)	56,50±1,73 <sup>a</sup>	58,75±4,35 <sup>a</sup>	52,59±7,18 <sup>a</sup>

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

### 5.3. EVALUACIÓN DE VARIABLES REPRODUCTIVAS

Los resultados correspondientes a las variables reproductivas de machos y hembras con respecto al volumen espermático, densidad espermática, motilidad espermática, Volumen de huevos, fecundidad absoluta, diámetro de huevos, porcentaje de fertilización, número de larvas y porcentaje de eclosión se relacionan a continuación:

#### 5.3.1. Índices reproductivos en machos de trucha arcoíris.

##### 5.3.1.1. Volumen espermático.

El volumen espermático obtenido en el T1 fue de 23,2±3,5 mL, T2 con 19,5±2,6 mL y T3 con 25,5±4,0 mL (Tabla 5). El análisis de varianza, no estableció diferencias estadísticas significativas en los distintos tratamientos ( $P>0,05$ ) (Anexo J). Bustamante et al.<sup>57</sup>, y Kazemi et al.<sup>58</sup>, en las investigaciones del año 2018 y 2020 respectivamente, comprobaron el efecto de la alimentación en los índices de calidad y cantidad de espermatozoides en la trucha arcoíris (*O. mykiss*) durante la temporada reproductiva, un volumen de semen promedio entre 21,3±6,5 mL a 23,16±3,5 mL, valores que se encuentran cercanos a los de esta investigación.

**Tabla 5. Volumen espermático promedio por tratamiento**

<b>Índices reproductivos</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>
Volumen espermático (mL)	23,2±3,5 <sup>a</sup>	19,5±2,6 <sup>a</sup>	25,5±4,0 <sup>a</sup>

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

Fuente: Esta investigación.

##### 5.3.1.2. Densidad espermática.

<sup>57</sup> BUSTAMANTE GONZÁLEZ, Jesús et al. Crecimiento y calidad espermática en trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss* (Teleostei: Salmonidae) durante la temporada reproductiva. En: Hidrobiológica. Junio, 2018, vol. 28, no. 2. ISSN 0188-8897

<sup>58</sup> KAZEMI, Esmaeil et al. Effect of different dietary zinc sources (mineral, nanoparticulate, and organic) on quantitative and qualitative semen attributes of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). En: Aquaculture. Octubre, 2020.



Kazemi et al.<sup>59</sup>, y Bustamante et al.<sup>60</sup>, cuantificaron valores de densidad espermática determinando una concentración promedio de  $4,40 \pm 0,70 \times 10^9$  células/mL a  $5,90 \pm 131 \times 10^9$  células/mL en su estimación con reproductores de trucha arcoíris. Es así como en esta investigación los machos de trucha evaluados se encuentran dentro del rango aceptable de densidad de espermatozoides, en condiciones de cautiverio que establecen los autores. No obstante, la prueba de análisis de varianza (ANOVA), con respecto a la variable densidad espermática detectó diferencias estadísticas significativas en alguno de los distintos tratamientos (Anexo K); por esta razón, se procedió a realizar la prueba de comparación múltiple de Tukey con un nivel de confianza del 95% (Anexo L), determinando que el tratamiento 3 (machos albinos) con una densidad promedio de  $5,05 \pm 0,45 \times 10^9$  células/mL, fue el mejor comparado con el T1 ( $4,47 \pm 0,17 \times 10^9$  células/mL) (figura 19 y Tabla 6).

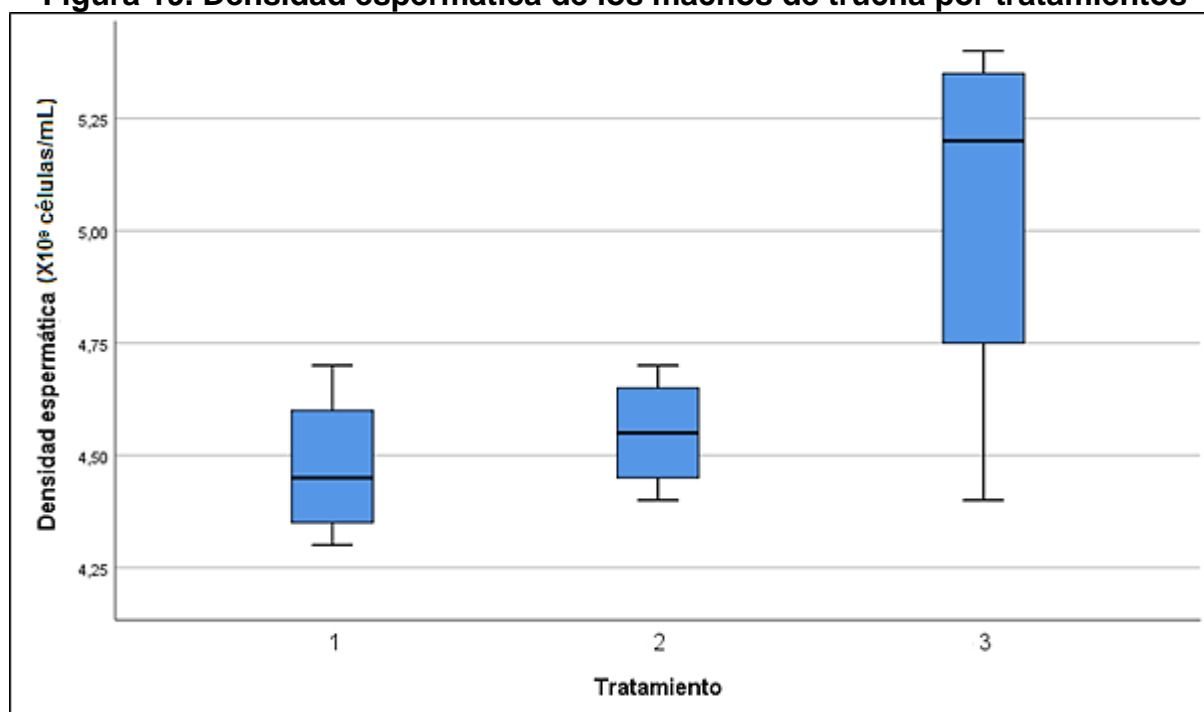
**Tabla 6. Densidad espermática promedio por tratamiento**

Índices reproductivos	T1	T2	T3
Densidad espermática ( $\times 10^9$ células/mL)	$4,47 \pm 0,17^a$	$4,55 \pm 0,12^{a,b}$	$5,05 \pm 0,45^b$

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

Fuente: Esta investigación.

**Figura 19. Densidad espermática de los machos de trucha por tratamientos**



El diagrama de caja muestra los cinco estadísticos: la mediana, los percentiles 25 y 75, el mínimo y máximo valor que no llega a ser atípico.

<sup>59</sup> Ibíd., p. 5

<sup>60</sup> BUSTAMANTE, Op. Cit., p.167

### 5.3.1.3. Motilidad espermática.

Del mismo modo, los investigadores Kazemi et al.<sup>61</sup>, y Bustamante et al.<sup>62</sup>, calcularon en trucha un rango de tiempo de motilidad espermática de  $48,7 \pm 21,4$  s y  $84,0 \pm 4,0$  s. Al analizar los reproductores estudiados en condiciones de altura, la motilidad de espermatozoides promedio estuvo dentro de lo establecido por los investigadores citados, con un rango de  $67,1 \pm 1,5$  s en machos de trucha silvestre y  $77,1 \pm 1,9$  s en machos albinos (Tabla 7 y Figura 20). Igualmente, se detectan diferencias significativas entre los machos albinos que conforman los tratamientos T2 y T3, con respecto al T1 (machos silvestres) (Anexos M y N), estableciendo con el 95% de confianza, que los reproductores de trucha albina registran mayor habilidad reproductiva, garantizando a futuro una mayor probabilidad de fecundación de los óvulos por su mayor tiempo de movimiento después de la activación.

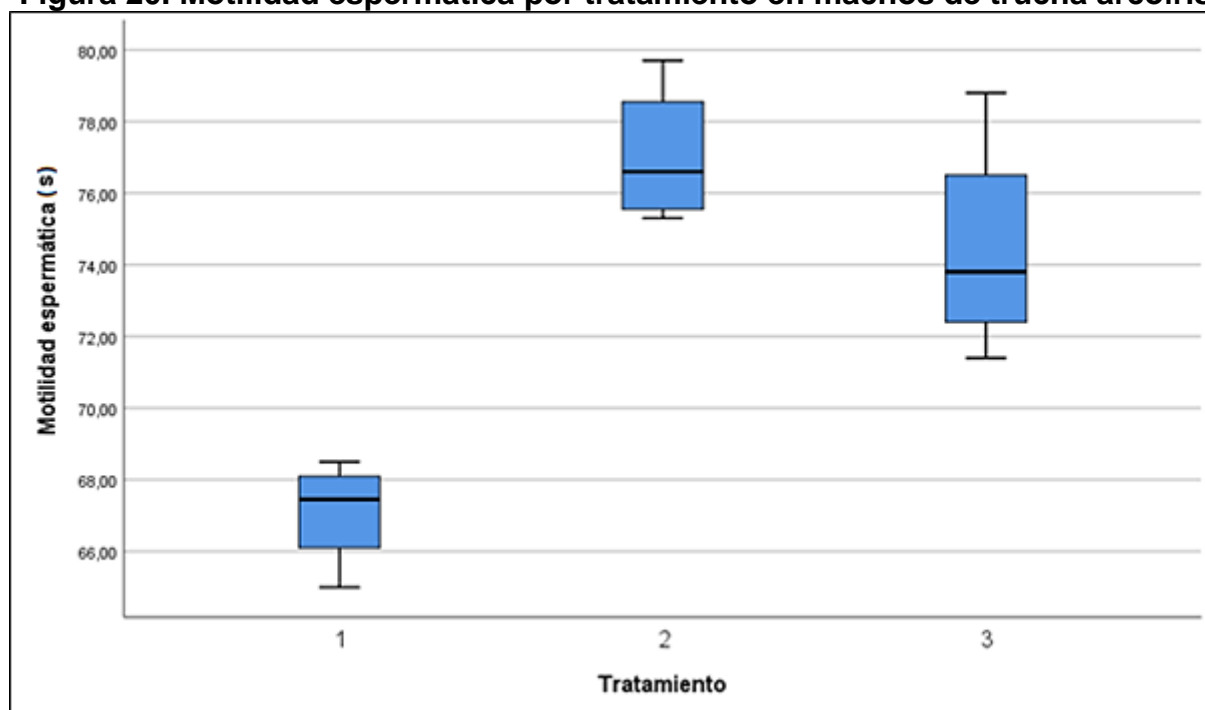
**Tabla 7. Motilidad espermática promedio por tratamiento**

Índices reproductivos	T1	T2	T3
Motilidad espermática (s)	$67,1 \pm 1,5^a$	$77,1 \pm 1,9^b$	$74,5 \pm 3,1^b$

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

Fuente: Esta investigación.

**Figura 20. Motilidad espermática por tratamiento en machos de trucha arcoíris**



<sup>61</sup> Kazemi et al., Op. Cit., p.5

<sup>62</sup> BUSTAMANTE, Op. Cit., p.167

El diagrama de caja muestra los cinco estadísticos: la mediana, los percentiles 25 y 75, el mínimo y máximo valor que no llega a ser atípico.

Diferentes investigadores como Rurangwa et al.<sup>63</sup>, Cosson<sup>64</sup>, Bobe y Labbé<sup>65</sup>, Hajirezaee et al.<sup>66</sup>, demostraron que el volumen, concentración espermática y motilidad de los espermatozoides son indicadores de la calidad de semen y la capacidad fecundante, la cual según Büyükhatoğlu y Holtz<sup>67</sup>, Munkittrick y Moccica<sup>68</sup>, Aral et al.<sup>69</sup>, Alavi et al.<sup>70</sup>, Agarwal y Raghuvanshi<sup>71</sup>, Ramírez et al.<sup>72</sup>, Johnson et al.<sup>73</sup>, Sahin et al.<sup>74</sup>, y Bustamante et al.<sup>75</sup>, varía de acuerdo con la especie, organismos y temporada reproductiva.

---

<sup>63</sup> RURANGWA, E., et al. The measurement of sperm motility and factors affecting sperm quality in culture fish. En: Aquaculture. 2004. Vol. 234. p 1-28. DOI:10.1016/j.aquaculture.2003.12.006

<sup>64</sup> COSSON, J. Methods to Analyse the Movements of Fish Spermatozoa and their Flagella. En: S. M. H. Alavi., 2008. J. J. Cosson, K. Coward & G. Rafiee (Eds.). Fish spermatology. Alpha Science, Oxford, p 64-102

<sup>65</sup> BOBE, J. y Labbé, C. Egg and sperm quality in fish. General and Comparative Endocrinology. 2010. Vol. 165. p 535-548. DOI:10.1016/j.ygcen.2009.02.011

<sup>66</sup> HAJIREZAEI, S. et al. Fish milt quality and major factors influencing the milt quality parameters: A review. En: African Journal of Biotechnology. 2010. Vol. 9, no. 59. p 9148-9159.

<sup>67</sup> BÜYÜKHATOĞLU, S. y HOLTZ, W. Sperm output in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) effect of age, timing and frequency of stripping and presence of females. En: Aquaculture. 1984. Vol. 37. p 63-71. DOI:10.1016/0044-8486(84)90044-9

<sup>68</sup> MUNKITTRICK, K. y MOCCIA, D. Seasonal changes in the quality of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) semen: effect of delay in stripping on spermatocrit, motility, volume and seminal plasma constituents. En: Aquaculture. 1987. Vol, 64. p 147-156. DOI: org/10.1016/0044-8486(87)90350-4

<sup>69</sup> ARAL, F. et al. Annual Changes in Sperm Characteristics of Young Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* W., 1792.) During Spawning Season in Atatürk Dam Lake, Sanliurfa, Turkey. En: Journal of Animal and Veterinary Advances. 2005. Vol. 4, no. 2. p 309-313

<sup>70</sup> ALAVI, S. M. H. et al. Changes of sperm morphology, volumen, density and motility and seminal plasma composition in *Barbus barbus* (*Teleostei: Cyprinidae*) during the reproductive season. Aquatic Living Resources. 2008. Vol. 21. p 75-80. DOI:10.1051/alr:2008011

<sup>71</sup> AGARWAL, N. K. y RAGHUVANSHI, S. K. Spermatocrit and sperm density in Snowtrout (*Schizothorax richardsonii*): correlation and variation during the breeding season. En: Aquaculture. 2009. Vol. 291. p 61-64. DOI:10.1016/j.aquaculture.2009.03.002

<sup>72</sup> RAMÍREZ-MERLANO, J., et al. Variación estacional de las características seminales del bagre rayado *Pseudoplatystoma metaense* (*Teleostei, pimelodidae*). En: Revista MVZ Córdoba. 2011. Vol, 16. no. 1. p 2336-2348

<sup>73</sup> JOHNSON, K., et al. Sperm Quality of hatchery-Reared Lake Trout throughout the Spawning Season. EN: North American Journal of Aquaculture. 2013. Vol. 75, no. 1. p 102-108.

<sup>74</sup> SAHIN, T., et al. Quantitative characteristics of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) semen throughout the reproductive season. En: Turkish Journal of Science and Technology. 2014. Vol. 26, no. 1. p 81-87

<sup>75</sup> BUSTAMANTE-GONZÁLEZ, J. D. et al. Reproductive behavior of male rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) during reproductive period. En: Scientific Journal of Animal Science. 2016. Vol. 5, no. 4. p 261-267. DOI: 10.14196/sjas. v5i4.2163

### 5.3.2. Índices reproductivos en hembras de trucha arcoíris.

#### 5.3.2.1. Volumen de Huevos.

El volumen de huevos extraídos por hembra no presentó diferencias estadísticas significativas en los distintos tratamientos (Anexo O), con un rango de 372,0±57,5 mL a 458,7±25,3 mL de huevos por hembra de trucha arcoíris (Tabla 8). Demostrando, que de una trucha se obtiene de 129,9 a 155,3 mL de huevos por kg de peso vivo; es así como representándolo comparativamente con Ospina<sup>76</sup>, encontró que una hembra produce como mínimo 121,1 mL y máximo 284,8 huevos por kg, datos que concuerdan con esta investigación, resaltando que el volumen de huevos se encuentran altamente relacionados con el peso y la talla de las hembras de trucha arcoíris.

**Tabla 8. Volumen de huevos promedio por tratamiento**

Índices reproductivos	T1	T2	T3
Volumen de huevos (mL)	372,0±57,5 <sup>a</sup>	458,7±25,3 <sup>a</sup>	421,7±125,6 <sup>a</sup>

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

#### 5.3.2.2. Fecundidad absoluta.

La fecundidad absoluta evaluada en los tres tratamientos no registró diferencias significativas ( $P>0,05$ ) en el análisis de varianza, presentando una distribución normal de las medias (Tabla 9, Figura 21 y Anexo P). Según Vargas<sup>77</sup>, Vaquerano<sup>78</sup>, Niklitschek y Aedo<sup>79</sup>, Cuevas<sup>80</sup>, y Carhuaricra<sup>81</sup>, las hembras desovan un promedio de 1000 a 2500

<sup>76</sup>OSPINA ROBLES, M. F. Perfil de ácidos grasos, proteínas y lípidos en diferentes estadios del desarrollo embrionario-larvario en trucha arco iris, (*Oncorhynchus mykiss* Walbaun, 1972) y su relación con análisis morfométricos e índices de eficiencia. 2020. Retrieved from [https://ciencia.lasalle.edu.co/maest\\_agrociencias/13](https://ciencia.lasalle.edu.co/maest_agrociencias/13)

<sup>77</sup> VARGAS, Ruth, Evaluación de la reproducción de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) producida en costa rica. I PARTE. En: Agronomía Mesoamericana. 2003, vol. 14, no. 1. ISSN: 1021-7444

<sup>78</sup> VAQUERANO, F. 2001. Informe de Pasantía en Centro Truchícola de Ojo de Agua de Dota. Escuela de Zootecnia. Facultad de Ciencias Agroalimentarias. Universidad de Costa Rica. p. 28.

<sup>79</sup> NIKLITSCHKEK HUAQUÍN, Edwin. y AEDO MARCHANT, Eduardo. Estudio del ciclo reproductivo de las principales especies objetivo de la pesca deportiva en la xi región. Fondo de Investigación Pesquera, Subsecretaría de Pesca. 2002.

<sup>80</sup> CUEVAS OYARZÚN, María José. Determinación del estado reproductivo de trucha arcoíris y trucha café en el río palena. Tesis para optar al título de Ingeniera en Acuicultura. Instituto de Acuicultura. Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Puerto Montt. 2013. p 59.

<sup>81</sup> CARHUARICRA HUERE, G. Evaluación de índices de eficiencia productiva de ovas nacionales versus ovas importadas en la producción de alevines de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), en la Piscicultura Monte Azul, Ninacaca-Pasco. Cerro de Pasco, 2018, 184 p. Trabajo de grado

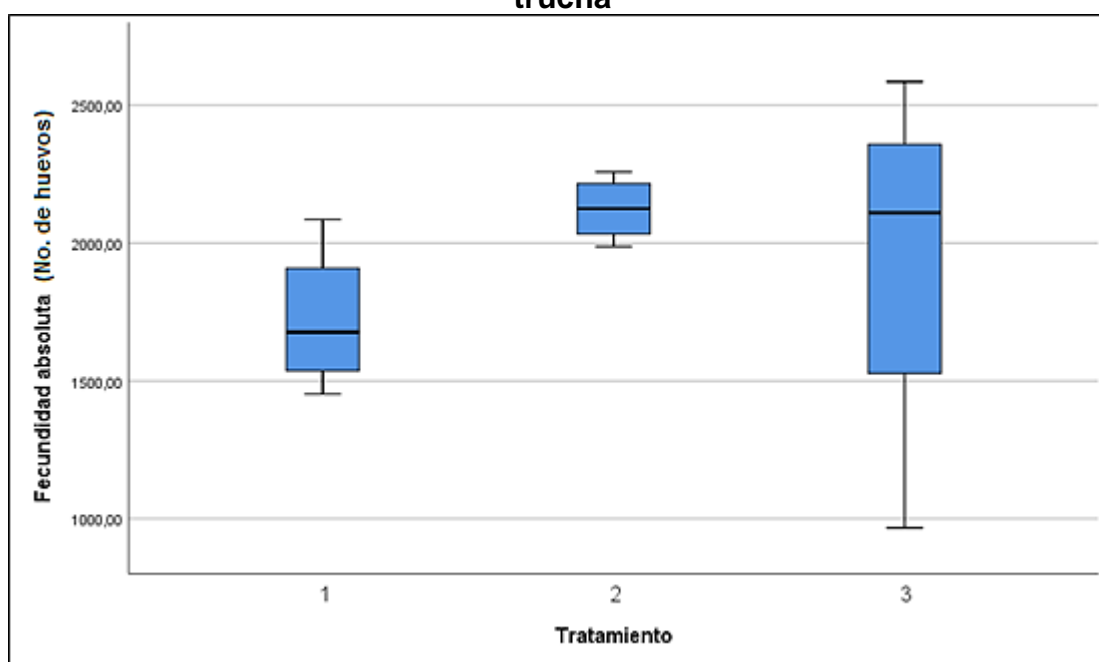
huevos/Kg de peso vivo. Lo anterior demuestra que los reproductores de hembras de trucha arcoíris albina y silvestre del presente ensayo, no se encuentran dentro de los valores establecidos por los mencionados autores ya que el máximo tratamiento que obtuvo el mayor promedio alcanza los 719 huevos/kg, cantidad que se encuentra por debajo de lo reportado por los investigadores, que puede deberse a la relación directa de la producción de huevos por un déficit en el suministro de la alimentación de los ejemplares reduciendo la alimentación y de la misma manera la producción de los gametos femeninos, causados en el periodo de pandemia, tiempo en el cual no se contó con la disponibilidad del concentrado, generando la reducción en la producción de huevos por kg.

**Tabla 9. Fecundidad absoluta promedio por tratamiento**

Índices reproductivos	T1	T2	T3
Fecundidad absoluta (huevos por hembra)	1722,75±267,56 <sup>a</sup>	2123,75±117,11 <sup>a</sup>	1942,75±688,26 <sup>a</sup>

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

**Figura 21. Fecundidad absoluta de los diferentes tratamientos en hembras de trucha**



El diagrama de caja muestra los cinco estadísticos: la mediana, los percentiles 25 y 75, el mínimo y máximo valor que no llega a ser atípico.

### 5.3.2.3. Diámetro de huevos.

(Ingeniero Zootecnista). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

El diámetro de los huevos de las muestras tomadas en trucha albina y silvestre, no reportaron diferencias estadísticas significativas ( $P>0,05$ ) (Anexo Q), de esta manera, las hembras silvestres en el tratamiento 1 y 2, tuvieron un diámetro de huevos promedio de  $0,5\pm0,01$  cm y  $0,5\pm0,1$  cm respectivamente, igualmente las hembras albinas con diámetro de ovas promedio de  $0,6\pm0,1$  cm (Tabla 10, Figura 22). Según Vásquez<sup>82</sup>, Márquez<sup>83</sup>, Bromage y Cumaranatunga<sup>84</sup>, las ovas con diámetro mayor a 0,32 cm, indican que se encuentran maduras y listos para ser ovuladas y fertilizadas, de igual forma se establece que las ovas entre mayor sea su diámetro, tiene mayor probabilidad de eclosionar por las reservas nutricionales dentro del saco vitelino. Por ende los desoves de trucha generalmente promedian entre  $0,5\pm0,2$  cm de diámetro en hembras de 4 y 6 años. Los anteriores datos demuestran que las hembras evaluadas en este estudio, tienen un tamaño mayor o igual a lo reportado por la literatura científica coincidiendo con lo demostrado y es por esto que el tamaño de las hembras es importante en el momento de la selección ya que relaciona altamente el tamaño del huevo.

**Tabla 10. Diámetro de huevos promedio por tratamiento**

Índices reproductivos	T1	T2	T3
Diámetro de huevos (cm)	$0,5\pm0,01^a$	$0,5\pm0,1^a$	$0,6\pm0,1^a$

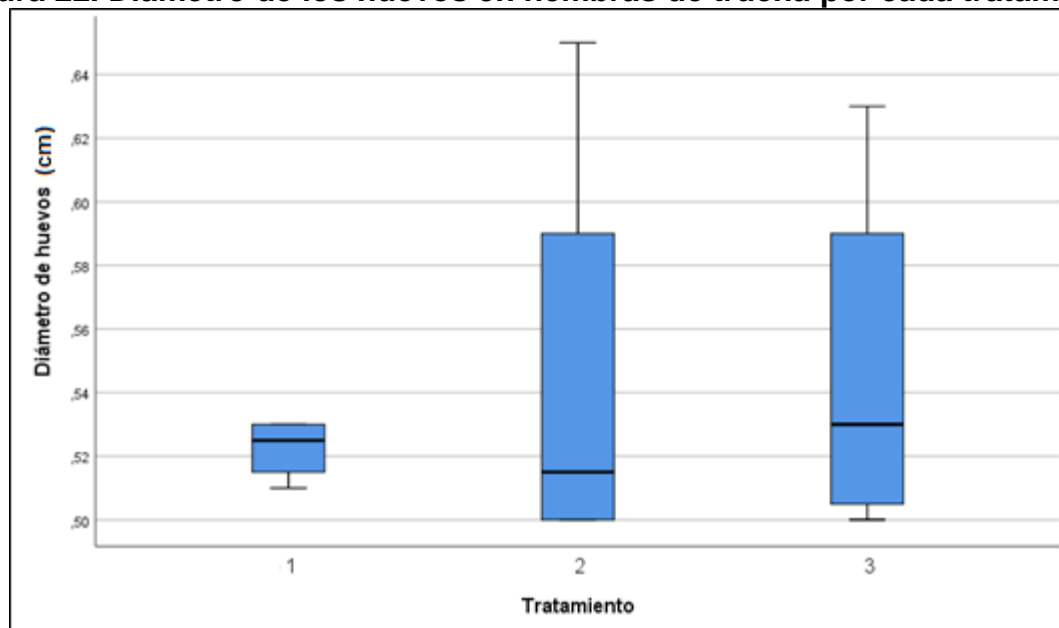
Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

<sup>82</sup> VÁSQUEZ GALLEGOS, Paul Alberto. Maduración sexual de la trucha de San Pedro Mártir *Oncorhynchus mykiss nelsoni* evaluada mediante un método no invasivo. Trabajo grado (Maestro en Ciencias en Acuicultura). Programa de Posgrado en Ciencias en Acuicultura. Baja California, México. 2014. p 124.

<sup>83</sup> MÁRQUEZ LAPUENTE, Miguel Ángel. Proyecto de piscifactoría de trucha arcoíris con depuración de aguas por filtro verde, en Biescas (Huesca). Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). 2016, 581 p. Ingeniería Agrónoma.

<sup>84</sup> BROMAGE, N. y CUMARANATUNGA, R. Egg production in the rainbow trout. In: R.J. Roberts and J.F. Muir (ed), 1988. Recent Advances in Aquaculture. Vol. 3, p 138. Portland, Oregon, Timber Press.

**Figura 22. Diámetro de los huevos en hembras de trucha por cada tratamiento**



El diagrama de caja muestra los cinco estadísticos: la mediana, los percentiles 25 y 75, el mínimo y máximo valor que no llega a ser atípico.

#### 5.3.2.4. Fertilización.

Los resultados obtenidos en este estudio son superiores a los reportados por Kazemi et al.<sup>85</sup>, Vaquerano<sup>86</sup>, y Vargas<sup>87</sup>, que obtuvieron porcentajes de fertilización que fluctuaron en las diferentes investigaciones entre 50% a 92,4%. Los resultados del presente ensayo, con porcentajes de fertilización de 99,88% (T1), 100,00% (T2) y 87,66% (T3) (Tabla 11 y Figura 23), no establecieron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) después de la transformación de los datos con la prueba Chi-cuadrado, representando una distribución normal de los datos (Anexo R), indicando que los espermatozoides a concentraciones, número y motilidad expresada en tiempo con la interacción en las ovas del presente trabajo, garantiza un alto porcentaje de fertilización en la reproducción artificial.

**Tabla 11. Fertilización de huevos por tratamiento mediante la prueba Chi-cuadrado**

Índices reproductivos	T1	T2	T3
Porcentaje de Fertilización*	9,99±0,01 <sup>a</sup>	10,00±0,00 <sup>a</sup>	9,32±1,00 <sup>a</sup>

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

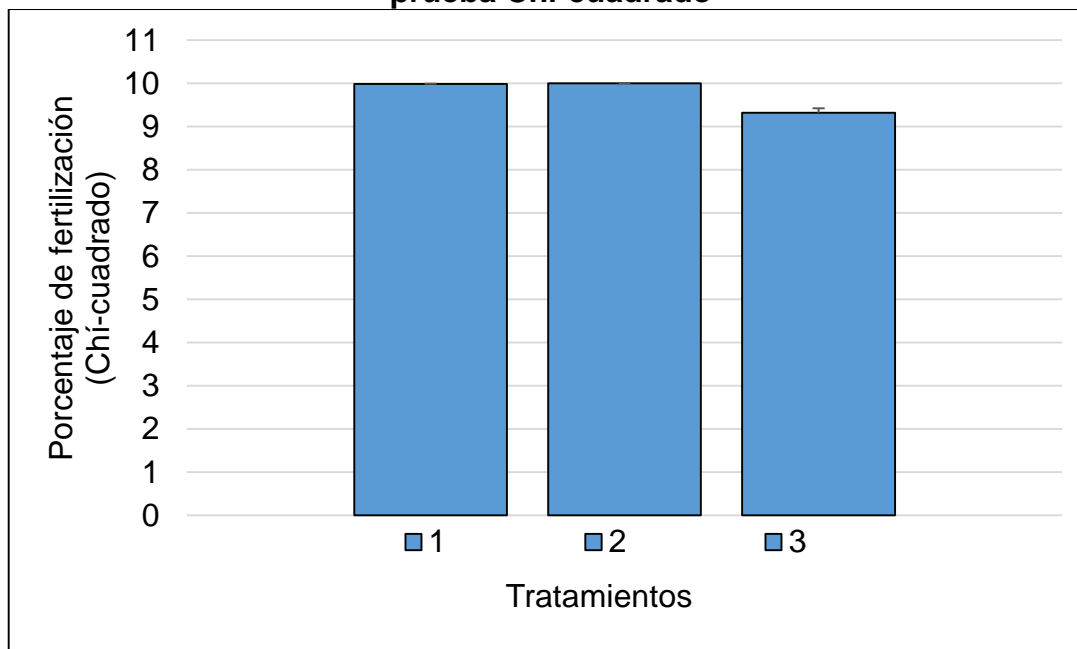
\*Transformación Chi-cuadrado

<sup>85</sup> KAZEMI, Esmail et al., Op. Cit., p.4

<sup>86</sup> Vaquerano F. Op. Cit., p.125

<sup>87</sup> VARGAS, Ruth, Op. Cit., p.125

**Figura 23. Porcentaje de fertilización por tratamiento en trucha arcoíris con la prueba Chi-cuadrado**



Las barras representan el coeficiente de variación.

### 5.3.2.5. Eclosión.

En este estudio, la eclosión de los huevos presentó diferencias en alguno de los tratamientos, es así como se procedió a identificar con la prueba de comparación de Tukey con un  $P < 0,05$  (Anexo S y T) y se encontró que el T1 y T2 son altamente significativos respecto al T3, puesto que las ovas de trucha en los tratamientos 1 y 2 registraron porcentajes de eclosión de  $47,13 \pm 4,96\%$  y  $59,72 \pm 13,71\%$  respectivamente, a diferencia de las ovas provenientes del cruzamiento de machos y hembras albinas (T3), debido a la mortalidad de los embriones de este tratamiento, en diferentes días de desarrollo (Tabla 12 y Figura 24). En contraste Márquez<sup>88</sup>, Vargas<sup>89</sup>, Kazemi et al.<sup>90</sup>, y Vaquerano<sup>91</sup>, calcularon porcentaje de supervivencia de 57 a 86,2 % en ejemplares de trucha, indicando que el peso ideal de las hembras reproductoras debe ser de 1000 a 2000 gramos y edades óptimas de tres a cinco años de edad. Comparando con los autores, el tratamiento 2 (cruce macho albino y hembra silvestre) es el único que se

<sup>88</sup> MÁRQUEZ LAPUENTE, Miguel Ángel. Op. Cit., p.9

<sup>89</sup> VARGAS, Ruth. Op. Cit., p.125

<sup>90</sup> KAZEMI, Esmail et al., Op. Cit., p.4

<sup>91</sup> Vaquerano F. Op. Cit., p.125



encuentra dentro del rango de eclosión que los autores recomiendan en el ejercicio reproductivo.

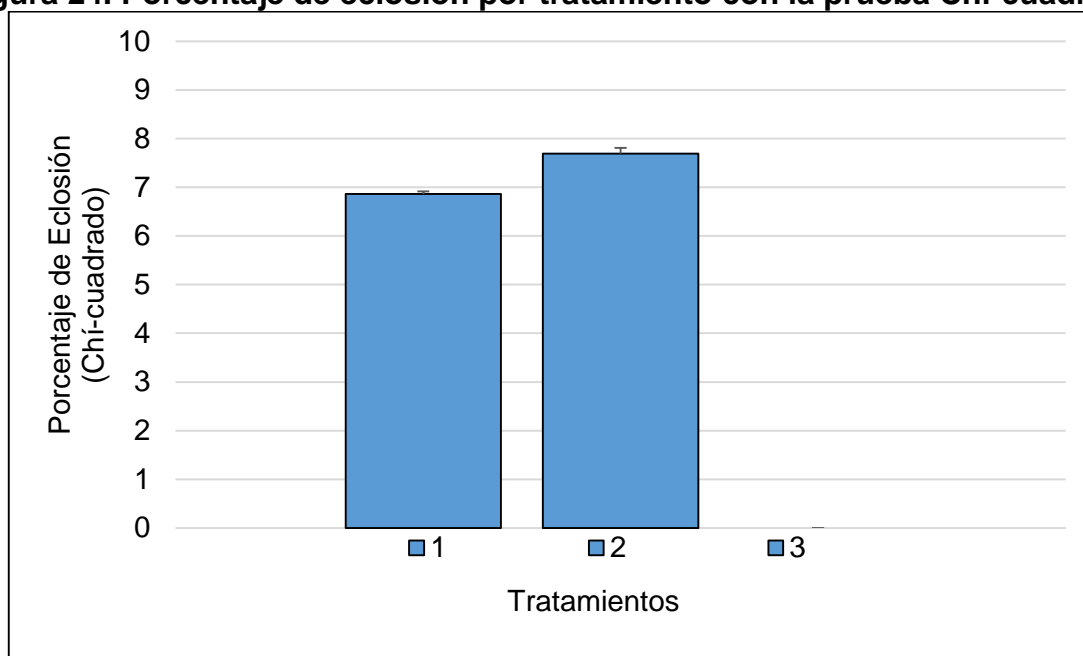
**Tabla 12. Eclosión de huevos por tratamiento mediante la prueba Chi-cuadrado**

Índices reproductivos	T1	T2	T3
Porcentaje de eclosión*	6,86±0,36 <sup>a</sup>	7,69±0,89 <sup>a</sup>	0,00±0,00 <sup>b</sup>

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

\*Transformación Chi-cuadrado

**Figura 24. Porcentaje de eclosión por tratamiento con la prueba Chi-cuadrado**



Las barras representan el coeficiente de variación.

### 5.3.2.6. Número de larvas.

El tratamiento 2 genera el mayor promedio de larvas por hembra (1260,50±251,42) (Tabla 13, Figura 25, Anexo U y V) que corresponde a 426 larvas por kilogramo de peso vivo (PV), siendo el mejor tratamiento y estadísticamente diferente a los demás, según la prueba de comparación múltiple de Tukey. Además cabe resaltar que la reproducción de trucha albina en la interacción del material genético del macho y hembra del tratamiento 3, no generó éxito en la producción de larvas, que puede ser debido a la presencia de hembras híbridas que no aportan ovas con la capacidad de desarrollarse en el tiempo de incubación, o la consanguinidad conociendo el origen de los reproductores que provienen del mismo lote de importación que pueden ser parientes cruzados, que según Atencio<sup>92</sup>,

<sup>92</sup>Atencio, Víctor. PRODUCCIÓN DE ALEVINOS DE ESPECIES NATIVAS. Revista MVZ Córdoba, vol. 6, núm. 1, 2001, p 9-14

y CO2ART<sup>93</sup>, estos individuos no pueden tener descendencia o no sobreviven; además, un gran problema es la reducción de la vitalidad, la resistencia a las enfermedades, disminuyendo la producción.

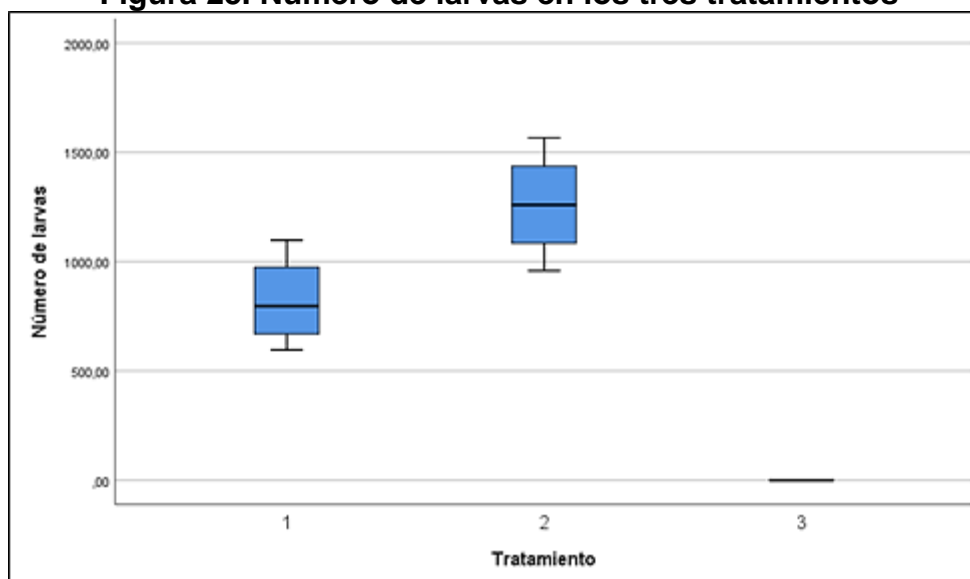
**Tabla 13. Número de larvas promedio por tratamiento**

Índices reproductivos	T1	T2	T3
Número de larvas	821,50±211,69 <sup>a</sup>	1260,50±251,42 <sup>b</sup>	0,00±0,00 <sup>c</sup>

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

\*Transformación Chi-cuadrado

**Figura 25. Número de larvas en los tres tratamientos**



El diagrama de caja muestra los cinco estadísticos: la mediana, los percentiles 25 y 75, el mínimo y máximo valor que no llega a ser atípico.

#### 5.4. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE CALIDAD DE AGUAS DE LA ESTACIÓN

Según HANNA<sup>94</sup>, Rodríguez y Ánzola<sup>95</sup>, el control del agua es parte integral de las actividades diarias de la piscicultura y la calidad está dada por el conjunto de propiedades físicas, químicas, biológicas del medio acuoso y por sus interacciones con los organismos vivos que lo habitan. Con respecto al cultivo de organismos acuáticos, cualquier característica del agua que afecte de un modo u otro el comportamiento, la reproducción,

<sup>93</sup>CO2ART. El lado oscuro de la cría de peces: consanguinidad e hibridación. CO2EXPERTOS EN ARTE AQUASCAPING. 2021.

<sup>94</sup> HANNA INSTRUMENTS SAS. Monitoreo de agua en piscicultura [Online]. Bogotá. Equipo Hanna, 2019. [Citada: 26 marzo 2022].

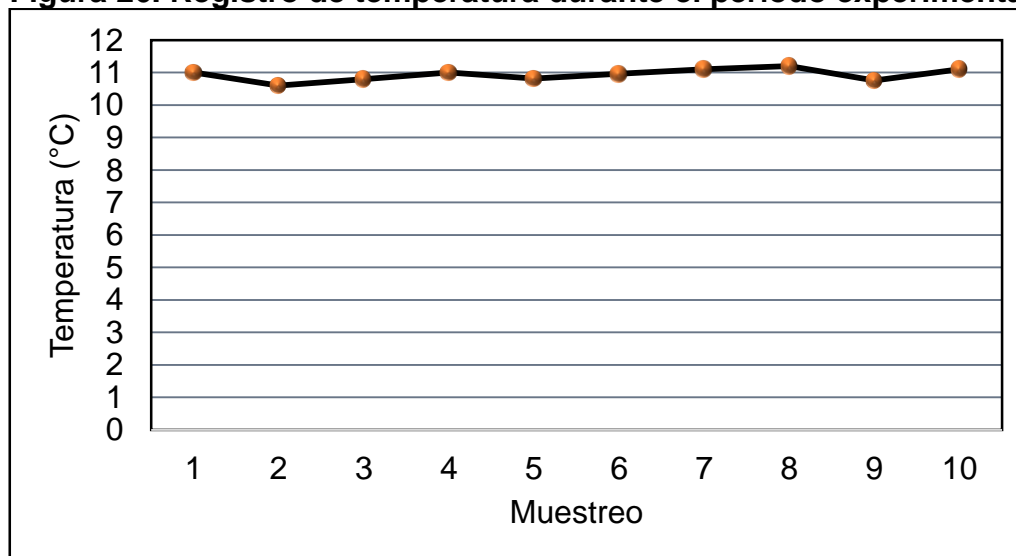
<sup>95</sup> RODRÍGUEZ GÓMEZ, Horacio y ÁNZOLA ESCOBAR, Eduardo. La calidad del agua y la productividad de un estanque en acuicultura. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. 2009. 43-71p.

el crecimiento, los rendimientos por unidad de área, la productividad primaria y el manejo de las especies acuáticas, se considera una variable. Por esta razón, se discuten a continuación los parámetros fisicoquímicos más importantes que afectan los procesos de reproducción de trucha arcoíris.

#### 5.4.1. Temperatura.

Entre los factores fisicoquímicos del agua más importantes en la maduración de la trucha está la temperatura; la temperatura durante el periodo de estudio reportó en promedio sin diferencias estadísticas significativas,  $10,93 \pm 0,06^\circ\text{C}$  (Figura 26, Anexo W y X). INCOPESCA<sup>96</sup>, Montesdeoca<sup>97</sup> y el Instituto Nacional de Pesca<sup>98</sup>, determinaron que la temperatura del agua óptima para el desarrollo está entre los 8 y  $12^\circ\text{C}$ , a temperaturas de  $10^\circ\text{C}$  la eclosión será a los 31 días, mientras que a  $15,6^\circ\text{C}$  la eclosión será a los 19 días. La temperatura promedio de la estación de Guairapungo se encuentra dentro de los valores normales según los autores anteriormente mencionados. Con una temperatura promedio de  $10,93^\circ\text{C}$  en la estación, un huevo de trucha arcoíris eclosiona a 360 grados día en un tiempo estimado máximo de eclosión de aproximadamente de 33 días, periodo por el cual concuerda con la eclosión de las ovas evaluadas.

**Figura 26. Registro de temperatura durante el período experimental**



<sup>96</sup> INCOPESCA. El cultivo de la trucha Arco Iris (*Oncorhynchus mykiss*). Departamento de Acuicultura. INCOPESCA. 1999.

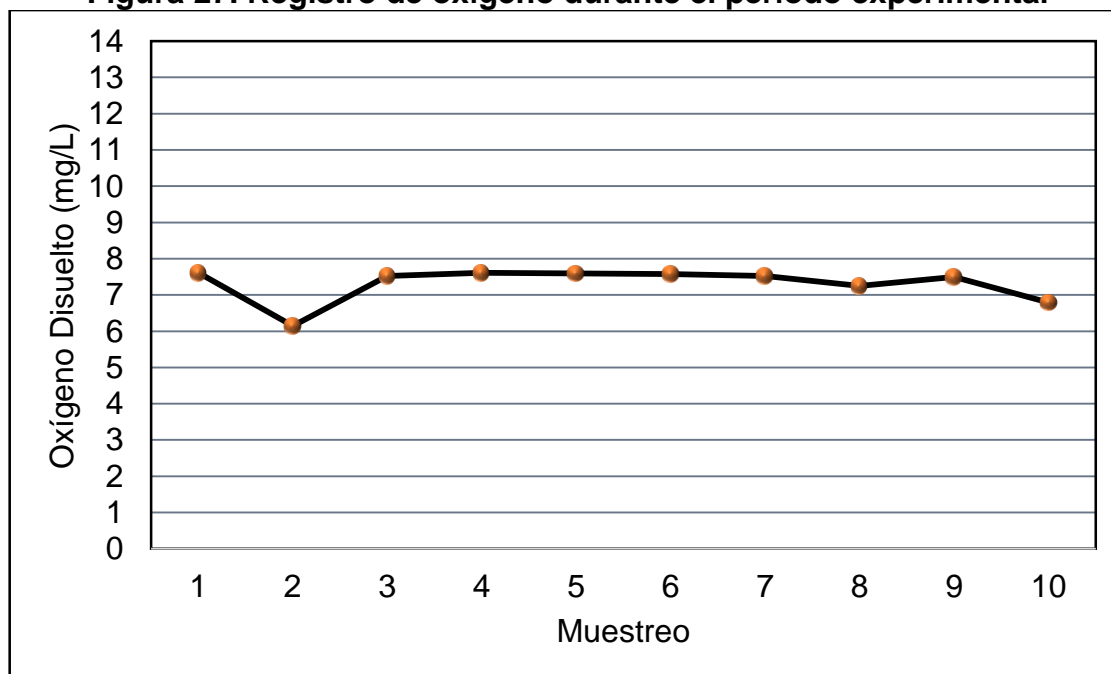
<sup>97</sup> MONTESDEOCA, Daniel. Características de la trucha arco iris. Online. Exibal. [Citada: 27 febrero 2022]. <https://www.exibal.com/2020/10/13/todo-sobre-la-produccion-de-truchas/>

<sup>98</sup> INSTITUTO NACIONAL DE PESCA. Acuicultura Trucha arcoíris. Gobierno de México, 2018. [Citada: 27 febrero 2022] <https://www.gob.mx/inapesca/acciones-y-programas/acuicultura-trucha-arcoiris>

### 5.4.2. Oxígeno Disuelto.

Según INCOPESCA<sup>99</sup>, Montesdeoca<sup>100</sup>, y el Instituto Nacional de Pesca<sup>101</sup>, la trucha arcoíris es una de las especies ícticas que requiere la mayor cantidad de oxígeno disuelto en el cultivo y respecto a esto, establecen un rango óptimo de oxígeno disuelto de 6 a 9 mg/L para huevos y 6mg/L para alevinos. Los valores reportados de oxígeno disuelto del agua en este trabajo no tuvieron diferencias estadísticas significativas ( $p>0,05$ ) por lo que se distribuyen normalmente en los muestreos, presentando un valor promedio de  $7,31\pm0,15$  mg/L en los tratamientos (Figura 27, Anexo W y Y). Por tanto, este parámetro, se encuentra dentro del rango óptimo para la reproducción de trucha arcoíris para un buen crecimiento, desarrollo y confort de los ejemplares.

**Figura 27. Registro de oxígeno durante el período experimental**



### 5.4.3. pH del agua.

El valor del pH está determinado por la presencia de iones de hidrógeno en el agua. De acuerdo con INCOPESCA<sup>102</sup>, Montesdeoca<sup>103</sup>, y el Instituto Nacional de Pesca<sup>104</sup>, el valor

<sup>99</sup> INCOPESCA. Op. Cit., p.3

<sup>100</sup> MONTESDEOCA. Op. Cit., p.3

<sup>101</sup> Instituto Nacional de Pesca. Op. Cit., p.1

<sup>102</sup> INCOPESCA, Op. cit., p. 3

<sup>103</sup> MONTESDEOCA, Op. cit., p. 3

<sup>104</sup> Instituto Nacional de Pesca, Op. Cit., p. 1

deseable de pH del agua, para la producción de trucha arcoíris debe ser aproximadamente de 4,5 a 10 en la fluctuación en acuicultura. El pH del agua de la sala de incubación de la estación, presentó un promedio general de  $7,45 \pm 0,26$  (Anexo W y Z). Por tanto y como se indica en la figura 28, el pH de este estudio, se encontró en el rango óptimo, con valores mínimos y máximos de  $5,50 \pm 0,26$  a  $9,00 \pm 0,26$  unidades que también coinciden con los autores anteriormente mencionados.

**Figura 28. Registro de pH de durante el período experimental**



## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1. CONCLUSIONES**

- La investigación demostró, que el mejor tratamiento desde el punto de vista estadístico ( $P < 0,05$ ) fue el T2 (cruce de machos albinos y hembras silvestres de trucha arcoíris), debido a que presentaron los mejores resultados, con relación al porcentaje de eclosión (59,72%) y registrando una producción de 426 larvas de trucha arcoíris por kilogramo de peso vivo (PV).
- La motilidad espermática de los machos registró diferencias estadísticas significativas ( $P < 0,05$ ) en el tratamiento T2, con una motilidad de 77,05 segundos y una densidad espermática de  $4,55 \times 10^9$  células/mL.
- La mejor calidad espermática, simultáneamente con el mayor porcentaje de fecundidad absoluta, se observó en el tratamiento 2.
- Las variables de peso y talla no presentaron diferencias estadísticas significativas ( $P > 0,05$ ).

### **6.2. RECOMENDACIONES**

- Fomentar el cruce de hembras silvestres con machos albinos, con el propósito de incrementar la oferta de larvas de trucha arcoíris en la región.
- Realizar estudios relacionados con la distribución de sexos de las larvas obtenidas, en los diferentes cruces.
- Efectuar ensayos sobre la calidad de las postlarvas, y ganancias de peso diario, semanal y promedio, de los ejemplares resultantes del cruce de machos albinos y hembras silvestres de trucha arcoíris, durante el ciclo de producción, al igual que la viabilidad reproductiva de los adultos
- Evaluar el cruzamiento entre hembras albinas y machos silvestres para determinar si hay la presencia de hembras híbridas en la estación.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

FAO. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul. Rome: [Italia], 2022. p. 288. ISBN 978-92-5-136464-2

MORALES, Vielka V. y MORALES, Reinaldo R. Síntesis regional del desarrollo de la acuicultura. 1. América latina y el caribe – 2005. Roma: [s.n.], 2006. p. 38. ISSN 0429-9329

FAO. La Situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2022. Vers une transformation bleue. Rome: [Italia], 2022. p. 294. ISBN 978-92-5-136461-1

FAO. Visión general del sector acuícola nacional. Colombia. [Online]. 2021. [citada: 15 marzo 2021]. [http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso\\_colombia/es](http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_colombia/es).

Producción de pescado crece hasta un 18% en Semana Santa [Online]. 2021 [Citada: 6 de junio de 2021] <https://www.portafolio.co/economia/produccion-de-pescado-crece-hasta-un-18-por-ciento-en-semana-santa-550553>

MADR. Sistema de información de precios y mercados para la prosucción acuícola y pesquera. Trucha arco iris en Colombia: estructura y costos de producción. En: Corporación Colombia Internacional, 2009. Vol. 5, no. 13. ISSN 2011-8120

HORTÚA CORTÉS, Nadezhdy Ginova. Zonificación de la Acuicultura Nacional. [Online]. 2013.

ROCA LANAO, B., MENDOZA URECHE R. y MANJARRÉS MARTÍNEZ L. 2018. Estimaciones de la producción de la acuicultura durante los años 2017 y 2018. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP), SEPEC. Bogotá, 25 p.

FUENTEALBA URZÚA, Paula Javiera. (Mono) cultivos de trucha arcoíris en la laguna La Cocha, Colombia: trayectorias y transformaciones socioambientales, productivas, culturales y en las relaciones de género dentro del entorno lacustre.

CORPONARIÑO. Resolución 1006. [Online]. 2015.

MINISTRO DEL MEDIO AMBIENTE. DECRETO 698 DE 2000 [Online]. <http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=1149135>

ICA. El ICA atendió la notificación de mortalidad de trucha arcoíris en Nariño [online]. 2018. [Citada: 6 de junio de 2021] <https://www.ica.gov.co/noticias/ica-notificacion-mortalidad-trucha-arcoiris.aspx>

ACUAGRANJA S.A.S. Ovas Troutlodge. [Online]. 2020. [Citada: 6 de junio de 2021] <https://acuagranja.com.co/ovas/>

HERMES PINEDA, Santis, et al. Triploidía en trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*): posibilidades en Colombia. En: Rev Col Cienc Pec. Diciembre, 2004, Vol. 17, no.1.

BELEÑO, Isis. LA TRUCHA, el oro azul de la agroindustria Colombiana [Online]. Bogotá: EDITORIAL LA REPÚBLICA S.A.S., 2017. [Citada: 31 mayo 2021] [https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/2428/Guia\\_Normas\\_%20CONTEC\\_2018.pdf?sequence=5&isAllowed=y#:~:text=Seg%C3%BAn%20lo%20indica%20la%20norma,%2C%20edici%C3%B3n%2C%20entre%20otros.%22](https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/2428/Guia_Normas_%20CONTEC_2018.pdf?sequence=5&isAllowed=y#:~:text=Seg%C3%BAn%20lo%20indica%20la%20norma,%2C%20edici%C3%B3n%2C%20entre%20otros.%22)

ROCA LANAO, B., R. MENDOZA URECHE., L. y MANJARRÉS MARTÍNEZ. Producción de acuicultura en el área monitoreada por el SEPEC durante el año 2019. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP), 2019. Bogotá, 16 p.

ITIS. *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792). [Online]. 2020.

FAO. Programa de información de especies acuáticas *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792). [Online]. 2021. [http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oncorhynchus\\_mykiss/es](http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oncorhynchus_mykiss/es)

FAO. *Oncorhynchus mykiss*. In Cultured aquatic species fact sheets. 2009. Text by Cowx, I. G. Edited and compiled by Valerio Crespi and Michael New.

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO - ICA. Para fortalecer la producción acuícola de Nariño, el ICA asegura el adecuado manejo sanitario con actividades de control. 2021. <https://www.ica.gov.co/noticias/ica-fortalece-produccion-acuicola-en-narino>

CABRA, Erika. CARACTERIZACIÓN Y PROPUESTA PARA LA EXPORTACIÓN DE TRUCHA ARCOÍRIS COLOMBIANA A ARUBA. Trabajo de Investigación para optar el título de Ingeniera Comercial. Universidad De Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Facultad de Ciencias Ambientales e Ingenierías. Ingeniería Comercial. 2019. Bogotá.

Martinez, H. y Gonzalez, F. La Cadena de la Piscicultura en Colombia. Investigación, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2005. Observatorio Agrocadenas Colombia.

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO – ICA. El ICA capacita a productores en sanidad acuícola y enfermedades que afectan a la trucha arcoíris. 2018. Bogotá D.C. [Online]. <https://www.ica.gov.co/noticias/ica-capacita-productores-narino-sanidad-acuicola>

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO – ICA. El ICA une esfuerzos con los productores de trucha para mejorar la sanidad acuícola de Nariño. 2021. Bogotá. <https://www.ica.gov.co/noticias/el-ica-une-esfuerzos-con-los-productores-de-trucha>



INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO – ICA. El ICA atendió la notificación de mortalidad de trucha arcoíris en Nariño. 2018. Bogotá. [Online]. <https://www.ica.gov.co/noticias/ica-notificacion-mortalidad-trucha-arcoiris.aspx>

ROSADO, Rafael. CONSIDERACIONES SOBRE LA PRODUCCIÓN NACIONAL DE SEMILLA DE TRUCHA ARCO IRIS (*Oncorhynchus mykiss*). Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuícola año II, vol. 2, 2007. ISSN 1909 - 8138

CHOQUEHUAYTA, A. MANUAL DE CRIANZA DE TRUCHAS EN ESTANQUES Y LOMBRICULTURA. Puno, 2008.

ARREGUI MARAVER, Luz. El cultivo de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). Madrid: Fundación Observatorio Español de Acuicultura, 2013. 103p. (Cuadernos de Acuicultura). ISBN 978-84-939800-4-7

ORDOÑEZ D., Ricardo. La trucha de oro [Online]. [Citada: 6 de junio de 2021]. <https://www.lavaguada.cl/reportajes/trucha-oro/trucha-oro.htm>

MINISTERIO DEL AMBIENTE. Servicio de sistematización de información temática para la elaboración del documento de la línea de base de la trucha con fines de bioseguridad [Online]. Perú, 2019, 91 p. [https://bioseguridad.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2020/02/sist\\_ldb\\_trucha\\_2019.pdf](https://bioseguridad.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2020/02/sist_ldb_trucha_2019.pdf)

MEYER, Daniel E. Introducción a la Acuicultura [Online]. Zamorano, 2004, 144 p. [https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2490/1/208986\\_0363%20-%20Copy.pdf](https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2490/1/208986_0363%20-%20Copy.pdf)

FAO. *Oncorhynchus mykiss* [Online]. 2009 [Citada: 6 de junio de 2021]. In Cultured aquatic species fact sheets. Text by Cowx, I. G. Edited and compiled by Valerio Crespi and Michael New. [http://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/es/es\\_rainbowtrout.htm](http://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/es/es_rainbowtrout.htm)

AQUA. Perú: Produciendo truchas a 3.800 metros de altura [Online]. 2021, [Citada: 6 de junio de 2021] <https://www.aqua.cl/reportajes/peru-produciendo-truchas-3-800-metros-altura/>

ICA. Para fortalecer la producción acuícola de Nariño, el ICA asegura el adecuado manejo sanitario con actividades de control [Online]. 2021, [Citada: 6 de junio de 2021] <https://www.ica.gov.co/noticias/ica-fortalece-produccion-acuicola-en-narino>

CRUZ CASALLAS, Pablo Emilio, VELASCO SANTAMARÍA, Yohana María y MEDINA ROBLES, Víctor Mauricio. Estado actual de la crioconservación de semen de peces tropicales en Colombia: resultados y perspectivas. En: Universidad de los Llanos. 10 p

TROUTLODGE. Conteo de ovas [Online]. 2021 [Citada: 14 de junio de 2021]. <https://www.troutlodge.com/es/articles/Conteo-de-ovas/>

LÓPEZ MACÍAS, Jorge Nelson y RUALES, Elver. Manejo preventivo de la flavobacteriosis de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en cultivos intensivos en jaulas flotantes y superintensivos en raceways. En: Rev Acta Biol. Par, 2012. Vol. 41, no 1-2.

LÓPEZ MACÍAS, Jorge Nelson y SALAS BENAVIDES, Julbrinner. Caracterización comparativa de la condición limnológica del lago Guamuéz en relación con la producción de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en jaulas flotantes. En: Rev ENTORNOS, abril, 2013. Vol. 26, no. 2.

LÓPEZ MACÍAS, Jorge Nelson y SALAS BENAVIDES, Julbrinner. Evaluación de la ginogénesis de trucha arcoíris (*O. mykiss*), utilizando choque térmico de 27°C a diferentes periodos de exposición, en el centro ambiental Guairapungo (Nariño). En: Rev Veterinaria y Zootecnia, diciembre, 2012. Vol. 6, no, 2.

SÁNCHEZ ORTIZ, Iván A, et al. Diagnóstico técnico de la cadena piscícola en Ancuya, Chiles y el Encano (Nariño, Colombia). En: REVIP, 2013. Vol. 2, no. 1.

LÓPEZ MACÍAS, Jorge Nelson, et al. Caracterización parasitaria de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y su efecto en la producción de la estación piscícola flotante Intiyaco, en el lago Guamuez (Nariño). En: Rev Veterinaria y Zootecnia, diciembre, 2012. Vol. 8, no, 2.

CORPONARIÑO. Expediente OCSC-009-17. En: <https://corponarino.gov.co/expedientes/calidadambiental/boletin/2017res112catq.pdf>

SOLARTE, Carlos; GARCÍA, Hernán A e IMUEZ, Marco. Bioestadística: Aplicaciones en producción y salud animal, San Juan de Pasto: Editorial Universitaria – Universidad de Nariño, 2009. p. 304.

BUSTAMANTE GONZÁLEZ, Jesús et al. Crecimiento y calidad espermática en trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss* (Teleostei: Salmonidae) durante la temporada reproductiva. En: Hidrobiológica. Junio, 2018, vol. 28, no. 2. ISSN 0188-8897

VALDEBENITO, I. et al. Análisis cualitativo y cuantitativo del semen de puye *Galaxias maculatus*. Biología Pesquera. 1995. 24: 17-21.

CRUZ-CASALLAS, P. E. Técnicas de laboratorio para la evaluación de la calidad seminal en peces. En: Orinoquia. 2001. Vol. 5, No, 1. p 155-163

TORRES, G. et al. Aspectos de la producción anual de semen de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en los Andes tropicales Venezolanos. En: Mundo Pecuário. 2014. Vol.1. p 9-14

SCHULZ, R.W. y MIURA, T. Spermatogenesis and its endocrine regulation. Fish Physiology and Biochemistry. 2002. Vol, 26. p 43-56. DOI:10.1023/A:1023303427191

BUSTAMANTE GONZÁLEZ, Jesús et al. Crecimiento y calidad espermática en trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss* (Teleostei: Salmonidae) durante la temporada reproductiva. En: Hidrobiológica. Junio, 2018, vol. 28, no. 2. ISSN 0188-8897

KAZEMI, Esmaeil et al. Effect of different dietary zinc sources (mineral, nanoparticulate, and organic) on quantitative and qualitative semen attributes of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). En: Aquaculture. Octubre, 2020.

RURANGWA, E., et al. The measurement of sperm motility and factors affecting sperm quality in culture fish. En: Aquaculture. 2004. Vol. 234. p 1-28. DOI:10.1016/j.aquaculture.2003.12.006

COSSON, J. Methods to Analyse the Movements of Fish Spermatozoa and their Flagella. En: S. M. H. Alavi., 2008. J. J. Cosson, K. Coward & G. Rafiee (Eds.). Fish spermatology. Alpha Science, Oxford, p 64-102

BOBE, J. y Labbé, C. Egg and sperm quality in fish. General and Comparative Endocrinology. 2010. Vol. 165. p 535-548. DOI:10.1016/j.ygcen.2009.02.011

HAJIREZAEI, S. et al. Fish milt quality and major factors influencing the milt quality parameters: A review. En: African Journal of Biotechnology. 2010. Vol. 9, no. 59. p 9148-9159.

BÜYÜKHATİPOĞLU, S. y HOLTZ, W. Sperm output in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) effect of age, timing and frequency of stripping and presence of females. En: Aquaculture. 1984. Vol. 37. p 63-71. DOI:10.1016/0044-8486(84)90044-9

MUNKITTRICK, K. y MOCCIA, D. Seasonal changes in the quality of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) semen: effect of delay in stripping on spermatocrit, motility, volume and seminal plasma constituents. En: Aquaculture. 1987. Vol, 64. p 147-156. DOI: org/10.1016/0044-8486(87)90350-4

ARAL, F. et al. Annual Changes in Sperm Characteristics of Young Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* W., 1792.) During Spawning Season in Atatürk Dam Lake, Sanliurfa, Turkey. En: Journal of Animal and Veterinary Advances. 2005. Vol. 4, no. 2. p 309-313

ALAVI, S. M. H. et al. Changes of sperm morphology, volumen, density and motility and seminal plasma composition in *Barbus* (Teleostei: Cyprinidae) during the reproductive season. Aquatic Living Resources. 2008. Vol. 21. p 75-80. DOI:10.1051/alr:2008011

AGARWAL, N. K. y RAGHUVANSHI, S. K. Spermatocrit and sperm density in Snowtrout (*Schizothorax richardsonii*): correlation and variation during the breeding season. En: Aquaculture. 2009. Vol. 291. p 61-64. DOI:10.1016/j.aquaculture.2009.03.002

RAMÍREZ-MERLANO, J., et al. Variación estacional de las características seminales del bagre rayado *Pseudoplatystoma metaense* (Teleostei, pimelodidae). En: Revista MVZ Córdoba. 2011. Vol, 16. no. 1. p 2336-2348

JOHNSON, K., et al. Sperm Quality of hatchery-Reared Lake Trout throughout the Spawning Season. EN: North American Journal of Aquaculture. 2013. Vol. 75, no. 1. p 102-108.

SAHIN, T., et al. Quantitative characteristics of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) semen throughout the reproductive season. En: Turkish Journal of Science and Technology. 2014. Vol. 26, no. 1. p 81-87

BUSTAMANTE-GONZÁLEZ, J. D. et al. Reproductive behavior of male rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) during reproductive period. En: Scientific Journal of Animal Science. 2016. Vol. 5, no. 4. p 261-267. DOI: 10.14196/sjas. v5i4.2163

OSPINA ROBLES, M. F. Perfil de ácidos grasos, proteínas y lípidos en diferentes estadios del desarrollo embrionario-larvario en trucha arco iris, (*Oncorhynchus mykiss* Walbaun, 1972) y su relación con análisis morfométricos e índices de eficiencia. 2020. Retrieved from [https://ciencia.lasalle.edu.co/maest\\_agrociencias/13](https://ciencia.lasalle.edu.co/maest_agrociencias/13)

VARGAS, Ruth, Evaluación de la reproducción de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) producida en costa rica. I PARTE. En: Agronomía Mesoamericana. 2003, vol. 14, no. 1. ISSN: 1021-7444

VAQUERANO, F. 2001. Informe de Pasantía en Centro Truchícola de Ojo de Agua de Dota. Escuela de Zootecnia. Facultad de Ciencias Agroalimentarias. Universidad de Costa Rica. p. 28.

NIKLITSCHKEK HUAQUÍN, Edwin. y AEDO MARCHANT, Eduardo. Estudio del ciclo reproductivo de las principales especies objetivo de la pesca deportiva en la xi región. Fondo de Investigación Pesquera, Subsecretaría de Pesca. 2002.

CUEVAS OYARZÚN, María José. Determinación del estado reproductivo de trucha arcoíris y trucha café en el río palena. Tesis para optar al título de Ingeniera en Acuicultura. Instituto de Acuicultura. Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Puerto Montt. 2013. p 59.

CARHUARICRA HUERE, G. Evaluación de índices de eficiencia productiva de ovas nacionales versus ovas importadas en la producción de alevines de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), en la Piscicultura Monte Azul, Ninacaca-Pasco. Cerro de Pasco,

2018, 184 p. Trabajo de grado (Ingeniero Zootecnista). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

VÁSQUEZ GALLEGOS, Paul Alberto. Maduración sexual de la trucha de San Pedro Mártir *Oncorhynchus mykiss nelsoni* evaluada mediante un método no invasivo. Trabajo grado (Maestro en Ciencias en Acuicultura). Programa de Posgrado en Ciencias en Acuicultura. Baja California, México. 2014. p 124.

MÁRQUEZ LAPUENTE, Miguel Ángel. Proyecto de piscifactoría de trucha arcoíris con depuración de aguas por filtro verde, en Biescas (Huesca). Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). 2016, 581 p. Ingeniería Agrónoma.

BROMAGE, N. y CUMARANATUNGA, R. Egg production in the rainbow trout. In: R.J. Roberts and J.F. Muir (ed), 1988. Recent Advances in Aquaculture. Vol. 3, p 138. Portland, Oregon, Timber Press.

Atencio, Víctor. PRODUCCIÓN DE ALEVINOS DE ESPECIES NATIVAS. Revista MVZ Córdoba, vol. 6, núm. 1, 2001, p 9-14

CO2ART. El lado oscuro de la cría de peces: consanguinidad e hibridación. CO2EXPERTOS EN ARTE AQUASCAPING. 2021.

HANNA INSTRUMENTS SAS. Monitoreo de agua en piscicultura [Online]. Bogotá. Equipo Hanna, 2019. [Citada: 26 marzo 2022].

RODRÍGUEZ GÓMEZ, Horacio y ÁNZOLA ESCOBAR, Eduardo. La calidad del agua y la productividad de un estanque en acuicultura. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. 2009. 43-71p.

INCOPESCA. El cultivo de la trucha Arco Iris (*Oncorhynchus mykiss*). Departamento de Acuicultura. INCOPESCA. 1999.

MONTESDEOCA, Daniel. Características de la trucha arco iris. Online. Exibal. [Citada: 27 febrero 2022]. <https://www.exibal.com/2020/10/13/todo-sobre-la-produccion-de-truchas/>

INSTITUTO NACIONAL DE PESCA. Acuicultura Trucha arcoíris. Gobierno de México, 2018. [Citada: 27 febrero 2022] <https://www.gob.mx/inapesca/acciones-y-programas/acuicultura-trucha-arcoiris>

## **8. ANEXOS**

### **Anexo A. Protocolo de bienestar animal**

#### **Protocolo de sedación en peces**

La sedación corresponde a un estado en el cual el pez no manifiesta actitudes de agitación y estrés. Este estado puede disminuir el impacto fisiológico de cambios ambientales siendo una herramienta importante para los ejemplares.

Una adecuada sedación permite llevar a cabo la manipulación de los animales en rutinas de manejo, muestreos y transporte entre cortas o grandes distancias que deben estar dentro del estado anestésico III, anestesia ligera. El anestésico ideal en peces debe reunir las siguientes características.

- Permite inmovilización y relajación muscular.
- Induce inconsistencia, tranquilización o sedación en una manera predecible según la dosis (concentración) manejada.
- Fácil de administrar.
- Induce el plano anestésico en forma rápida.
- Permite una recuperación rápida, predecible y no complicada.
- Tiene un amplio margen de seguridad.
- No es costoso.
- No deja residuos o no requiere de tiempos de retiro para que el ejemplar anestesiado sea posteriormente consumido.
- El agente tiene buena estabilidad en solución o en su presentación original.
- El compuesto se degrada fácilmente en el ambiente y además en productos que no representan riesgo por acumulación.

Estado anestésico	Plano	Categoría	Respuesta fisiológica o actitudinal en el pez
0	Normal		Nado activo, respuesta a estímulos externos, equilibrio normal, tono muscular normal
I	1	Sedación ligera	Nado voluntario continua, pérdida ligera de reactividad a estímulos visuales y táctiles, frecuencia respiratoria normal, tono muscular y equilibrio normales
I	2	Narcosis ligera	Fase de excitación puede preceder a un incremento en la tasa respiratoria, pérdida de equilibrio, esfuerzos por recuperar el eje de nado, tono muscular disminuido
II	2	Narcosis profunda	Cesa la respuesta a los cambios en posición inducidos, descenso en frecuencia respiratoria, pérdida total de equilibrio, alguna reacción ante estímulos táctiles fuertes, apropiado para muestreos externos y biopsias de branquias y aletas
III	1	Anestesia ligera	Pérdida total del tono muscular, respuestas a estímulo fuerte de presión, descenso adicional en frecuencia respiratoria, apropiado para cirugía menor
III	2	Anestesia quirúrgica	Pérdida total de reacción a estímulos, frecuencias respiratoria y cardíaca muy bajas
IV	Colapso medular		Pérdida total de movimientos branquiales seguidos de paro cardíaco

### Metodología del ensayo

- Selección de ejemplares.
- Traslado desde los estanques a la sala de reproducción en tanques plásticos con agua previamente lavados y desinfectados con sal marina.
- Preparación en tanques plásticos con agua y una dosis de 3 gotas/L de Eugenol®.
- Sedación de los ejemplares durante un minuto llegando al estado anestésico III, anestesia ligera
- Manipulación del individuo.
- Recuperación de los ejemplares en estanques con suministro constante de agua durante 2 días.
- Reintegro de los animales a los estanques de reproducción correspondientes.
- Supervivencia 100% (sin lesiones por manipulación)

### Protocolo de reproducción

Una vez que los animales fueron sedados se implementó el método de fecundación en seco, donde se siguió el siguiente proceso:

1. Se realizó un lavado con agua dulce para eliminar la solución analgésica del cuerpo de los reproductores y se los seco cuidadosamente con una bayetilla.
2. Se toma el reproductor y se realizó un masaje en la región abdominal aplicando una presión suave en el vientre con los dedos pulgar e índice hacia el poro genital en dirección cefalocaudal y depositado las ovas en un recipiente limpio y seco, evitando las impurezas como sangre, orina y heces; de la misma forma se manipula en macho. Sin

embargo, se utilizó un colador para evitar que la muestra de esperma se contaminara de materia orgánica del animal (heces fecales).

3. Una vez finalizó la extracción de las ovas y el esperma de los reproductores se devolvió los reproductores a los estanques de recuperación cerca a la entrada del agua para acelerar el proceso de recuperación de los animales observando su comportamiento de recuperación.

4. A continuación, se procedió a verter el esperma en el recipiente donde se encontraban las ovas, y se procedió a activar el esperma del macho con suero fisiológico (NaCl 0.9%) donde se aplicó 9mL de suero/mL de esperma y se utilizó una pluma de ave previamente desinfectada para mezclar la solución de esperma activada con las ovas de manera homogénea y se dejó reposar por 20 s. Tiempo necesario para que se lleve a cabo la fertilización. Cabe resaltar que los espermatozoides tienen una motilidad máxima de 90seg.

5. Seguido a esto se tapó los recipientes con bayetillas oscuras para protegerlas de los rayos del sol y se dejó reposar durante 1 hora para evitar estropear las ovas

6. Una vez transcurrido el tiempo se llevaron a la sala de incubación donde se depositaron las ovas en los bastidores con dimensiones de 45 cm de ancho por 32 cm de largo y 20 cm de fondo con un borde libre de 10 cm, en incubadoras verticales con flujo de agua ascendente. La siembra de las ovas se realizó a una densidad de 0.13 ovas/mL.

Observaciones: Al final de todo el proceso de reproducción no se presentó ningún tipo de lesión y mortalidad; los reproductores fueron monitoreados durante su recuperación garantizando buenas técnicas de manejo y bienestar animal.



## Anexo B. Análisis descriptivo de la población de machos y hembras de trucha

				Estadístico	Desv. Error
Peso de machos	Media			1494,5000	92,04277
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior		1291,9152	
		Límite superior		1697,0848	
	Media recortada al 5%			1461,3333	
	Mediana			1396,0000	
	Varianza			101662,455	
	Desv. Desviación			318,84550	
	Mínimo			1210,00	
	Máximo			2376,00	
	Rango			1166,00	
	Rango intercuartil			258,50	
	Asimetría			2,161	,637
	Curtosis			5,460	1,232
Talla de machos	Media			45,2717	,98607
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior		43,1013	
		Límite superior		47,4420	
	Media recortada al 5%			45,1907	
	Mediana			44,5900	
	Varianza			11,668	
	Desv. Desviación			3,41586	
	Mínimo			41,00	
	Máximo			51,00	
	Rango			10,00	
	Rango intercuartil			6,63	
	Asimetría			,598	,637
	Curtosis			-1,020	1,232
Peso de hembras	Media			2780,9167	98,44145
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior		2564,2485	
		Límite superior		2997,5848	
	Media recortada al 5%			2801,7407	
	Mediana			2861,0000	
	Varianza			116288,629	
	Desv. Desviación			341,01119	
	Mínimo			1914,00	
	Máximo			3273,00	
	Rango			1359,00	
	Rango intercuartil			352,75	
	Asimetría			-1,415	,637
	Curtosis			3,389	1,232
Talla de hembras	Media			55,9475	1,50317
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior		52,6390	
		Límite superior		59,2560	
	Media recortada al 5%			56,2278	
	Mediana			56,9000	
	Varianza			27,114	

Desv. Desviación	5,20713	
Mínimo	41,85	
Máximo	65,00	
Rango	23,15	
Rango intercuartil	2,64	
Asimetría	-1,582	,637
Curtosis	5,884	1,232

**Anexo C. Prueba de normalidad de las variables dependientes en los machos y hembras de la población de estudio**

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>		Shapiro-Wilk	
	Estadístico	Sig.	Estadístico	Sig.
Peso de machos	,259	,089	,768	,064
Talla de machos	,177	,200*	,909	,210
Peso de hembras	,176	,200*	,889	,116
Talla de hembras	,271	,092	,757	,071

### Anexo D. Análisis descriptivo de los machos de estudio

		N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
Peso de machos	T1	4	1403,0000	161,86826	80,93413	1145,4315	1660,5685	1210,00	1554,00
	T2	4	1322,0000	83,21458	41,60729	1189,5870	1454,4130	1244,00	1438,00
	T3	4	1758,5000	442,57240	221,28620	1054,2685	2462,7315	1354,00	2376,00
	Total	12	1494,5000	318,84550	92,04277	1291,9152	1697,0848	1210,00	2376,00
Talla de machos	T1	4	46,6250	4,53459	2,26729	39,4095	53,8405	41,00	51,00
	T2	4	42,5500	,64031	,32016	41,5311	43,5689	42,00	43,20
	T3	4	46,6400	2,64489	1,32245	42,4314	50,8486	44,18	50,20
	Total	12	45,2717	3,41586	,98607	43,1013	47,4420	41,00	51,00
Volumen seminal	T1	4	23,2500	3,50000	1,75000	17,6807	28,8193	19,00	27,00
	T2	4	19,5000	2,64575	1,32288	15,2900	23,7100	17,00	23,00
	T3	4	25,5000	4,04145	2,02073	19,0691	31,9309	22,00	31,00
	Total	12	22,7500	4,04801	1,16856	20,1780	25,3220	17,00	31,00
Densidad Espermática	T1	4	4,4750	,17078	,08539	4,2032	4,7468	4,30	4,70
	T2	4	4,5500	,12910	,06455	4,3446	4,7554	4,40	4,70
	T3	4	5,0500	,45092	,22546	4,3325	5,7675	4,40	5,40
	Total	12	4,6917	,37285	,10763	4,4548	4,9286	4,30	5,40
Motilidad espermática	T1	4	67,1000	1,49889	,74944	64,7149	69,4851	65,00	68,50
	T2	4	77,0500	1,98074	,99037	73,8982	80,2018	75,30	79,70
	T3	4	74,4500	3,12996	1,56498	69,4695	79,4305	71,40	78,80
	Total	12	72,8667	4,87057	1,40601	69,7721	75,9613	65,00	79,70

**Anexo E. Análisis de varianza del peso de machos de trucha arcoíris.**

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Peso de machos	Entre grupos	431298,000	2	215649,000	2,825	,112
	Dentro de grupos	686989,000	9	76332,111		
	Total	1118287,000	11			

**Anexo F. Análisis de varianza de talla en machos de trucha arcoíris**

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Talla de machos	Entre grupos	44,445	2	22,223	2,384	,148
	Dentro de grupos	83,904	9	9,323		
	Total	128,349	11			

### Anexo G. Análisis descriptivo de las hembras de estudio

		N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
Peso de hembras	T1	4	2862,7500	157,54867	78,77433	2612,0549	3113,4451	2671,00	3031,00
	T2	4	2953,7500	233,64842	116,82421	2581,9632	3325,5368	2711,00	3273,00
	T3	4	2526,2500	460,16039	230,08019	1794,0321	3258,4679	1914,00	3023,00
	Total	12	2780,9167	341,01119	98,44145	2564,2485	2997,5848	1914,00	3273,00
Talla de hembras	T1	4	56,5000	1,73205	,86603	53,7439	59,2561	54,00	58,00
	T2	4	58,7500	4,34933	2,17466	51,8292	65,6708	55,00	65,00
	T3	4	52,5925	7,18435	3,59218	41,1606	64,0244	41,85	56,80
	Total	12	55,9475	5,20713	1,50317	52,6390	59,2560	41,85	65,00
Volumen de huevos	T1	4	372,0000	57,54998	28,77499	280,4251	463,5749	314,00	450,00
	T2	4	458,7300	25,29591	12,64796	418,4786	498,9814	429,19	487,73
	T3	4	421,7500	125,65130	62,82565	221,8107	621,6893	236,00	503,00
	Total	12	417,4933	82,22657	23,73677	365,2491	469,7376	236,00	503,00
Fecundidad absoluta	T1	4	1722,7500	267,56105	133,78053	1297,0007	2148,4993	1452,00	2085,00
	T2	4	2123,7500	117,11070	58,55535	1937,4007	2310,0993	1987,00	2258,00
	T3	4	1942,7500	688,26079	344,13040	847,5735	3037,9265	967,00	2585,00
	Total	12	1929,7500	426,36266	123,08030	1658,8521	2200,6479	967,00	2585,00
Diámetro de huevos	T1	4	,5225	,00957	,00479	,5073	,5377	,51	,53
	T2	4	,5450	,07141	,03571	,4314	,6586	,50	,65
	T3	4	,5475	,05909	,02955	,4535	,6415	,50	,63
	Total	12	,5383	,05006	,01445	,5065	,5701	,50	,65
Porcentaje de fertilización	T1	4	99,8750	,16583	,08292	99,6111	100,1389	99,65	100,00
	T2	4	100,0000	,00000	,00000	100,0000	100,0000	100,00	100,00
	T3	4	87,6575	17,77766	8,88883	59,3693	115,9457	61,32	99,65
	Total	12	95,8442	11,07979	3,19846	88,8044	102,8839	61,32	100,00
Número de larvas	T1	4	821,5000	211,68766	105,84383	484,6577	1158,3423	596,00	1098,00
	T2	4	1260,5000	251,42461	125,71230	860,4273	1660,5727	958,00	1566,00
	T3	4	,0000	,00000	,00000	,0000	,0000	,00	,00
	Total	12	694,0000	572,02479	165,12933	330,5528	1057,4472	,00	1566,00
Porcentaje de eclosión	T1	4	47,1250	4,95789	2,47895	39,2359	55,0141	41,01	52,66
	T2	4	59,7150	13,70527	6,85264	37,9069	81,5231	44,10	75,36
	T3	4	,0000	,00000	,00000	,0000	,0000	,00	,00
	Total	12	35,6133	27,90262	8,05479	17,8849	53,3418	,00	75,36

**Anexo H. Análisis de varianza del peso de hembras de trucha arcoíris**

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Peso de hembras	Entre grupos	405692,667	2	202846,333	2,090	,180
	Dentro de grupos	873482,250	9	97053,583		
	Total	1279174,917	11			



**Anexo I. Análisis de varianza de talla en hembras de trucha arcoíris**

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Talla de hembras	Entre grupos	77,661	2	38,831	1,584	,257
	Dentro de grupos	220,595	9	24,511		
	Total	298,256	11			

**Anexo J. Análisis de varianza del volumen seminal en machos de trucha**

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Volumen seminal	Entre grupos	73,500	2	36,750	3,098	,095
	Dentro de grupos	106,750	9	11,861		
	Total	180,250	11			

**Anexo K. Análisis de varianza de densidad espermática en machos de trucha**

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Densidad Espermática	Entre grupos	,782	2	,391	4,706	,040
	Dentro de grupos	,747	9	,083		
	Total	1,529	11			

### Anexo L. Prueba de comparaciones múltiple de tukey en la densidad Espermática

		Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
HSD Tukey <sup>a</sup>	Tratamiento 1	4	4,4750
	Tratamiento 2	4	4,5500
	Tratamiento 3	4	5,0500
	Sig.		,929
Duncan <sup>a</sup>	Tratamiento 1	4	4,4750
	Tratamiento 2	4	4,5500
	Tratamiento 3	4	5,0500
	Sig.		,721

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

**Anexo M. Análisis de varianza de motilidad espermática en machos de trucha**

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Motilidad espermática	Entre grupos	213,047	2	106,523	20,015	,000
	Dentro de grupos	47,900	9	5,322		
	Total	260,947	11			

# **Anexo N. Prueba de comparaciones múltiple de tukey en la motilidad espermática**

Tratamiento		N	Subconjunto para alfa = 0.05	
			1	2
HSD Tukey <sup>a</sup>	Tratamiento 1	4	67,1000	
	Tratamiento 3	4		74,4500
	Tratamiento 2	4		77,0500
	Sig.		1,000	,297
Duncan <sup>a</sup>	Tratamiento 1	4	67,1000	
	Tratamiento 3	4		74,4500
	Tratamiento 2	4		77,0500
	Sig.		1,000	,145

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4.000.

**Anexo O. Análisis de varianza de huevos por volumen en hembras de trucha**

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Volumen de huevos	Entre grupos	15152,901	2	7576,451	1,151	,359
	Dentro de grupos	59220,399	9	6580,044		
	Total	74373,301	11			

**Anexo P. Análisis de varianza de fecundidad absoluta en hembras de trucha**

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Fecundidad absoluta	Entre grupos	322616,000	2	161308,000	,866	,453
	Dentro de grupos	1677020,250	9	186335,583		
	Total	1999636,250	11			



**Anexo Q. Análisis de varianza en el diámetro de huevos en hembras de trucha**

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Diámetro de huevos	Entre grupos	,002	2	,001	,262	,775
	Dentro de grupos	,026	9	,003		
	Total	,028	11			

**Anexo R. Prueba de Chi-cuadrado del porcentaje de fertilización en hembras de trucha**

			Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Chi- cuadrado	Entre grupos		1,214	2	,607	1,806	,219
	Dentro	de	3,026	9	,336		
	Total		4,241	11			

**Anexo S. Prueba de Chi-cuadrado del porcentaje de eclosión en hembras de trucha**

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Chi- cuadrado	Entre grupos	142,443	2	71,221	229,358	,000
	Dentro de grupos	2,795	9	,311		
	Total	145,237	11			

### Anexo T. Prueba de comparaciones múltiple de tukey en porcentaje de eclosión

HSD Tukey<sup>a</sup>

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Tratamiento 3	4	,0000	
Tratamiento 1	4		6,8576
Tratamiento 2	4		7,6886
Sig.		1,000	,143
Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.			
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.			

**Anexo U. Análisis de varianza del número de larvas en hembras de trucha**

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Número de larvas	Entre grupos	3275258,000	2	1637629,000	45,479	,000
	Dentro de grupos	324078,000	9	36008,667		
	Total	3599336,000	11			

### Anexo V. Prueba de comparaciones múltiple de tukey con el número de larvas

	Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
			1	2	3
HSD Tukey <sup>a</sup>	Tratamiento 3	4	,0000		
	Tratamiento 1	4		821,5000	
	Tratamiento 2	4			1260,5000
	Sig.		1,000	1,000	1,000
Duncan <sup>a</sup>	Tratamiento 3	4	,0000		
	Tratamiento 1	4		821,5000	
	Tratamiento 2	4			1260,5000
	Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

### Anexo W. Análisis descriptivo de parámetros fisicoquímicos de estudio

			Estadístico	Desv. Error
Temperatura	Media		10,9340	,05850
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	10,8017	
		Límite superior	11,0663	
	Media recortada al 5%		10,9378	
	Mediana		10,9800	
	Varianza		,034	
	Desv. Desviación		,18500	
	Mínimo		10,60	
	Máximo		11,20	
	Rango		,60	
	Rango intercuartil		,31	
	Asimetría		-,392	,687
	Curtosis		-,536	1,334
pH	Media		7,4480	,26431
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	6,8501	
		Límite superior	8,0459	
	Media recortada al 5%		7,4700	
	Mediana		7,5000	
	Varianza		,699	
	Desv. Desviación		,83583	
	Mínimo		5,50	
	Máximo		9,00	
	Rango		3,50	
	Rango intercuartil		,17	
	Asimetría		-,865	,687
	Curtosis		4,696	1,334
Oxígeno	Media		7,3120	,15185
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	6,9685	
		Límite superior	7,6555	
	Media recortada al 5%		7,3600	
	Mediana		7,5200	
	Varianza		,231	
	Desv. Desviación		,48018	
	Mínimo		6,15	
	Máximo		7,61	
	Rango		1,46	
	Rango intercuartil		,46	
	Asimetría		-1,999	,687
	Curtosis		3,581	1,334

**Anexo X. Muestreos de temperatura de la sala de incubación del estudio.**

Muestreo temperatura (°C)	
1	11,00
2	10,6
3	10,8
4	11,00
5	10,82
6	10,96
7	11,1
8	11,2
9	10,76
10	11,1



**Anexo Y. Muestreos de Oxígeno Disuelto de la sala de incubación del estudio.**

Muestreo	Oxígeno (mg/l)
1	7,61
2	6,15
3	7,52
4	7,61
5	7,59
6	7,58
7	7,52
8	7,25
9	7,5
10	6,79

**Anexo Z. Muestreos de pH de la sala de incubación del estudio.**

Muestreo	pH
1	5,5
2	7,44
3	7,51
4	9,0
5	7,7
6	7,53
7	7,4
8	7,5
9	7,4
10	7,5