



Selección familiar de los linajes F1 de *Oncorhynchus mykiss* en base a parámetros morfométricos y productivos de una población del programa de mejora genética CENIAC-Papallacta.

Fuentes Toctaguano, Luis David

Departamento de Ciencia de la Vida y la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario

Dr. Rueda Ortiz, Darwin Arturo

10 de febrero de 2022



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: "**SELECCIÓN FAMILIAR DE LOS LINAJES F1 DE ONCORHYNCHUS MYKISS EN BASE A PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS Y PRODUCTIVOS DE UNA POBLACIÓN DEL PROGRAMA DE MEJORA GENÉTICA CENIAC-PAPALLACTA**" fue realizado por el señor **Fuentes Toctaguano, Luis David**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 03 de enero de 2022

Firma:



Firmado digitalmente
por Darwin Arturo
Rueda Ortiz
Fecha: 2022.02.06
18:43:59 -05'00'

.....
Rueda Ortiz, Darwin Arturo

C. C. 0400688727



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA**

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo **Fuentes Toctaguano, Luis David**, con cédula de ciudadanía n° 172350056-5, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: ***Selección familiar de los linajes F1 de Oncorhynchus mykiss en base a parámetros morfométricos y productivos de una población del programa de mejora genética CENIAC-Papallacta*** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 4 de Febrero del 2022

Luis David
Fuentes
Toctaguano

Firmado digitalmente
por Luis David
Fuentes Toctaguano
Fecha: 2022.02.07
12:03:07 -05'00'

Fuentes Toctaguano Luis David

C.C.: 172350056-5



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA**

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo *Fuentes Toctaguano, Luis David*, con cédula de ciudadanía n° 172350056-5, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: *Selección familiar de los linajes F1 de Oncorhynchus mykiss en base a parámetros morfométricos y productivos de una población del programa de mejora genética CENIAC-Papallacta* en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 4 de Febrero del 2022

Luis David
Fuentes
Toctaguano

Firmado digitalmente
por Luis David
Fuentes Toctaguano
Fecha: 2022.02.07
12:03:27 -05'00'

Fuentes Toctaguano Luis David

C.C.: 172350056-5

REPORTE DE VERIFICACIÓN DE SIMILITUD DE CONTENIDOS



Tesis Fuentes Luis-Programa de Mejoramiento Genetico Tru...

Scanned on: 17:45 February 2, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	126
Words with Minor Changes	90
Paraphrased Words	675
Ommited Words	544

Firma:

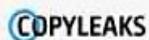


Firmado digitalmente por
Darwin Arturo Rueda Ortiz
Fecha: 2022.02.02
18:48:31 -05'00'

Rueda Ortiz, Darwin Arturo

C. C. 0400688727

Director



Website | Education | Businesses

DEDICATORIA

A Dios por permitirme levantar cada mañana con salud para poder llegar a culminar las metas que me propongo y poder llegar a ser una persona de bien.

A mi madre, Gladys Narcisa, quien ha sido pilar fundamental en mi desarrollo personal y profesional, su apoyo incondicional me motiva a continuar, su amor y valores inculcados serán reflejados a diario.

A mis hermanos, Andrea Estefanía, Johanna Alexandra y Darío Jesús, quienes me han impulsado a cumplir mis metas, ya que su perseverancia ante adversidades me ha demostrado el camino para salir adelante.

A Mónica Camila, quien me ha apoyado con consejos y acciones en los momentos más culminantes de mi vida.

A mis maestros, quienes han marcado una etapa fundamental en mi vida universitaria, al compartir sus conocimientos que a su vez se evidenciaran con la culminación de mis estudios y el comienzo de mi vida profesional.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por el amor incondicional que me da, por colocarme en el camino correcto día a día y poder levantarme en las mañanas lleno de energía y salud.

Agradezco a mi madre Gladys Narcisa por haberme dado la oportunidad de tener una adecuada educación, por los valores inculcados que me han permitido ser una persona responsable y sobre todo a no rendirme nunca ante cualquier adversidad que nos presenta la vida. A mi familia, quienes se han encontrado conmigo en los peores momentos, ustedes me motivan a seguir adelante y poder brindarles mi ayuda incondicional, deseo que siempre se sientan orgullosos de mí.

Mis más sinceros agradecimientos a mis maestros Dr. Darwin Rueda, PhD. Juan Ortiz, Dr. José Gallardo e Ing. Gustavo Naranjo, quienes me impartieron sus conocimientos y dieron fe de mis capacidades para formar parte de este proyecto.

Al Ing. Alejandro de la Roche, Ing. Margarita Rivera y personal del CENIAC, por darme una calurosa acogida en las instalaciones del Centro de Investigaciones Acuícolas – CENIAC y por el apoyo brindado en todo aspecto, que fueron piezas claves para la continuidad del presente proyecto, les doy las gracias.

A Mónica Camila, gracias por tu apoyo incondicional en los momentos que más necesitaba ayuda.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA.....	1
CERTIFICACIÓN.....	2
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA	3
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN	4
REPORTE DE VERIFICACIÓN DE SIMILITUD DE CONTENIDOS	5
DEDICATORIA.....	6
AGRADECIMIENTO	7
ÍNDICE DE TABLAS.....	13
ÍNDICE DE FIGURAS.....	15
RESUMEN.....	17
ABSTRACT	18
CAPÍTULO 1	19
INTRODUCCIÓN.....	19
Antecedentes	19
Justificación.....	22
Planteamiento del problema	24
<i>Los Efectos</i>	24
<i>Las Causas</i>	25
Objetivos	27
<i>Objetivo general</i>	27
<i>Objetivos específicos</i>	27
Hipótesis	27
CAPITULO 2	28

MARCO TEÓRICO	28
Trucha Arco iris	28
<i>Piscicultura</i>	28
<i>Antecedentes</i>	28
<i>Morfología</i>	29
<i>Clasificación taxonómica</i>	30
<i>Hábitat y comportamiento</i>	31
<i>Alimentación</i>	32
<i>Parámetros físico – químicos del agua para el cultivo de Trucha Arco iris</i>	33
<i>Biología de reproducción de Trucha Arco iris</i>	33
Diferenciación sexual	34
Desove	35
Fecundación artificial	35
Incubación	35
Eclosión del huevo	37
Etapa de alevinaje	37
Programas de mejoramiento genético en especies piscícolas	38
<i>Sistemas de mejoramiento</i>	39
Selección	39
Selección Masal	40
Selección Familiar	41
Biochips	42
Análisis Multivariado	43
CAPITULO 3	44

MATERIALES Y MÉTODOS	44
Lugar de investigación.....	44
<i>Ubicación y características del área de estudio</i>	44
Selección de reproductores de Trucha Arco iris y sistema de cruzamiento	45
<i>Número de familias</i>	45
Peces y selección.....	45
<i>Desove y fecundación artificial</i>	46
<i>Incubación</i>	48
<i>Eclosis y desarrollo de alevines</i>	49
<i>Raciones alimenticias para alevines</i>	49
<i>Alevinaje</i>	50
<i>Selección de la muestra</i>	51
Mantenimiento de los peces de Trucha Arco iris F1	53
<i>Juvenil</i>	53
<i>Alimentación</i>	54
Variables a evaluar	56
<i>Evaluación de parámetros morfométricos.</i>	56
Masa corporal	56
Longitud	57
<i>Evaluación de parámetros productivos</i>	57
Índice de condición corporal (ICC).....	57
Tasa de crecimiento	58
Mortalidad.....	58

Análisis para la obtención de grupos familiares en base a parámetros morfométricos y productivos	58
<i>Selección interfamiliar de los grupos familiares de la F1 de Oncorhynchus mykiss</i>	59
<i>Selección intrafamiliar de individuos pertenecientes a grupos familiares F1 de Oncorhynchus mykiss</i>	60
CAPITULO 4	60
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	60
Selección de individuos de Trucha Arco iris dentro del Programa de Mejora Genética CENIAC	60
<i>Análisis de variables productivas y morfométricas</i>	60
Masa corporal	61
Longitud	67
Índice de condición corporal	71
Tasa de crecimiento específico (TCE)	73
Tasa de mortalidad	75
Análisis estadístico para la selección de familias F1 Truchas Arco iris ...	76
Índice de condición corporal	76
Masa corporal	80
Longitud	83
Análisis estadístico para la selección intrafamiliar de Truchas Arco iris....	87
CAPITULO 5	91
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	91

Conclusiones	91
Recomendaciones	92
Bibliografía	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía de <i>Oncorhynchus mykiss</i>	31
Tabla 2. Parámetros físico-químicos de agua para el cultivo de trucha arco iris	33
Tabla 3. Diferenciación sexual en trucha arco iris	34
Tabla 4. Duración de la incubación según la temperatura media del agua.	36
Tabla 5. Requerimientos nutricionales en las distintas etapas del ciclo de vida de la trucha arcoíris.	55
Tabla 6. Información nutricional del balanceado.	56
Tabla 7. Media \pm desviación estándar de la masa corporal desde los 10 hasta los 300 días de las familias f1 de trucha arcoíris del programa de mejora genética.	61
Tabla 8. Medidas de dispersión para la masa corporal (g) de cada una de las familias f1 de trucha arcoíris a los 300 días, del programa de mejora genética CENIAC-Papallacta ..	64
Tabla 9. Media \pm desviación estándar de la longitud obtenida a los 10, 40, 60, 75, 90, 105, 120, 150, 180, 210, 240, 270 y 300 días de las familias f1 de trucha arcoíris.....	67
Tabla 10. Promedio de las longitudes reales y esperadas de las familias f1 de trucha arcoíris durante todo el periodo de la presente investigación.	68
Tabla 11. Media \pm desviación estándar del ICC calculado durante los 120 hasta 300 días de las familias de trucha arcoíris.....	71
Tabla 12. Medidas de dispersión para el ICC de la población general de trucha arcoíris, dentro del programa de mejoramiento genético.	72
Tabla 13. Media \pm error estándar del TCE (%) desde los 120 hasta 300 días con intervalos de 30 días, de las familias f1 de trucha arcoíris del programa de mejoramiento genético CENIAC-Papallacta.	74

Tabla 14. Análisis de la varianza multivariado para el índice de condición corporal a los 120, 180 y 300 días de las familias f1 de trucha arcoíris agrupados en 6 conglomerados.....	78
Tabla 15. Análisis de la varianza multivariado para la masa corporal a los 120, 180 y 300 días de las familias f1 de trucha arcoíris bajo 6 conglomerados (análisis clúster promedio). ...	81
Tabla 16. Análisis de la varianza multivariada para la longitud a los 120, 180 y 300 días de las familias f1 de trucha arcoíris para 6 conglomerados.	84
Tabla 17. Resumen de las familias f1 seleccionadas para las variables analizadas.	86
Tabla 18. Media \pm desviación estándar del peso corporal (gramos) de las familias e individuos seleccionados de las familias f1 de trucha arcoíris del programa de mejora genética CENIAC-Papallacta.	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Esquema de un programa de selección masal.</i>	40
Figura 2. <i>Esquema de un programa de selección familiar.</i>	42
Figura 3. <i>Ubicación geográfica del Centro de investigaciones Acuícolas – Papallacta (Google Maps, 2021)</i>	44
Figura 4. <i>Selección de los reproductores de las familias F0 de Trucha Arco Iris.</i>	46
Figura 5. <i>Extracción artificial de gametos femeninos de las familias F0 de Trucha Arco iris.</i>	47
Figura 6. <i>Fecundación artificial e incubadores de flujo vertical para las familias de truchas arco iris.</i>	48
Figura 7. <i>Envases para la eclosión y etapa de alevinaje de las familias F1 de truchas arcoíris.</i> ..	49
Figura 8. <i>Alevines pertenecientes a la familia 13 de la F1 de Truchas Arcoíris.</i>	51
Figura 9. <i>Materiales para la medición de las variables de las familias F1 de trucha arcoíris.</i>	53
Figura 10. <i>Construcción de las instalaciones para el mantenimiento de las Familias F1 de trucha arcoíris.</i>	54
Figura 11. <i>Proporción alimenticia para las familias F1 de truchas arcoíris.</i>	55
Figura 12. <i>Curvas de crecimiento para el promedio de la masa corporal esperada y real de las familias F1 de trucha arcoíris.</i>	63
Figura 13. <i>Curvas de crecimiento de la longitud promedio esperada y real de las familias F1 de trucha arcoíris del Programa de Mejora Genética CENIAN-Papallacta</i>	70
Figura 14. <i>Índice de condición corporal de las familias F1 de trucha arcoíris del programa de mejoramiento genético CENIAC-Papallacta.</i>	73
Figura 15. <i>Tasa de mortalidad (%) de las familias F1 de truchas arcoíris.</i>	75
Figura 16. <i>Dendrogramas (Análisis Clúster Promedio) a partir de distancias Euclídeas para el ICC calculado a los 120, 180 y 300 días de las familias F1 de trucha arcoíris.</i>	77

Figura 17. <i>Curva de crecimiento del ICC a los 120, 180 y 300 días de los 6 conglomerados.</i>	79
Figura 18. <i>Dendrogramas (Análisis Clúster) a partir de distancias Euclídeas para la masa corporal a los 120, 180 y 300 días de las familias F1 de truchas arcoíris.</i>	80
Figura 19. <i>Curvas de crecimiento de la masa corporal a los 120, 180 y 300 días de los 6 conglomerados.</i>	82
Figura 20. <i>Dendrogramas (Análisis Clúster) a partir de distancias Euclídeas para la longitud a los 120, 180 y 300 días de las familias F1 de truchas arcoíris.</i>	83
Figura 21. <i>Incremento de la longitud a los 120, 180 y 300 días de los 6 conglomerados.</i>	85
Figura 22. <i>Diagrama de puntos para la selección intrafamiliar “Familia 25” en función de la media poblacional.</i>	88

RESUMEN

El programa de mejoramiento genético en trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) implementado en el Centro de Investigaciones Acuícolas CENIAC-Papallacta conjuntamente con la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, busca como finalidad aumentar la eficiencia del sistema productivo, llegando a tener peces de excelentes características que logren competir los estándares de individuos importados de otros países, teniendo así un beneficio directo para los pequeños y medianos piscicultores de la región andina. El objetivo de la presente investigación fue evaluar parámetros morfométricos y productivos superiores en la población del programa de mejora genética con el fin de seleccionar familiarmente los linajes F1 de *Oncorhynchus mykiss*, obteniendo así, la siguiente generación base, del núcleo genético CENIAC-Papallacta. Por medio de la metodología de selección interfamiliar, se pudo obtener los registros del desarrollo de las 52 familias en base a datos de masa corporal desde los 0.12 ± 0.02 hasta los 70.52 ± 5.38 gramos y longitud 2.88 ± 0.25 hasta 15.35 ± 5.91 cm, al evaluar los parámetros morfométricos y productivos mediante el uso de conglomerados con distancias Euclídeas, se encontró 6 grupos familiares homogéneos, al usar análisis multivariado se pudo destacar a las familias de peces sobresalientes para la masa corporal 72.83 gramos, longitud 15.77 cm e ICC 2.33, seleccionando 20 familias con 880 peces, lo que determinó una clasificación de peces bien conformados con índice de condición corporal excelente de tipo trofeo. Por otro lado, para intensificar aún más la clasificación se usó el método de selección intrafamiliar, estableciendo así 284 individuos de las 20 familias previamente seleccionadas, con una masa corporal de 79.16 ± 17.28 gramos.

PALABRAS CLAVE: Trucha arco iris, Mejoramiento Genético, Selección interfamiliar, Conglomerados con distancias Euclídeas, Análisis multivariado.

ABSTRACT

The rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) genetic improvement program implemented at the Aquaculture Research Center CENIAC-Papallacta together with the University of the Armed Forces ESPE, seeks to increase the efficiency of the production system, reaching fish with excellent characteristics. that they manage to compete with the standards of individuals imported from other countries, thus having a direct benefit for small and medium fish farmers in the Andean region. The objective of the present investigation was to evaluate superior morphometric and productive parameters in the population of the genetic improvement program in order to familiarly select the F1 lineages of *Oncorhynchus mykiss*, thus obtaining the next base generation of the CENIAC-Papallacta genetic nucleus. Through the interfamily selection methodology, it was possible to obtain the records of the development of the 52 families based on body mass data from 0.12 ± 0.02 to 70.52 ± 5.38 grams and length 2.88 ± 0.25 to 15.35 ± 5.91 cm, at Evaluating the morphometric and productive parameters through the use of conglomerates with Euclidean distances, 6 homogeneous family groups were found and when using multivariate analysis, the outstanding fish families could be highlighted for body mass 72.83 grams, length 15.77 cm and ICC 2.33, selecting 20 families with 880 fish, which determined that well-conformed fish with an excellent body condition index of the trophy type were chosen. On the other hand, to further intensify the classification, the intra-family selection method was used, thus establishing 284 individuals from the 20 previously selected families, with a body mass of 79.16 ± 17.28 grams.

KEYWORDS: Rainbow trout, Genetic Improvement, Interfamily selection, Cluster with Euclidean distances, Multivariate analysis.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

El crecimiento exponencial de la población a nivel mundial ha generado una demanda insatisfactoria de alimentos con un alto valor nutricional, por lo cual el sector agropecuario se ha visto en la necesidad de buscar alternativas más económicas e implementar tecnologías para la obtención de fuentes proteicas a bajo costo y una alta productividad (FAO, 2020). En los últimos años la acuicultura ha demostrado grandes avances para auxiliar a la seguridad alimentaria, no solo con el crecimiento de productos, sino también aportando gran calidad proteica a los mismos siendo incluso una herramienta que ayuda a potencializar a la agricultura y ámbito pecuario; una alternativa viable es la acuicultura continental ya que es una de las actividades más relevantes en el mundo, permitiendo un ingreso económico lo cual beneficia el progreso y mantenimiento para varias localidades rurales (Avedaño, 2018).

En el Ecuador la acuicultura continental ha tenido un importante crecimiento en los últimos años generando fuentes de empleo e ingresos económicos para el país, este aspecto se ve reflejado en el PIB agropecuario que representa el 8%, dicho lo anterior podemos destacar que una de las actividades económicas emergentes es el cultivo de la trucha arcoíris donde en su gran mayoría son productores de pequeña y mediana escala (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2016). El cultivo de la trucha arcoíris al ser una de las especies que mejor se ha adaptado desde su introducción en la sierra ecuatoriana representa un importante rubro económico para el país, no obstante, al enfocarse en un mercado interno y turístico este presenta muchas limitaciones, caracterizándose por un bajo desarrollo tecnológico, por lo cual las carencias para la obtención de ovas de calidad se hacen

notables, dando paso a que en su gran mayoría estas sean importadas de países como Francia, España, Dinamarca, EEUU, Canadá, Chile, Australia y en los últimos años Latinoamérica ha resaltado con países como Colombia y Perú (FAO, 2016)

En la actualidad más del 90 % de la producción de trucha arcoíris es destinada a mercado nacional, por lo cual solo pocas empresas se dedican a la exportación de este cultivo, además cabe recalcar que estas se proveen de la producción de algunas comunidades indígenas y pequeños productores, esto se debe a que en el país existen pocos centros productores de ovas y alevines de trucha arcoíris, por lo mencionado anteriormente los productores del Ecuador en busca de abastecerse de ovas de una mayor calidad y acortar los periodos de crecimiento para mejorar su producción han decidido realizar importaciones (Mora, 2019).

En nuestro país contamos con dos instituciones gubernamentales destinadas a la comercialización de alevines de Trucha Arcoíris a costos accesibles esto con el afán de incrementar la actividad acuícola en la región andina generando nuevas fuentes de empleo e ingresos económicos, dichas instituciones son: El Centro de Investigaciones Acuícolas – CENIAC ubicada en la provincia del Napo y la Estación Piscícola Arco Iris – EPAI ubicado en la provincia de Azuay (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca (MAGAP, 2015).

A partir del año 2014, se viene desarrollando el proyecto de Maricultura y Piscicultura para fomentar la acuicultura en el Ecuador, a través del cual el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca (MAGAP), busca mejorar las líneas genéticas de Trucha Arco Iris, adquiriendo ovas importadas de los distintos países que confirmar tener excelentes producciones y una alta calidad, otro de los objetivos que se plantea dicho proyecto es reducir la

endogamia (cruce entre sujetos de una misma familia) con esto lo que se pretende es reducir la consanguinidad y mal formaciones que se han presentado en los últimos años (MAGAP, 2014). Además de lo mencionado anteriormente el MAGAP reportó que impulsara programas de fomento y asistencia técnica que incrementen la producción en las zonas rurales (MAGAP, 2014).

Según (De la Roche, 2012) en el Centro de Investigaciones Acuícolas contaba con tan solo cuatro líneas genéticas de trucha arcoíris, una nacional y tres de importaciones, estas aseguraban que exista una diversidad de las poblaciones de reproductores y alevines, no obstante al mezclar estas líneas genéticas se ha provocado una regresión negativa sobre los aspectos de calidad genética y producción de alevines, dicho lo anterior se han presentado algunos inconvenientes con respecto a los parámetros técnicos que se tenían registrados con antelación ya que en los últimos años se ha visto un incremento en la tasa de mal formaciones y una baja en la producción de alevines, generando pérdidas, ya que estas no pueden entrar en competencia con los alevines importados poniendo en riesgo a los pequeños productores ya que estos no cuentan con los ingresos necesarios para adquirir el producto de importación.

Uno de los aspectos más preocupantes sobre este acontecimiento es la depresión consanguínea y la pérdida de variabilidad genética, esto por efectos de la endogamia, que según los expertos el cruce entre hermanos provoca un elevado porcentaje de deformaciones y disminuye considerablemente la conversión alimenticia, incrementando el tiempo en que los animales deben llegar a su peso comercial e incluso no aseguro que estos lleguen a tal peso (Gallego, 2012). En este grupo que se encuentra en estudio que son los salmónidos es preocupante obtener un porcentaje mayor al 25 % ya que nos presenta valores críticos en la tasa de conversión alimenticia y la supervivencia de los individuos.

Justificación

El Centro de investigaciones Acuícolas - CENIAC es el principal Centro Público de aprovisionamiento de ovas, por varios años las técnicas de cruzamiento aplicadas para la formación de nuevas generaciones de alevines pudieron haber influenciado negativamente sobre características genéticas de rendimiento productivo de los peces. En las instalaciones del CENIAC se han realizado investigaciones para mejorar y transmitir los rasgos más sobresalientes de algunos reproductores de trucha arcoíris, en primera instancia se han llevado a cabo evaluaciones sobre la consanguinidad y la variabilidad genética, ambos factores muy relevantes a la hora de formar un programa de mejora genética, ya que se desea concentrar las características deseables en las crías sin llegar a tener efectos indeseables, no obstante, este es un proceso largo que puede llegar a tomar algunas generaciones y por lo tanto aún no se ha conformado un grupo de reproductores, que a partir de los cuales se podrán desarrollar planes de cruza dirigidas con los que se pueda potenciar las características productivas de los animales a través de la heredabilidad de caracteres un ejemplo de este sería el crecimiento mediante selección de ejemplares reproductores que expresen estos fenotipos deseados y los transfieran a su descendencia.

El CENIAC posee instalaciones con sistemas de reproducción implementados que carecen de las características idóneas para mantener un manejo eficiente, esto es debido a que los diferentes núcleos (líneas nacionales e importadas) que se tienen no se encuentran separados e identificados por ningún método que se conoce actualmente, además no se posee un registro exacto de los lotes que se cruzan, sin conocimiento del nivel genético que poseen los individuos de este sitio.

A consecuencia de esto existe una gran pérdida en la variabilidad genética dando paso a una elevación en la expresión de caracteres indeseables y a su vez los peces presentan un pobre

desempeño lo cual repercute de manera drástica sobre el rendimiento productivo como por ejemplo su tasa de crecimiento específico (TCE) se ve afectado ya que este toma más tiempo del que líneas extranjeras actuales datan., otro de los problemas que se presenta es que los cultivos de trucha arcoíris no expresan su potencial genético dando paso a susceptibilidad a las enfermedades (Valdivieso, 2018).

En este contexto se puede mencionar que los principales afectados son los pequeños y medianos piscicultores continentales del Ecuador, estos adquieren los alevines en el CENIAC a un costo relativamente bajo, no obstante, esto solo satisface un cierto porcentaje de las expectativas a nivel de productividad.

El programa de mejora genética se constituyó con la finalidad de incrementar las diferentes características del rendimiento productivo del cultivo de trucha arcoíris y a su vez poder satisfacer la demanda actual que presenta el país, desde un inicio se pretende elevar la calidad de las ovas y alevines con lo cual el producto nacional tenga relevancia dentro del mercado. Según (Mesa & Botero, 2007). El mejoramiento genético aplica principios biológicos, económicos y matemáticos permitiendo aprovechar la variabilidad genética de los individuos. El primer paso en el PMG fue el establecimiento de una línea base de reproductores asistida mediante marcadores moleculares para la identificación genética y fenotípica para aumentar la calidad y producción de los alevines. Para la realización del proyecto se generó un convenio estratégico entre la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE -IASA I, CENIAC y Universidad Católica de Valparaíso de Chile (Valdivieso, 2018).

Planteamiento del problema

A nivel nacional los centros de investigación acuícola encargados de la distribución de peces a piscicultores de la región Sierra y Amazonía del país, no cuentan con Programas de Mejora Genética que permitan ofrecer individuos que expresan un alto potencial genético-productivo. La implementación de programas de mejora genética en la acuicultura son herramientas fundamentales para la mejora de la producción acuícola de nuestro país. Esto permite tener individuos de alto valor genético que expresen características fenotípicas mejores y que compitan con individuos importados de diferentes países del mundo, lo que actualmente acontece en nuestro país. Por este motivo siendo el CENIAC el principal Centro Público de aprovisionamiento de ovas, por varios años las técnicas de cruzamiento aplicadas para la formación de nuevas generaciones de alevines pudieron haber influenciado negativamente sobre características genéticas de rendimiento productivo de los peces. A pesar que ya se evaluó la consanguinidad y la variabilidad genética en investigaciones anteriores llevadas a cabo en el CENIAC, aún hace falta establecer un grupo de reproductores, a partir de los cuales se podrá desarrollar un plan de cruces dirigidas en la estación con los que se pueda procurar potenciar las características productivas de los animales a través de la heredabilidad de caracteres como crecimiento mediante selección de ejemplares reproductores que expresen estos fenotipos deseados y los transfieran a su descendencia.

Los Efectos

A falta de un programa de mejora genética establecido en poblaciones locales de trucha arcoíris produce una pérdida de la variabilidad genética, así como también eleva las probabilidades de consanguinidad, dando como consecuencias animales que presentan problemas en los diferentes parámetros productivos y reproductivos. Debido a esto se da la importación de individuos de trucha arcoíris por parte de empresas privadas y piscicultores que

pone en riesgo el rubro destinado al centro de investigación y distribución de peces a nivel nacional, dejando así un déficit de inversión. A su vez las líneas importadas de trucha arcoíris presentan una baja adaptabilidad a las condiciones ambientales presentes en nuestro país, lo cual se refleja en una alta tasa de mortalidad, mientras que las líneas nacionales superan este obstáculo.

Posible supresión de caracteres de rendimiento productivo en nuevas generaciones de peces del CENIAC.

Retraso en los tiempos de producción, ventas y dotaciones de semillas de trucha arcoíris de buena calidad al productor desde la estación.

Posible pérdida de vigor genético en parámetros morfométricos y productivos de los peces lo cual a su vez repercute económicamente a los productores.

Altas tasas de deformaciones, reducida tasa de crecimiento como consecuencia de consanguinidad.

Perdida de variabilidad genética y adaptación de las líneas de trucha arco iris.

Las Causas

Una de las causas principales para establecer un programa de mejora genética es la inversión y disponibilidad de espacio puesto que es necesario contar con una infraestructura amplia y definida que permita dar óptimas condiciones a los individuos. Además, la falta de personal especializado en programas de mejora genética limita a los piscicultores a un manejo empírico dando como resultados individuos con problemas productivos y reproductivos.

Manejo de técnicas convencionales de reproducción sin registro adecuado de descendencia de padres e hijos.

Bajos ritmos de crecimiento y deriva de otros caracteres productivos de los peces en el CENIAC

Ausencia de programas de mejoramiento genético en trucha arco iris a nivel nacional.

La combinación de las líneas genéticas nacionales con las importadas sin un registro previo para un seguimiento posterior.

Objetivos

Objetivo general

Seleccionar familiarmente los linajes F1 de *Oncorhynchus mykiss* en base a parámetros morfométricos y productivos a partir de la población del Programa de Mejora Genética del CENIAC-Papallacta.

Objetivos específicos

Determinar grupos familiares con características semejantes en base a parámetros morfométricos y productivos de 50 familias F1 de *Oncorhynchus mykiss* dentro del Programa de Mejora Genética CENIAC-Papallacta.

Seleccionar interfamiliarmente grupos F1 de *Oncorhynchus mykiss* que presentan diferencias estadísticas significativas en parámetros morfométricos y productivos.

Seleccionar intrafamiliarmente individuos de grupos F1 de *Oncorhynchus mykiss* con parámetros morfométricos y productivos superiores para formar la población de reproductores.

Hipótesis

H₀: Entre los grupos familiares F1 de *Oncorhynchus mykiss* dentro del programa de mejora genética CENIAC-Papallacta, no existen parámetros productivos que presentan diferencias estadísticas significativas a nivel inter e intrafamiliar.

H₁: Entre los grupos familiares F1 de *Oncorhynchus mykiss* dentro del programa de mejora genética CENIAC-Papallacta, existen parámetros productivos que presentan diferencias estadísticas significativas a nivel inter e intrafamiliar.

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

Trucha Arco iris

Piscicultura

La terminología de piscicultura es más conocida dentro de nuestro país, pero esta forma parte de la acuicultura, esto se debe a que la crianza de peces se lleva a cabo en piscinas, asemejándose más a la ganadería que a la pesca, puesto que se requiere un conjunto de recursos, actividades, tecnología y conocimiento para el correcto manejo sobre un medio ambiente restringido (Lopez, 2003).

Antecedentes

La trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) es un pez del orden de los salmónidos, endémica de Norteamérica exclusivamente de las aguas vertientes al Pacífico, a partir del año 1984, ésta ha sido introducida en las aguas de todo el mundo con la excepción de la Antártida (FAO, 2016).

La trucha arco iris en Latinoamérica se encuentra distribuida a nivel de Brasil, Argentina, Chile, Colombia, Bolivia, Ecuador, Venezuela y Perú, esta adaptabilidad se debe a las buenas temperaturas que se tienen en estas regiones ya que al ser poiquiloterms su cuerpo tiene la misma temperatura del agua en la que habita, no obstante, los países que tienen una mayor producción a nivel mundial son Chile, Norte América, Japón, Australia y Europa (FAO, 2016)

Actualmente se dispone de la tecnología para el manejo, reproducción y alimentación en su proceso de desarrollo, debido a esto se ha hecho fácil la adaptación al cautiverio, además de presentar cualidades para su cultivo a pequeña y gran escala (Phillips, 2010).

Morfología

Esta especie en particular se caracteriza por la forma de su cuerpo que es fusiforme y cubierto con finas escamas, a los costados es ligeramente aplanado en dirección dorso-ventral mejorando así su capacidad de natación (Fondo Nacional de desarrollo Pesquero (FONDEPES, 2018). Su nombre se deriva por lo peculiar de su coloración el cual varía dependiendo del hábitat, del tamaño, del sexo, del tipo de alimentación y de la madurez sexual en que se encuentran (Hernández & Aquino-Martinez, 2008). La banda rosada iridiscente que presenta a ambos lados de su cuerpo se vuelve más llamativa cuando están en época de reproducción (FONDEPES, 2018). Acercándose más a la aleta dorsal esta presenta una coloración azul a verde, no obstante, esto dependerá del hábitat en que viven ya que los que habitan en los ríos y reproductores poseen una coloración más oscura e intensa, por otro lado, los especímenes que habitan los lagos tienen colores más llamativos como plateado y brillantes, en ambos casos se torna blanco en el vientre, también se puede notar la presencia de manchas redondas negras en casi todo su cuerpo. Todos los salmónidos presentan una aleta adiposa, que generalmente es de color negro, las aletas dorsal y caudal son profusamente moteadas (Aguirre, 2013).

La trucha arcoíris al poseer un cuerpo alargado y apuntado en la región de la cabeza y cola tiene características aerodinámicas, presentando una silueta tipo torpedo (BIOINNOVA, 2016). Las aletas son el medio de propulsión, dirección y equilibrio, estas están conformadas por una capa de piel que a su vez se sostiene por radios óseos, además de esto toda la dermis del animal segrega una sustancia viscosa (mucus) que hace que la superficie del animal se vuelva escurridiza protegiéndola así de sustancias tóxicas e impidiendo que los parásitos se fijen.

La trucha arco iris puede captar las vibraciones del exterior a través de unas hileras conocidas como líneas laterales en las cuales se encuentran unos cilios sensoriales que están llenos de mucus con cuerpo glandular (neuromásteo), ubicados a lo largo de ambos flancos y por debajo de la piel.

Un largo promedio para su cuerpo es de aproximadamente de entre 60 a 75 cm, llegando a un peso promedio de 3.5 kilogramos, algunos archivos datan que se han llegado a presenciar especímenes que alcanzan alrededor de 1.2 metros y pesar una cifra aproximada de 25 kilogramos en condiciones de vida natural, no obstante en cautiverio solo se llegan a cifras de alrededor de 60 cm de longitud con un peso promedio de 300 gramos, por otro lado los reproductores escogidos poseen un periodo de vida más largo de entre 1 a 5 años y llegar a pesar unos 2 kilogramos.

Clasificación taxonómica

Según WALBAUM (1792), se presenta la clasificación taxonómica de la trucha arcoiris citado por (Padrón & La cruz, 2010)

TABLA 1.*Taxonomía de Oncorhynchus mykiss*

Taxonomía	
Reino:	Animalia
Filo:	Chordata
Clase:	Actinopterygii
Orden:	Salmoniformes
Familia:	Salmonidae
Subfamilia:	Salmoninae
Género:	<i>Oncorhynchus</i>
Especie:	<i>O. mykiss</i>

Hábitat y comportamiento

La trucha arco iris es un pez de gran capacidad de adaptación a su entorno ya que soporta temperaturas que oscilan entre los 0 a los 27 °C, no obstante, podemos recalcar que esto dependerá mucho del estado fenológico en que se encuentren los animales como por ejemplo para que se desarrolle de una forma óptima el desove y el crecimiento debe ocurrir entre los 9 y 15 grados centígrados, siendo un pez de rápido crecimiento que puede tolerar diversos entornos y manipulación humana. Vive de forma natural y permanente en ríos y

lagos con suficiente oxígeno disuelto y agua fría y limpia (Muñoz & Ortiz, 2008). Aunque algunas especies de truchas tienen vida anádroma (JACUMAR & Secretaría Nacional del Mar, 2015).

En cautiverio, la temperatura óptima es inferior a 21 ° C. Esta especie tiene una amplia gama de adaptaciones a diferentes temperaturas y condiciones ambientales acudiendo con gran interés en la distribución de alimento" (Muñoz & Ortiz, 2008).

En condiciones naturales, las hembras ponen huevos una vez al año (de enero a mayo), con una producción de hasta 2000 huevos / kg de peso vivo, pero en condiciones de cautiverio, las hembras no ovipositan por sí mismas, los huevos deben depositarse artificialmente o recolectarse de poblaciones silvestres (FAO, 2016).

Alimentación

La trucha arcoíris tiene un hábito alimenticio carnívoro lo cual subsiste en devorar pequeños animales como por ejemplo invertebrados en su gran mayoría insectos, crustáceos, moluscos, huevos y peces pequeños, pero el alimento principal de la trucha es los camarones de agua dulce y esto se puede diferenciar ya que de ahí proviene su color tan particular en la carne (FAO, 2016)

En condiciones de cautiverio esto cambia un poco ya que es alimentada con balanceado formulado para suplementar las necesidades nutricionales de acuerdo al estado fenológico y peso de los individuos, el balanceado predilecto para las truchas arco iris es aquel que contiene en su gran mayoría proteína de origen animal ya que es fácilmente asimilable por los peces a diferencia del de origen vegetal.

Parámetros físico – químicos del agua para el cultivo de Trucha Arco iris

Las condiciones de agua ideales para el desarrollo del cultivo de trucha arco iris se muestran a continuación en la tabla 2.

TABLA 2.

Parámetros físico-químicos de agua para el cultivo de trucha arco iris

Parámetro	Rango	Óptimo
Temperatura de desove y cultivo	6-12°C / 2-20°C	9 a 12°C / 12 a 16°C
Oxígeno	5,5 – 9 ppm (mgO ₂ /Lt)	8,0 ppm (mg O ₂ /Lt)
Porcentaje de saturación de oxígeno	80-112%	100%
Ph	6,5-9	7,5
Sólidos suspendidos	30-120 mg/Lt	<30 mg/Lt
Dureza CO ₃ CA	<10 mg/Lt	50 mg/Lt
Amonio total	Hasta 2,0 ppm (mg/Lt)	0,08 mg/Lt

Fuente: (FAO, 2016)

Biología de reproducción de Trucha Arco iris

La trucha arcoíris presenta una diferenciación biológica para machos y hembras esto debido a la etapa en la cual sus gametos llegan a madurar, por lo general las hembras empiezan el desove a los 2 años de edad, no obstante al ser sus primeros inicios como reproductora no es muy adecuado obtener estos huevos por lo que una edad inicial para la recolección es de los 3 años en adelante, así mismo en los machos una edad idónea es la de 2 a 2.5 años, cabe recalcar que estas son generalidades y pueden presentar sus excepciones ya que los animales pueden presentar una precocidad dependiendo del clima en el que se encuentren (De La Roche, 2012).

En este punto es necesario retomar lo antes mencionado que en sistemas de cautiverio las truchas arco iris no desovan naturalmente y es necesario una extracción artificial, este

proceso se realiza para los dos géneros ya que después de este se realizara una reproducción asistida, el cual tiene por objetivo evitar la endogamia y realizar cruces de individuos heterocigotos u homocigotos dependiendo del carácter que se desee resaltar en la siguiente generación (De La Roche, 2012). Para lograr un desempeño óptimo de este proceso se debe tomar en cuenta varios factores el primer paso a tomar es el consolidar un registro de la línea genética de los reproductores y por consiguiente hay que obtener datos del crecimiento, sobrevivencia y las enfermedades a lo largo del periodo reproductivo.

Diferenciación sexual

La trucha arcoíris presenta su dimorfismo sexual cuando ha entrado en la etapa reproductiva, a esta etapa se puede llevar a cabo una visualización en la diferenciación morfológica tanto de machos y hembras (tabla 3).

TABLA 3.

Diferenciación sexual en trucha arco iris

Características	Macho	Hembra
Boca y mandíbula	Grande y Puntiaguda	Pequeña y redondeada
Dientes	Agudos	No muy agudos
Musculatura	Dura	Suave
Abdomen	Duro	Blando
Poros genitales	No prominente	Prominente
Color	Muy negruzco	Normal
Ancho del cuerpo	Angosta	Ancha
Forma del cuerpo	Delgada	Redondeada

Desove

Se presenta en sistemas de cautiverio de Trucha Arco Iris, es un método por el cual se obtienen gametos sexuales tanto de macho y hembras de manera artificial consiste en la estimulación abdominal es decir en toda el aérea ventral o mediante la inyección de aire en el abdomen del animal (García, Ávila, Domínguez, & Ávila, 2014).

Fecundación artificial

El tiempo es muy crucial para este proceso debido a que si es muy demoroso se puede llegar a una infecundidad total, este periodo de tiempo no debe sobrepasar de los 5 a 15 minutos, antes de la fecundación se debe mezclar el semen de tres a cuatro machos para evitar endogamia (De la Roche, 2012).

Según de la Roche (2012), las cantidades más idóneas para colocar son de 1 ml de semen por cada 1500 gr de huevos, se debe realizar una mezcla con una pluma para homogenizar la mezcla y que el semen llegue a cada uno de los huevos, después de 5 minutos se realizara un lavado de las ovas retirando así las ovas que están vacías y sin fecundar, este proceso es muy importante ya que el agua logra activar los espermatozoides aumentando así las probabilidades de fecundación de los huevos, otro aspecto que se puede observar es el aumento en el tamaño de los huevos ya que se lleva el espacio peri vitelino entre cascara y yema dando a este proceso se le denomina endurecimiento del huevo (FAO, 2016).

Incubación

Después del proceso de fecundación los huevos deben ser transportados en un periodo que comprende desde los 20 minutos después de la inoculación de espermatozoides hasta máximo de un periodo de 48 horas, luego de esto no se puede mover a los huevos hasta la

etapa de ovulación, otro aspecto relevante que se debe tomar en cuenta es que se debe evitar la exposición directa a luz solar ya que esto mataría a los embriones.

Es de suma importancia conocer los aspectos críticos que afectan el normal desarrollo de las ovas como por ejemplo la correcta circulación del agua, temperatura, oscuridad, evitar caudales exagerados que creen movimientos bruscos y sobre todo la limpieza constante para evitar contagios y proliferación de hongos como saprolegnia, debido a esto las instalaciones que se usen deben ser las indicadas e idóneas ya que deben permitir el fácil desarrollo de los individuos y su fácil manejo (FAO, 2016).

Los periodos de incubación dependerán de la temperatura que tiene el agua ya que desde un inicio en los peces se usa el termino acumulación de grados calóricos que significa la temperatura que requiere un ser vivo para su desarrollo en un tiempo determinado (Imaki, 2003).

TABLA 4.

Duración de la incubación según la temperatura media del agua.

Temperatura °C	Días	Acumulación de temperatura °C (Ovas en estado embrionario)	Días	Acumulación de temperatura °C (Eclosión)
6	30	180	60	360
7	25	175	50	350
8	21	168	42	336
9	18	162	36	324
10	16	160	32	320
11	14	154	28	319
12	13	156	26	312
13	12	156	24	312

Fuente: (Imaki, 2003)

Eclosión del huevo

Luego de un periodo aproximado de 40 días se produce el quiebre de la membrana del huevo producido por los movimientos del alevín, para que un lote completo eclosione puede tardar de entre dos a tres días y se llega a tener un 95% de las ovas eclosionadas, resaltando a la vista que el alevín aún posee saco vitelino, para asegurar que no existan infecciones se debe realizar una limpieza meticulosa de las larvas muertas y a su vez de los animales deformes realizando así una primera clasificación (FAO, 2016).

Durante este periodo los alevines son muy sensibles y carecen de la capacidad para poder nadar libremente por los que es de suma importancia el saco vitelino ya que les aporta los nutrientes necesarios para su crecimiento hasta llegar al estado de "nado libre", estas larvas poseen una longitud máxima de 16 mm y un peso de 1.2 gramos (De la Roche, 2012).

Etapas de alevinaje

Una vez eclosionado el huevo se habla de una primera etapa de alevinaje donde las larvas deben permanecer aun en oscuridad, el crecimiento dependerá de la absorción de su saco vitelino que puede llegar desde los 15 días posteriores de la eclosión hasta un mes después, luego de este tiempo se debe esperar a apreciar que al menos un 80% de los peces se encuentren flotando, esto debido a que cuando las larvas realizan el primer nado libre toman una bocanada de aire llenando así su vejiga natatoria y convirtiéndose así en alevines propiamente dicho para proseguir al traslado a piscinas de crianza con bajas profundidades y estas no deben superar los 30 cm (FAO, 2016).

Una vez que los alevines alcanzan un peso aproximado de 0.2 a 1 gramo se los debe trasladar a estanques con una mayor capacidad y corriente de agua, ya que es necesario incrementar la cantidad de oxígeno, cantidad y calidad de alimento, temperatura del agua y radiación solar, de estos factores dependerá el crecimiento y desarrollo de los alevines.

Programas de mejoramiento genético en especies piscícolas

Según (Gallardo, 2015), los genetistas denominan al mejoramiento genético como las técnicas y procedimientos que permiten alcanzar modificaciones en los caracteres biológicos (cuantitativos o cualitativos), estos deben tener importancia económica de manera que el ser humano se vea beneficiado, además esto debe incrementar la eficiencia del sistema productivo dentro de la compañía.

Para todo piscicultor lo más relevante a incrementar son las características cuantitativas como por ejemplo la longitud, el peso, la conversión alimenticia, entre otras. Además, cabe recalcar que cada carácter es único y su diferenciación entre peces es notable una vez que se realiza la medición, el valor fenotipo de un pez está atribuido a su valor numérico cuando este ha sido medido (Tave, 1996).

En este contexto los programas para mejorar características cuantitativas son más complejos, ya que dichos caracteres se basan en valores numéricos, por lo tanto, la selección de los individuos debe alcanzar o superar los estándares, además hay que tener en cuenta que al buscar una población pura estos deben proseguir año tras año, la finalidad de esto es realizar un progreso gradual de la media poblacional, generación tras generación. Dicho lo anterior se debe tomar en cuenta que nunca se puede dar por culminado un programa de mejoramiento genético, esto debido a que por más pequeñas que sean las mejoras se debe continuar con este proceso ya que si se interrumpe se perderá todo conseguido hasta ese punto, otro de los

mayores problemas que tienen los investigadores al realizar este tipo de programas es la depresión consanguínea que malogra los beneficios de la selección, se puede decir que es gracias a que en las dos primeras generaciones se obtienen mejoras importantes y se exige una reducción drástica del tamaño de la población (Tave, 1996).

En la acuicultura los intereses económicos siempre estarán por encima de todo; los caracteres que tienen mayor relevancia generalmente con respecto a lo mencionado anterior son el tiempo que se demora para alcanzar el peso comercial y la cantidad consumida de alimento para alcanzar este, no obstante no pueden ser evaluados directamente pero estos pueden ser sustituidos por otros de más fácil valoración como por ejemplo el primero puede ser evaluado por el peso a una edad determinada, se puede hacer esto debido a que la correlación es alta (Martinez & Figueras, 2007).

Sistemas de mejoramiento

La finalidad de los métodos de mejoramiento genético es la de aumentar la frecuencia de los genes deseados, las herramientas principales con las que cuenta el mejoramiento animal son: la selección y los sistemas de apareamiento, que el objetivo principal de estas es la de incrementar los caracteres económicos más relevantes (Pineda S et al., 2013).

Selección

Según UNNE (2017) la selección es una herramienta que nos permite decidir qué individuos de la especie se convertirán en los progenitores, así mismo se considerará que tiempo estos permanecerán en dicha población y cuántos hijos podrían engendrar, dando como resultado que los individuos con genotipo deseado se reproduzcan más y dejando una mayor descendencia; a medida que se va practicando la selección de generación en generación la frecuencia de algunos genes se va haciendo más frecuente y en otros va disminuyendo.

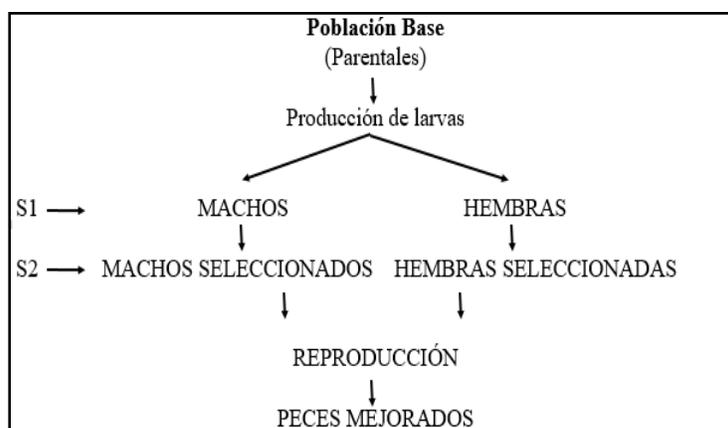
Selección Masal

También llamada selección individual sobre la base de su propio fenotipo, es decir que a partir de un grupo de peces contemporáneos se escogerán a los mejores individuos dependiendo de las características que se quieren mejorar y del desempeño individual, conformando los nuevos reproductores. En este tipo de selección existen caracteres que alcanzan una heredabilidad media de al menos 0.20 a 0.40 de porcentaje de variación genética (Gallego, 2012).

El rendimiento individual es la única referencia en la cual el investigador se basará para seleccionar a un candidato, se obviará el pedigrí del animal ignorando así a sus progenitores y la capacidad de sus hermanos (Tirados, 2001). Uno de los mayores problemas de la selección masal es que ha originado depresión consanguínea, debido a esto a partir del 2005 se ha introducido una nueva selección denominada familiar, pero no se ha aplicado a muchas especies debido a su complejidad tanto por la demanda de espacio como por el coste de la trazabilidad genealógica (Martinez P. , 2012).

Figura 1.

Esquema de un programa de selección masal.



Nota: Tomado de (Gallego, 2010)

Selección Familiar

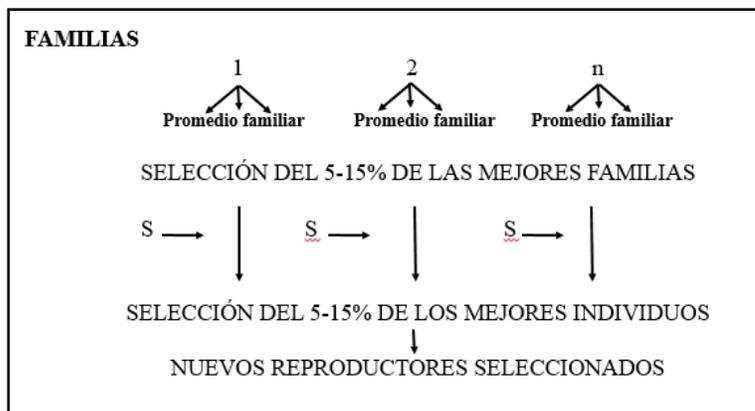
Para esta selección la decisión de conservar o descartar a los peces se toma a nivel familiar dando así la gran diferencia con la selección individual, de modo que los valores fenotípicos individuales sólo serán relevantes en la relación con la media familiar. Por lo general esta selección es aplicada cuando la selección individual es ineficaz a causa de la baja heredabilidad del carácter. El elemento heredable de la variación fenotípica se ve disminuido cuando la heredabilidad también es reducida, lo que se quiere decir con esto es que las diferencias medibles entre individuos se deben a la variación de fuentes no heredables. Con el proceso de la selección a nivel familiar se suprime la variación ambiental lo que hace más fácil la identificación de las diferencias genéticas y seleccionar a los individuos mejorados en términos de la variación heredable (Tave, 1996).

La selección familiar se puede dividir en dos tipos: selección interfamiliar e intrafamiliar, para la primera se va a determinar los valores medios de cada familia y se los clasificará, dado esto se preservará o descartará familias enteras ya que no se ha establecido un límite, aquel que realice este proceso deberá conservar las mejores 10, 15 o 20 familias, otra cualidad de esta selección es que no es necesario conservar a toda la familia sino una muestra al azar de cada una, siempre se debe hacer una muestra aleatoria en esta selección (Cardellino & Rovira, 1987).

Otro tipo de selección familiar es la intrafamiliar en ella se contempla a cada familia como una subpoblación provisional, cuando se realiza las mediciones de cada familia se ordena a los peces y se seleccionan los mejores peces de cada familia, en esta forma de selección a diferencia de la anterior el piscicultor decide quedarse con los mejores 10,15 o 20 animales de cada 10, 15 o 20 familias. En esta selección no se necesita calcular la media familiar ya que al ordenar a todos los peces simplemente se conserva a un número establecido (Tave, 1996) ; (López & Toro, 2007).

Figura 2.

Esquema de un programa de selección familiar.



Nota: El grafico representa los tipos de selección familiar que se puede aplicar. Tomado (Gallego, 2010)

Biochips

Las herramientas genómicas están cambiando nuestra forma de trabajo y han abierto la puerta para un cambio en el ámbito de trabajo a nivel investigativo, estas nuevas tecnologías están produciendo un impacto significativo en la acuicultura (Bustamante, 2008)

La metodología de identificación por radiofrecuencia (RFID), permite el marcaje permanente, a prueba de errores, además de ser discreta y segura es única lo que quiere decir que es para un solo individuo como por ejemplo mamíferos, peces, aves, moluscos entre otros (Rodeles et al., 2017). Esta nueva tecnología ha tenido un avance ya que antes se podía monitorear a especies de gran tamaño como lo son los bovinos o animales de compañía, pero ahora debido a que el tamaño del chip se ha minimizado mucho se puede realizar esta tarea en animales de tamaño inferior, además de esto se debe recalcar que es una herramienta que puede ayudar a los siguientes fines: estudio de poblaciones, programas de mejoramiento genético, control de epidemias, estudios de migración, entre otros.

Análisis Multivariado

Para comprender de mejor manera el fenómeno del objeto estudiado se emplean análisis multivariado que es el conjunto de métodos estadísticos para analizar simultáneamente un conjunto de datos, en otras palabras, un individuo u objeto estudiado posee varias variables medidas (Figueras, 2000).

La pregunta y los datos del investigador definirán el tipo de análisis, como por ejemplo en los programas de mejora genética se puede utilizar la distancia euclideana ya que ha sido utilizada como medida de distancia taxonómica para comparar individuos, especies o cualquier otro componente que tenga una base de carácter biológico, la principal ventaja que posee este tipo de análisis es que puede aplicar una matriz de presencia-ausencia, además cabe recalcar que este tipo de análisis se basa en la diferencia que hay entre unidades experimentales (Palacio et al., 2020).

CAPITULO 3

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente proyecto de investigación es una continuidad del Programa de Mejora Genética de Trucha arcoíris, en la primera fase se seleccionó e identifico reproductores con los cuales se realizó cruza y se obtuvo familias F1 de Trucha arcoíris, en la segunda fase se llevó a cabo el seguimiento de parámetros morfométricos y productivos para poder seleccionar individuos que presenten diferencias estadísticas con respecto a los parámetros antes mencionados.

Lugar de investigación

Ubicación y características del área de estudio

La presente investigación se realizó en la provincia de Napo, parroquia Papallacta, cantón Quijos dentro de las instalaciones del Centro de Investigaciones Acuícolas CENIAC. La fase experimental del proyecto se realizó en el área de alevinaje, la cual se encuentra ubicado en las coordenadas geográficas: 78° 07'58" LO, 0° 22'01" LS y a 3000 msnm, con una temperatura promedio de 10 °C, precipitación anual 1560 mm (**Fig. 3**).

Figura 3.

Ubicación geográfica del Centro de investigaciones Acuícolas – Papallacta (Google Maps, 2021)



Selección de reproductores de Trucha Arco iris y sistema de cruzamiento

En las instalaciones del CENIAC se cuenta con la F0 que es la población base, proveniente de un linaje cuya variabilidad genética fue determinada mediante el uso de marcadores moleculares tipo microsatélite y la implementación de rastreo digital.

La metodología más idónea para programas de mejora genética en peces es mediante la selección interfamiliar (Gallego, 2012). Este método nos permitió realizar cruza familiares y a su vez escoger las que posean diferencias estadísticamente significativas sobresalientes en base a parámetros productivos.

Número de familias

Se consideró la metodología según Gallego (2012), adicional se optó por aumentar un 10% más en el número de familias debido a la mortalidad, dando como resultado que el proyecto tuviera un total de 50 familias.

Peces y selección

En la primera etapa del presente proyecto de investigación dentro del Programa de Mejoramiento Genético, se realizó una previa clasificación de la población de reproductores de la F0, con la finalidad de obtener dos grupos homogéneos, para la selección, los criterios de clasificación fueron en base a índice de condición corporal y el estado de madurez sexual, lo cual nos dio cruza dirigidas de los reproductores de la F0 con peso promedio aproximado de 1700 ± 300 g, a una proporción de 1 macho por 2 hembras, con esto se llevó a cabo la obtención del mayor número de familias mediante una matriz de cruza que fue realizada por el Doctor José Gallardo, . Los alevines producidos por estas cruza fueron evaluados para longitud y peso durante un periodo de 300 días, al finalizar este periodo se realizó análisis de conglomerados y dendrogramas para seleccionar a las familias con parámetros sobresalientes (selección

interfamiliar), debido a que los peces seleccionados deben contar con una buena relación peso-longitud el primer parámetro a considerar es el Índice de condición corporal (Valdivieso, 2018).

Figura 4.

Selección de los reproductores de las familias F0 de Trucha Arco Iris.



Desove y fecundación artificial

Semanalmente se realizaban controles para evaluar la presencia de semen en los machos y desarrollo gonadal de las hembras, cuando estos alcanzaban la madurez sexual eran trasladados a piscinas especializadas donde permanecían durante un periodo de 24 horas sin ninguna clase de alimento, esto con la finalidad de evitar que cuando se realice el desove las células sexuales se contaminen con excremento.

La metodología unipersonal nos sirve para la extracción de los gametos masculinos y femeninos, previo a este paso se debe anestesiarse a los animales por medio de una inmersión en una solución de eugenol (1 ml / 10 l de H₂O).

Luego que los animales están sedados, se debe secar bien su parte abdominal, colocarlos en una mesa especializada y realizar masajes sin aplicar demasiada fuerza desde las aletas pélvicas hacia el área ventral.

En el caso de los gametos femeninos se debe pesar el total de ovas extraídas por hembra y colocar 150 gr en recipientes identificados con el código de la F0. En el caso de los machos se procedió a extraer el semen colocándolo en cajas Petri secas e identificadas.

Una vez obtenido el semen se repartió sobre las ovas de una o dos hembras, esto dependiendo a las condiciones y cantidad de líquido seminal. Previo a este paso en los recipientes que se realizó la fecundación fueron identificados con los códigos de los padres y el número de familia que le corresponde. Las ovas fecundadas se dejaron reposar durante un periodo de 5 minutos, posterior a esto se llevó a realizar un lavado tres veces con agua limpia para activar los espermatozoides y eliminar ovas vacías.

Figura 5.

Extracción artificial de gametos femeninos de las familias F0 de Trucha Arco iris.



Incubación

En el área de incubación del CENIAC dentro de las canastas de flujo vertical se colocaron canastillas hechas con malla para separar a las ovas fecundadas, esto con la finalidad de separarlas e identificarlas. En este periodo es de suma importancia que las ovas permanezcan en total oscuridad, se realizaban limpiezas diarias de la mortalidad para evitar que enfermedades sean propagadas, además de esto se chequeaba la mortalidad para saber si la familia era viable. En cada canastilla se colocó una identificación en la cual tenía el número de familia a la cual correspondía, fecha de fecundación y posible fecha de eclosión.

Luego de un periodo aproximado de 30 días las ovas alcanzan un estado conocido como punto de ojo en el cual se realizó su traslado a las tinas de alevinaje donde alcanzaron el desarrollo embrionario y eclosionaron. En cada una de las tinas se colocó etiquetas con el número de familia, número de la madre, número de padre, fecha de fecundación y fecha de eclosión.

Figura 6.

Fecundación artificial e incubadores de flujo vertical para las familias de truchas arco iris.



Eclosión y desarrollo de alevines

Una vez cumplidos los 42 días después de la fecundación, aproximadamente todas las ovas de las familias seleccionadas eclosionaron, posteriormente se aguardó un periodo de tiempo de 15 días hasta que las larvas absorbieran el saco vitelino, ascendiendo a la superficie tomando su primera bocanada de aire para llenar la vejiga natatoria comenzando así su primer nado libre y transformarse en alevín como tal. Durante todo el periodo se limpió a diario la mortalidad de las larvas.

Del total de alevines por familia, se seleccionaron alrededor de 90 individuos al azar y el resto fue entregado al CENIAC, esta selección se realizó para mantener una densidad poblacional adecuada en las tinas y evitar la muerte por asfixia, a su vez se evita la competencia por alimento creando así una población homogénea.

Figura 7.

Envases para la eclosión y etapa de alevinaje de las familias F1 de truchas arcoíris.



Raciones alimenticias para alevines

Para calcular las raciones alimenticias se tomó en consideración la biomasa de cada familia y se les suministro alimento (Pellet 1, < 0.06 m) ocho veces al día esto se realizó hasta

que los animales tuvieran tamaño suficiente para consumir un alimento superior a dicha medida, este proceso se realizó mediante todo el experimento. El balanceado suministrado fue de la marca Biomix.

Basándonos en las tablas de requerimiento nutricionales para alevines se obtiene que el alimento debe tener al menos 50% de proteína, 5% de carbohidratos, 17% de grasa, minerales como Ca, P, Mg en un rango de 0.1 – 0.5 y en la misma cantidad vitaminas como A, K, C, B₆ y B₁₂.

Alevinaje

Esta etapa se llevó a cabo en el laboratorio del Centro de Investigaciones Acuícolas-CENIAC en donde se llevó a cabo la desinfección y adecuación de tinas con tubos y mallas para el desfogue del agua con esto nos aseguramos de que cada familia se encontrara separada. En cada tina se colocó la numeración del padre y madre que provienen, la fecha de eclosión y el número de familia que le corresponde. En esta etapa se contaba con alrededor de 83 familias no obstante datos previos como lo son menor tasa de mortalidad y mayor ganancia de peso nos hicieron realizar una preselección en la cual solo se escogió un total de 50 familias para el análisis del proyecto de mejoramiento genético en trucha arcoíris.

En cuanto a las mediciones de los animales se llevó a cabo 30 días después de su eclosión ya que gran parte de los peces ya absorbió el saco vitelino obteniendo una mayor resistencia, lo cual nos permitió llevar un registro del peso, longitud, número de animales muertas de cada familia este proceso se realizó cada 15 días.

Figura 8.

Alevines pertenecientes a la familia 13 de la F1 de Truchas Arcoíris.



Selección de la muestra

Se utilizarán 70 alevines de trucha arcoíris de cada una de las 50 familias F1 seleccionando animales con un peso aproximado de $0.09 \pm 0.03\text{g}$, esto se realizó sometiendo a los peces a un pesaje un mes después de su eclosión.

Inicialmente se colocó al azar cada una de las familias separadas en recipientes con dimensiones de 0.80 cm de largo x 0.70 cm de ancho x 0.60 cm de alto.

Una vez que el peso promedio familiar alcanzo aproximadamente 0.7 g, se trasladó al azar a las familias en 3 piscinas de alevinaje que tendrán divisiones con dimensiones de 1m de largo x 1 m de ancho x 1,20 m de alto.

Para el cálculo del tamaño muestral se utilizó la siguiente fórmula estadística

$$n = \frac{N \times z^2 \times p \times (1 - p)}{d^2 \times (N - 1) + z^2 \times p \times (1 - p)}$$

Dónde:

n : número de muestras

z^2 : 1.96 al cuadrado (si la seguridad es del 95%)

p : proporción esperada, si no se sabe nada de dicha proporción se utiliza el valor de 0.5

q : $1 - p$ ($1 - 0.05 = 0.95$)

d : precisión (5%)

Reemplazando los valores en las fórmulas se obtienen los siguientes resultados

$$n = \frac{150 \times (1.96)^2 \times 0.5 \times (1 - 0.05)}{0.05^2 \times (150 - 1) + (1.96)^2 \times 0.5 \times (1 - 0.05)}$$

$$n = 124.93$$

Se corrige el tamaño de la muestra en función del número de alevines presentes en cada una de las 50 familias F1 del Programa de Mejora Genética CENIAC-Papallacta.

$$n_0 = \frac{N \times n}{N + n}$$

Dónde:

n_0 : número final de muestras corregido

n : número de muestras obtenidas con la fórmula para el cálculo del tamaño de muestra con tamaño de población conocida.

N : número total de animales por cada familia F1

$$n_0 = \frac{150 \times 124.93}{150 + 124.93}$$

$$n_0 = 68 \text{ peces}$$

Figura 9.

Materiales para la medición de las variables de las familias F1 de trucha arcoíris.



Mantenimiento de los peces de Trucha Arco iris F1

Juvenil

A medida que los animales iban creciendo el espacio en las tinas se iba haciendo insuficiente por lo cual se tuvo que transportar a los animales a las piscinas de alevinaje ubicadas en el CENIAC, previo a este paso se realizó la adecuación de 3 piscinas, cada piscina fue dividida en 16 espacios con madera y mallas colocando de forma independiente a las familias. Cada sector fue etiquetado con el número de familia, número de la madre y número del padre. Antes de realizar el traspaso se realizó una selección de los individuos por familia ya que se contaba con un gran número de peces por familia se realizó una selección al azar manteniendo un total de 150 individuos de los cuales se sostuvo el procedimiento inicial de seguir obteniendo sus datos morfométricos y productivos, se debe recalcar que este proceso se realizó hasta los 9

meses de edad de los animales. Durante este periodo se llevó a sí mismo un registro de la mortalidad, masa corporal y longitud. Al igual que en la etapa de alevinaje los datos se tomaron cada 15 días hasta la finalización del proyecto.

Figura 10.

Construcción de las instalaciones para el mantenimiento de las Familias F1 de trucha arcoíris.



Alimentación

Los requerimientos nutricionales de los peces en sus diferentes etapas son muy importantes, se deben tomar en cuenta en todas las etapas del ciclo de vida de la trucha arcoíris y como estos cambian sobre todo en la parte proteica. El suministro alimenticio proporcionado a los peces se manejó de acuerdo a la presente tabla:

La forma del alimento cambia a medida que la trucha arcoíris va creciendo, el diámetro del balanceado también se ve afectado y a su vez la composición en materias primas que le sirven de alimento a la trucha cambia permitiendo así suplementar los requerimientos nutricionales de la trucha, además hay que recalcar que en esta etapa el número de veces que se le supe de alimento disminuye a tan solo 3 veces al día impidiendo que exista un gasto innecesario.

Figura 11.

Proporción alimenticia para las familias F1 de truchas arcoíris.



TABLA 5.

Requerimientos nutricionales en las distintas etapas del ciclo de vida de la trucha arcoíris.

Nutrientes	Juveniles	Adultos
Proteínas	40-50%	35-40%
Carbohidratos	9-12%	9-12%
Lípidos	12-16%	10-16%
Minerales	P)0.45-0.8%), Mg (0.05-0.07%), Zn (15-30 ppm), Mn (2.4-13 ppm), Cu (3-5 ppm), Co (0.1 ppm), Se (0.25 ppm)	
Vitaminas (por Kg de alimento balanceado)	Vitamina A: 2.500-3.500, Vitamina D: 2.400-3.000, Vitamina E: 30-100, Vitamina K3: 10-15, Vitamina C: 100-300, Tiamina: 10, Riboflavina: 20, Piridoxina: 10, Biotina: 0.1-0.4, Ácido nicotínico: 150, Ácido pantoténico: 40-60, Ácido fólico: 5, Inositol: 400, Colina: 3.000, Cianocobalamina (vitamina B12): 0.01-0.02	
Aminoácidos (g de aminoácidos por cada 100 g de proteína)	Arginina: 4.0, Histidina: 1.8, Isoleucina: 2.8, Leucina: 5, Lisina: 6, Metionina + Cistina: 3.3, Fenilamina + Tirosina: 6, Treonina: 4.1, Triptófano: 0.6, Valina: 3.6	

Fuente: (Lovell, 2003)

TABLA 6.

Información nutricional del balanceado.

Análisis proximal calculado		
Proteína mínima	50%	Humedad Max 12%
Grasa mínima	10%	
Ceniza mínima	12%	
Fibra mínima	1%	

Fuente: (Biomix, 2016)

Variables a evaluar

Evaluación de parámetros morfométricos.

Masa corporal

Obtención de los grupos familiares de la F1 de *Oncorhynchus mykiss*.

De los 150 individuos que están dentro de cada familia se recolectarán 70 alevines al azar, primero se colocará en grupos de 14 individuos, esto con la finalidad de sacar el peso medio del grupo y realizar 5 repeticiones para tener una mayor certeza, posterior a esto se efectuará una sumatoria de los pesos y se determinará una media poblacional como indican las fórmulas a continuación, para la biometría de los peces se usará una balanza digital de 5 kg de capacidad con una pesada mínima de 0,01 gramos, este proceso se realizará cada 15 días hasta el final del proyecto.

$$\underline{P_a} = \frac{P_{T1}}{\# \text{ Total de animales}}$$

P_a = peso medio aparente de la familia

$$\sum \bar{P} = \frac{P_{a1} + P_{a2} + P_{a3} + P_{a4} + P_{a5}}{5}$$

Dónde:

P_a = peso medio aparente de la familia

\underline{P} = peso medio total de la familia

Longitud

Simultáneamente con el peso se realizará la toma de datos de la longitud total (LT) y se determinará la media poblacional respectivamente, como se expresa en la fórmula a continuación, para la biometría se pretende medir a los individuos con un ictiómetro de madera y metal con precisión de 0.1 mm.

$$\underline{LT} = \frac{LT_1 + \dots + LT_n}{\# \text{ Total de animales}}$$

De los datos que se tomarán para el peso total fresco, cada 30 días se procesará los datos mediante la siguiente fórmula para poder obtener la tasa de crecimiento específico.

Evaluación de parámetros productivos

Índice de condición corporal (ICC)

De los individuos que se coleccionarán al azar por cada familia F1, ya que se medirá sincrónicamente tanto el peso corporal como la longitud total y se obtendrá una media general se procesará los datos como indica la fórmula a continuación, para la biometría de los peces se usará una balanza digital de 5 kg de capacidad con una pesada mínima de 0,01 gramos y para la longitud se usará un ictiómetro de madera y metal con precisión de 0.1 mm, este proceso se realizará cada 30 días.

A la relación entre la longitud y el peso del pez se le denomina como índice de condición corporal y su fórmula es la siguiente:

$$ICC = \frac{\text{peso (g)}}{\text{longitud total}^3(\text{cm})} * 100$$

Tasa de crecimiento

De los datos que se tomarán para el peso total fresco, cada 30 días se procesará los datos mediante la siguiente fórmula para poder obtener la tasa de crecimiento específico.

Se utilizó la siguiente formula:

$$TCE\% = \frac{\ln(\text{peso final}) - \ln(\text{peso inicial})}{t(\text{dias})} * 100\%$$

Mortalidad

Todos los días se realizará una limpieza de los tanques en que se encuentran cada familia, en esta se retirará las excretas, el alimento desperdiciado y los animales muertos, cada mes se realizará la suma total por familia y se sacará el porcentaje de muertos como expresa la siguiente fórmula.

Se utilizó la siguiente formula.

$$\% \text{ mortalidad} = \frac{\text{número de peces muertos}}{\text{número total de peces por familia}} * 100$$

Análisis para la obtención de grupos familiares en base a parámetros morfométricos y productivos

Al tener variables de tipo cuantitativo por familia se realizó un análisis de varianza (estadística descriptiva) para cada una de las variables independientemente. Previo a los análisis

estadísticos se procedió a verificar la normalidad de los datos (Shapiro et al., 1968), dado que no cumple los principios de homocedasticidad y normalidad, se pudo calcular los datos promedios y desviaciones estándares con un análisis de varianza no paramétrica Kruskal-Wallis al 0.05%. Se realizará un análisis de Clúster o conglomerados con las variables de peso corporal, longitud total e índice de condición corporal con la finalidad de formar grupos familiares con valores homogéneos. Para la interpretación se realizará dendrogramas y análisis de distancias Euclídeas, mediante el programa Infostat.

Además, para el análisis de la morfometría y tamaño de los animales se realizó el análisis en el programa ImageJ comparando múltiples datos de sistemas de imágenes.

Selección interfamiliar de los grupos familiares de la F1 de *Oncorhynchus mykiss*

Posteriormente conformados los grupos familiares F1 de *Oncorhynchus mykiss* se verificó que si existen diferencias estadísticas significativas entre los grupos familiares, para lo cual se realizó para la variable (índice de condición corporal) análisis de varianza (ANOVA) mediante diseño en parcelas divididas en donde la variable dependiente será el parámetro morfométricos o productivo, la parcela grande será el efecto del grupo familiar y la parcela pequeña será el tiempo, y para las variables masa corporal y longitud se realizó un análisis de comparación multivariado de medias (Hotelling), además se efectuará pruebas de comparación de medias DUNCAN al 5% (Gacitúa et al., 2008).

Por último, se reservó los grupos familiares que presentaron valores sobresalientes para cada una de las variables, no obstante, como se tiene varias variables se determinó los factores de importancia para cada una de las variables utilizando un valor arbitrario por carácter según lo que explica Tave (1996), ya que no es necesario seleccionar a todos los integrantes de los grupos se escogió una muestra al azar de 50 individuos.

Selección intrafamiliar de individuos pertenecientes a grupos familiares F1 de *Oncorhynchus mykiss*

Una vez seleccionados los grupos familiares con parámetros morfométricos y productivos sobresalientes, se proseguirá a seleccionar a los peces que expresan mayor longitud de cada familia, excluyendo primero a todos los peces pequeños, de manera que en la población de reproductores no incluya individuos enanos (Tave, 1996). La selección intrafamiliar se realizará a los 300 días, para lo cual se generará un diagrama de frecuencias en función de la masa corporal, escogiendo a los individuos que presentan masa corporal igual o superior a la media familiar.

Luego del proceso antes mencionado se realizó diagramas de puntos, seleccionando individuos en base a la masa corporal y longitud. Las variables de ICC y tasa de crecimiento específico no se tomaron en consideración ya que no presentaron diferencias significativas, por último, la tasa de mortalidad solo fue evaluada dentro de cada familia ya que este factor está expuesto a condiciones externas.

CAPITULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Selección de individuos de Trucha Arco iris dentro del Programa de Mejora Genética CENIAC

Análisis de variables productivas y morfométricas

En las etapas de alevinaje y juvenil se evaluaron las variables productivas y morfométricas en cada familia para poder llegar a seleccionar en una primera instancia a las

familias con mayores promedios, posterior a este proceso se realizó una selección intrafamiliar escogiendo a los individuos sobresalientes de cada familia.

Masa corporal

La masa corporal de las familias F1 de trucha arco iris fue tomada desde los 10, 40, 60, 75, 90, 105, 120, 150, 180, 210, 240, 270 y 300 días (Anexos). Cuando se aplicó la prueba de comparación de medias (Kruskal y Wallis 0.05%), se puede observar en la tabla 7 que las familias F1 de trucha arcoíris, manifestaron un efecto significativo sobre la ganancia de masa corporal durante el periodo antes mencionado ($p < 0.05$).

TABLA 7.

Media \pm desviación estándar de la masa corporal desde los 10 hasta los 300 días de las familias f1 de trucha arcoíris del programa de mejora genética.

Días	Masa corporal teórico (g)	Masa corporal F0 (g)	Media \pm SD (F1)	p (Unilateral D)
10	0.20	0.14	0.12 \pm 0.02	<0.0001***
40	0.62	0.43	0.49 \pm 0.02	0.0622*
60	1.21	0.89	0.87 \pm 0.03	0.0603*
75	1.64	1.09	1.04 \pm 0.08	<0.0001***
90	2.80	1.59	1.55 \pm 0.05	0.0714*
Días	Masa corporal teórico (g)	Masa corporal F0 (g)	Media \pm SD (F1)	p (Unilateral D)
105	3.56	1.86	1.99 \pm 0.09	0.0007**
120	5.35	3.14	3.04 \pm 0.08	0.011**
150	9.96	5.4	5.18 \pm 0.16	<0.0001***
180	18.54	11.23	11.35 \pm 0.69	0.0096*
210	34.35	18.4	20.52 \pm 1.53	0.0100*
240	50.16	27.3	28.72 \pm 2.75	0.1156 ^{ns}

270	77.63	45.43	50.28 ± 3.28	<0.0001***
300	105.91	65.1	70.52 ± 5.38	<0.0001***

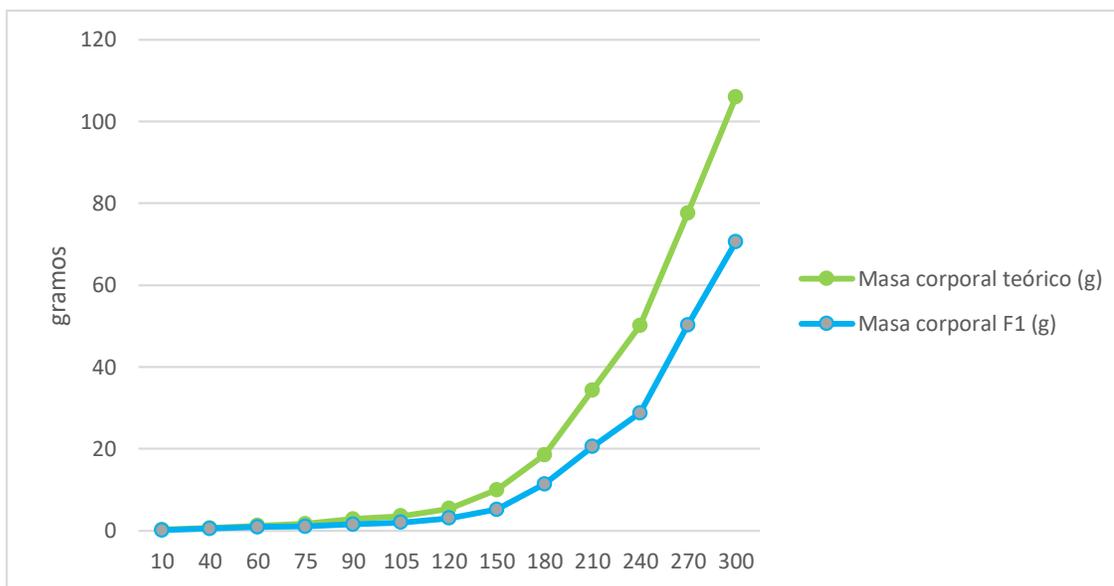
*p≤0.05 **p≤0.001 ***p≤0.0001 n.s. sin diferencia significativa.

En la tabla anterior se puede observar que, a los 180 días las familias F1 de trucha arcoíris alcanzaron un promedio de 11.35 gramos, lo cual indica que su etapa de alevinaje ha finalizado y para los 300 días se obtuvo un peso de 70.52 gramos. Además, se puede observar que se calculó la masa corporal teórica o esperada de las familias (mediante el número de alevines, la temperatura del agua y el alimento proporcionado) y la masa corporal de las generaciones pasadas, esto con la finalidad de evaluar los datos obtenidos en el presente proyecto de investigación.

Con respecto a la información presentada en la tabla 7, se puede denotar que a los 180 días el peso esperado sería de 18.54 gramos, no obstante, tan se tuvo un peso promedio de 11.35 gramos, lo cual indica que existió una diferencia notable entre la masa corporal esperada y la real, sin embargo, al observar la masa corporal de las familias F0 (11.23 gramos), se puede decir que existe una ligera diferencia a favor de las familias de trucha arcoíris de la F1 (11.35 gramos). Según la FAO (2014) la trucha arcoíris es una especie que adapta su crecimiento según la variación de las condiciones en las cuales se encuentre esto va a depender de factores como la temperatura del agua, la infraestructura o espacio, alimentación y el cuidado pertinente que se le dé al cultivo.

Figura 12.

Curvas de crecimiento para el promedio de la masa corporal esperada y real de las familias F1 de trucha arcoíris.



Según la figura 4, las curvas de crecimiento presentan tendencias logarítmicas normales, pero la curva de crecimiento de los datos reales no se ajustó a los datos esperados de la masa corporal. La regulación del mecanismo homeostático está estrechamente relacionada con la variación del ambiente, manejo nutricional, entre otros factores, por lo cual los peces pasan por un periodo de aclimatación, en este el organismo busca compensar sus funciones para adaptarse a sus nuevas condiciones. Estudios previos han demostrado que el presente proyecto se encuentra en lo correcto, mencionando que si se somete a cualquier tipo de estrés a un organismo existirá una diferencia en la masa corporal del 22% en comparación con el testigo (Jentoff et al., 2005).

En el CENIAC-Papallacta contamos con una temperatura promedio de 7 °C, un poco inferior a los datos de años pasados, por lo cual se tomó la decisión de añadir agua termal en los estanques de estadios tempranos, ya que se sabe que la temperatura posee un efecto en el

ritmo de crecimiento de la trucha arcoíris. Según la FAO (2014), la temperatura del agua es un regular del crecimiento en los peces, al ser poiquilotermos, no poseen temperatura corporal constante, sino que está se establece por la del medio en el que viven.

En la tabla 8 se presentan los promedios de la masa corporal (gramas) de las 52 familias de trucha arcoíris en estudio, del programa de mejora genética CENIAC-Papallacta.

TABLA 8.

Medidas de dispersión para la masa corporal (g) de cada una de las familias f1 de trucha arcoíris a los 300 días, del programa de mejora genética CENIAC-Papallacta

Familia	N.º de individuos	Media (g) ± Desviación estándar	Rango de variación (Min - Max)	
F1_02	68	75.71 ± 6.14	67.59	81.47
F1_03	70	73.44 ± 4.90	68.16	79.64
F1_04	69	71.37 ± 4.37	68.14	77.54
F1_05	62	69.23 ± 6.85	62.34	75.64
F1_07	63	71.94 ± 2.88	68.17	74.58
F1_08	68	66.08 ± 3.64	62.74	71.25
F1_10	65	70.86 ± 2.68	68.14	74.28
F1_101	67	75.05 ± 2.43	72.36	77.27
F1_104	69	71.51 ± 2.87	68.23	74.91
F1_12	70	74.17 ± 1.54	72.13	75.69

F1_121	68	75.92 ± 2.43	73.4	79.21
F1_126	55	69.42 ± 4.73	62.48	72.48
F1_13	58	64.87 ± 3.19	62.47	69.47
F1_15	65	72.74 ± 7.55	64.8	81.27
F1_16	63	70.22 ± 4.52	64.25	74.69
F1_17	68	69.82 ± 5.57	62.34	75.31
F1_18	69	70.61 ± 4.77	64.98	76.34
F1_19	67	69.42 ± 6.95	62.34	77.65
F1_20	69	67.53 ± 4.96	62.54	74.12
F1_22	60	70.99 ± 7.34	62.47	77.28
F1_24	65	68.18 ± 4.25	62.35	72.54
F1_25	67	69.04 ± 4.48	62.47	72.58
F1_26	67	72.36 ± 1.82	70.62	74.69
F1_28	69	62.97 ± 1.55	62.04	65.28
F1_29	70	78.31 ± 2.10	76.54	81.28
F1_31	59	65.59 ± 3.63	62.39	69.17
F1_35	68	74.77 ± 1.62	72.69	76.14
F1_40	69	71.41 ± 0.89	70.65	72.68
F1_41	69	66.24 ± 4.54	62.34	71.06
F1_44	69	74.18 ± 1.71	72.59	75.91
F1_45	68	70.28 ± 2.01	68.27	72.94
Familia	N.º de	Media (g) ± Desviación	Rango de variación (Min - Max)	
	individuos	estándar		

F1_52	63	73.74 ± 1.39	71.84	75.13
F1_54	67	66.93 ± 5.15	62.04	72.09
F1_56	68	73.66 ± 1.83	71.48	75.64
F1_63	64	75.23 ± 3.27	72.14	78.94
F1_66	64	63.89 ± 3.52	62.04	69.17
F1_68	65	74.07 ± 2.08	72.49	76.94
F1_69	68	75.13 ± 3.47	72.01	78.91
F1_71	67	64.84 ± 3.06	62.1	68.17
F1_72	69	65.91 ± 4.11	62.34	70.58
F1_74	63	74.41 ± 3.13	71.58	78.69
F1_75	69	74.57 ± 1.62	72.58	76.47
F1_78	59	67.23 ± 1.46	66.14	69.28
F1_79	58	66.84 ± 3.47	62.37	70.58
F1_81	70	75.71 ± 2.58	72.89	78.96
F1_82	61	67.94 ± 4.07	62.34	72.04
F1_84	64	66.54 ± 4.79	62.36	71.98
F1_90	65	72.28 ± 2.81	69.36	75.64
F1_93	70	63.57 ± 16.07	39.48	72.36
F1_96	69	70.17 ± 1.17	69.17	71.58
F1_97	68	72.34 ± 3.13	68.24	75.64
F1_99	58	67.68 ± 3.66	62.36	70.58

La temperatura es un factor determinante en el incremento de la tasa metabólica y viceversa. A medida que se incrementa la tasa metabólica, el consumo energético también lo hace, por lo tanto, el individuo requiere de una mayor cantidad de alimento, ya que los

requerimientos para mantener su organismo en un correcto funcionamiento incrementan, si se causan distorsiones por un incremento de la temperatura, la tasa metabólica y consumo de alimento aumentan, sin embargo la tasa de crecimiento específico empezará a disminuir, ya que a pesar que el organismo consuma una gran cantidad de energía, toda esta será enviada a satisfacer los requerimientos de un metabolismo acelerado (Martínez & Enríquez, 2009). En los salmónidos la temperatura del agua es muy importante debido a que ayuda a regular el desarrollo de la masa corporal y longitud, ya que las truchas arcoíris poseen una naturaleza en la cual adoptan la temperatura del medio en el que viven (poiquiloterms) (FAO,2014).

Longitud

Para obtener los datos de longitud de las familias F1 de trucha arcoíris se procedió a medir desde los 10, 40, 60, 75, 90, 105, 120, 150, 180, 210, 240, 270 y 300 días (Anexos). Según la tabla 9 la prueba estadística de comparación de medias (Kruskal Wallis 0.05%), indicó que las familias F1 de truchas arcoíris presentaron diferencias estadísticas significativas para la longitud durante el periodo de desarrollo del proyecto ($p < 0.05$).

TABLA 9.

Media \pm desviación estándar de la longitud obtenida a los 10, 40, 60, 75, 90, 105, 120, 150, 180, 210, 240, 270 y 300 días de las familias f1 de trucha arcoíris.

Día	Media \pm desviación estándar	p-valor
10	2.88 \pm 0.25	<0.0001***
40	3.19 \pm 0.28	<0.0001***

60	3.65 ± 0.32	<0.0001***
75	4.12 ± 0.34	<0.0001***
90	4.89 ± 0.41	<0.0001***
105	5.81 ± 0.32	<0.0001***
120	6.62 ± 0.33	<0.0001***
150	7.67 ± 0.38	<0.0001***
180	9.76 ± 0.42	<0.0001***
210	11.05 ± 0.52	<0.0001***
240	12.43 ± 6.19	<0.0001***
270	13.73 ± 0.65	<0.0001***
300	15.35 ± 5.91	<0.0001***

*p≤0.05 **p≤0.001 ***p≤0.0001 n.s. no significativo

Según lo observado en la tabla anterior, a los 180 días que finalizó la etapa de alevinaje de las familias F1 de trucha arcoíris alcanzaron una longitud promedio de 9.76 cm y a los 300 días una longitud promedio de 15.35 cm. No obstante, al poseer datos hasta los 300 días y con el fin de analizar toda la información obtenida se procedió a realizar el cálculo de las longitudes teóricas, obtenidas de una tabla de relación entre la longitud y el peso de trucha arcoíris mencionadas por la FAO (2016). Según la tabla 10 se puede observar que la longitud real no se ajusta a la teórica durante todo el periodo de la presente investigación.

TABLA 10.

Promedio de las longitudes reales y esperadas de las familias f1 de trucha arcoíris durante todo el periodo de la presente investigación.

Días	Longitud real (cm)	Longitud Teórica (cm)
-------------	---------------------------	------------------------------

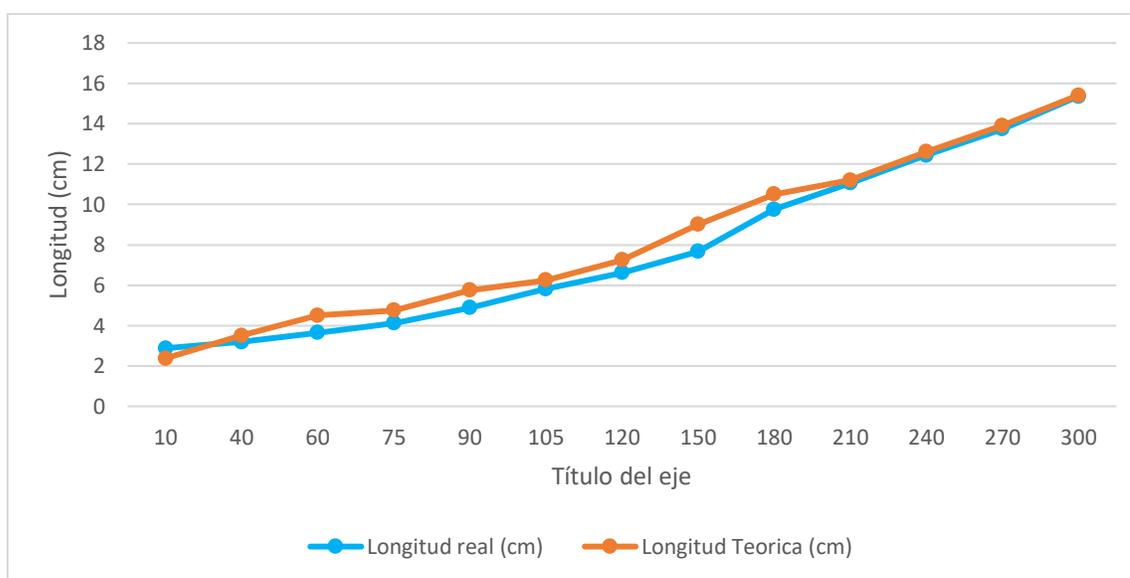
10	2.88	2.38
40	3.19	3.50
60	3.65	4.50
75	4.12	4.75
90	4.89	5.75
105	5.81	6.25
120	6.62	7.25
150	7.67	9
180	9.76	11.25
210	11.05	12.50
240	12.40	13.61
270	13.70	14.38
300	15.30	15.90

Según la tabla anterior se puede notar dos cosas relevantes, la primera es que a los 180 días fin de la etapa de alevinaje se contemplaba obtener una longitud de 11.25 cm, sin embargo solo se pudo alcanzar una longitud promedio de 9.76 cm, la segunda es que a medida que transcurría el tiempo la longitud se iba ajustando a las esperadas, ya que se puede observar que a los 300 días la longitud real es de 15.30 cm y la esperada es de tan solo 15.90 cm, una diferencia de milímetros que poco a poco se va estrechando. Lo mencionado anteriormente se debe a que el crecimiento de la trucha arcoíris no es similar a lo esperado y esta puede variar por las condiciones de temperatura en el agua, la alimentación, infraestructura, sanidad y cuidados del cultivo (FAO, 2016).

En la figura 13, se puede evidenciar que a partir de los 210 días las curvas de crecimiento para la longitud esperada y real se van ajustando y no presentan una diferencia estadística como tal.

Figura 13.

Curvas de crecimiento de la longitud promedio esperada y real de las familias F1 de trucha arcoíris del Programa de Mejora Genética CENIAN-Papallacta



En los primeros días podemos observar que las curvas no se ajustan, esto se debió a que durante este periodo de tiempo los peces estaban realizando una climatización, lo cual provoca niveles de estrés que a su vez actúa sobre los mecanismos homeostáticos, provocando que el organismo del animal trate de ajustarse a sus nuevas necesidades. El incremento de una hormona de crecimiento por la activación de vías adrenérgicas para una movilización rápida de energía, es influenciada por un estímulo estresante que a su vez controla el crecimiento del cartílago y desarrollo de tejidos hematopoyéticos (Barandica & Tort, 2008).

Índice de condición corporal

El cálculo del ICC de las familias F1 de trucha arcoíris se llevó a cabo a partir de los 120 hasta los 300 días, este parámetro es fundamental en primera instancia para la selección de las familias y a su vez también para la selección de individuos que se usaran en la población dentro del programa de mejoramiento genético. Según la prueba de comparación de medias (Kruskal Wallis, 0.05%), en la tabla 11 se indica un efecto significativo para la variable ICC de las familias de truchas arcoíris ($p < 0.05$).

TABLA 11.

Media \pm desviación estándar del ICC calculado durante los 120 hasta 300 días de las familias de trucha arcoíris.

ICC	Media \pm desviación estándar	p (Unilateral D)
T120	1.06 \pm 0.12	<0.0001***
T150	1.16 \pm 0.14	0.0406*
T180	1.23 \pm 0.12	0.1248 ^{ns}
T210	1.54 \pm 0.19	0.0138**
T240	1.58 \pm 0.27	<0.0001***
T270	1.97 \pm 0.26	<0.0001***
T300	2.03 \pm 0.34	<0.0001***

* $p \leq 0.05$ ** $p \leq 0.001$ *** $p \leq 0.0001$ n.s. no significativo

En el presente proyecto de investigación el ICC promedio de los peces en una etapa de alevinaje se encuentra en el estándar 3 que agrupa a "peces de condición aceptable para muchos pescadores" y a los 300 días presenta una etapa 2 que es un "buen pez bien proporcionado" (Barnham & Baxter, 2003). El ICC es un factor que se ve afectado por la edad de los peces, la temporada del año, el género, maduración, consumo de alimento, porcentaje de grasa y desarrollo muscular. El ICC de todos los individuos de la población del Programa de Mejoramiento Genético se mantuvo en un rango de 1.06 a 2.03, con una media de 1.51 y una desviación estándar de 0.21.

TABLA 12.

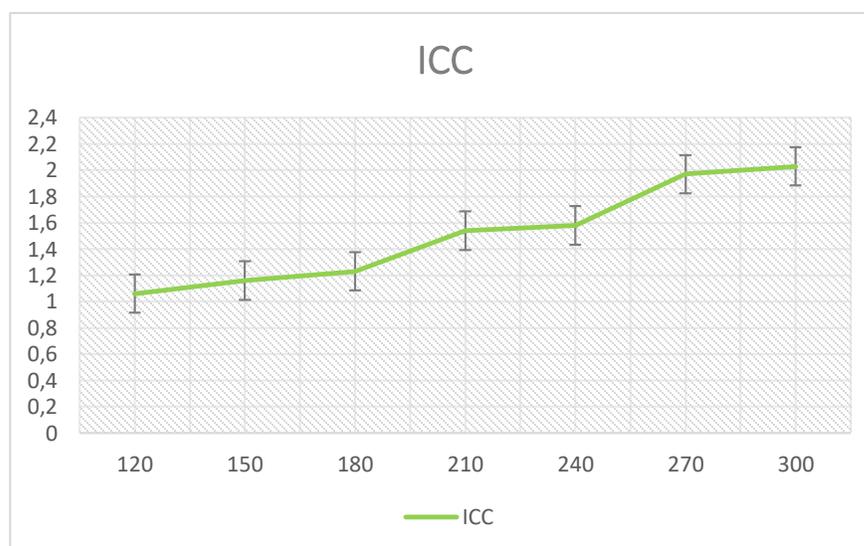
Medidas de dispersión para el ICC de la población general de trucha arcoíris, dentro del programa de mejoramiento genético.

Medidas de dispersión	CENIAC-Papallacta
	ICC
N	2600
Promedio	1.51
Desviación estándar	0.21
CV (%)	10.37
Rango de variación (Min-Max)	1.06-2.03

Como se puede apreciar en la figura 14, el ICC posee un crecimiento continuo a través del tiempo, llegando a su valor más alto a los 300 días, no obstante, en el período correspondiente a los días 210 hasta 240 se puede notar una ligera estabilidad, esto se puede deber al cambio de alimentación, generando así un pequeño estrés. Luego del período de climatización al alimento nuevo se evidenció que el ICC aumenta (1.97), alcanzando niveles elevados al finalizar el presente proyecto de investigación.

Figura 14.

Índice de condición corporal de las familias F1 de trucha arcoíris del programa de mejoramiento genético CENIAC-Papallacta.



Tasa de crecimiento específico (TCE)

La TCE para las familias F1 de trucha arcoíris fueron calculadas cada 30 días, Según la prueba estadística no paramétrica de comparación de medias (Kruskal Wallis, 0.05%), en la siguiente tabla se puede observar que en las etapas de alevinaje las familias F1 no presentaron

diferencia estadística sobre el TCE (%), mientras que a partir de los 210 hasta 300 días presenta una diferencia estadística para la variable analizada ($p < 0.05$)

TABLA 13.

Media \pm error estándar del TCE (%) desde los 120 hasta 300 días con intervalos de 30 días, de las familias f1 de trucha arcoíris del programa de mejoramiento genético CENIAC-Papallacta.

DIAS	Media \pm desviación estándar	p (Unilateral D)
120-150	1.94 \pm 0.03	<0.0001***
150-180	4.41 \pm 0.14	0.9674 ^{ns}
180-210	3.00 \pm 0.08	0.9993 ^{ns}
210-240	2.86 \pm 1.91	0.9741 ^{ns}
240-270	1.89 \pm 0.07	0.9817 ^{ns}
270-300	1.23 \pm 0.08	<0.0001***

Los datos analizados previamente concuerdan con los mencionados por (Christiansen & Luckstadt, 2008), quienes afirman que los salmónidos poseen una tasa de crecimiento específico de 0.68 a 0.83%/ día, por lo cual se puede afirmar que las familias F1 de trucha arcoíris se encuentran dentro del rango de aceptación. No obstante, el TCE posee varias negligencias ya que se subestima al peso ganado inicial y final, sobrestimando los pesos superiores esperados. Como toda variable en salmónidos la TCE depende mucho de factores externos como la temperatura del agua, calidad y cantidad de nutrientes inmersos en su alimentación. Para el análisis de los datos debemos tomar en cuenta los TCE esperados en los diferentes periodos,

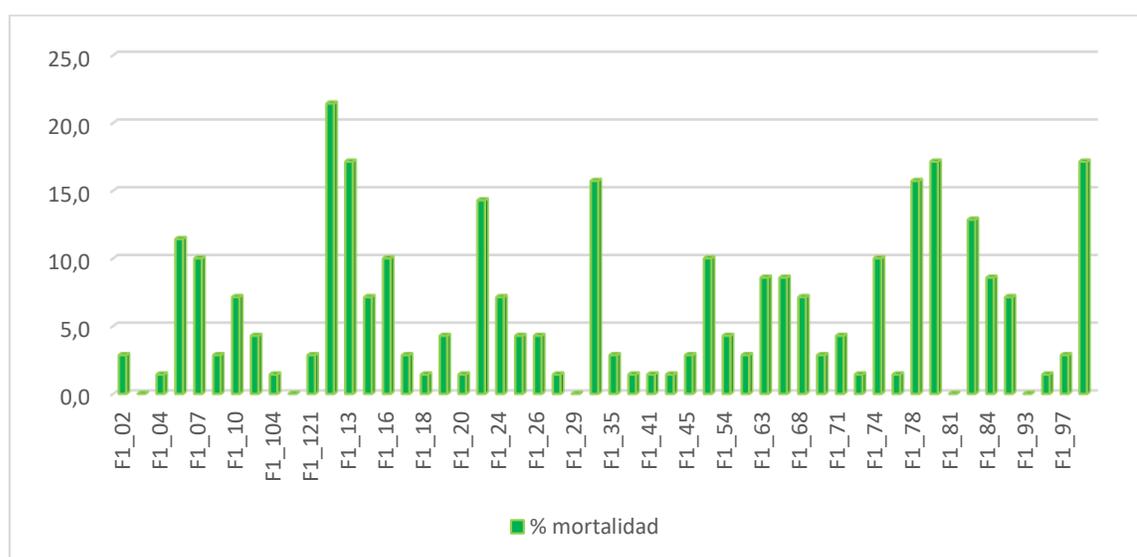
teniendo así que a los 300 días se esperaba un TCE de 4 y sobrepasando ligeramente con un TCE de 4.23 (Austreng et al., 1986).

Tasa de mortalidad

El registro de mortalidad se llevó a cabo durante todo el período del presente proyecto de investigación. En la figura 7 se puede observar el porcentaje de peces por familia F1 de trucha arcoíris.

Figura 15.

Tasa de mortalidad (%) de las familias F1 de truchas arcoíris.



Según la figura 15, algunas de las familias F1 de trucha arcoíris presentaron un mayor porcentaje de mortalidad F1_05 (11.4%), F1_126 (21.4%), F1_13 (17.1%), F1_22 (14.3%), F1_31 (15.7%), F1_78 (15.7%), F1_82 (12.9%), F1_99 (17.1%), estas lecturas marcan que dichas familias sobrepasaron el 10% de mortalidad admisible o considerada como valor máximo de mortalidad durante etapas tempranas, otras familias se encontraron en el margen, presentando un 10%

justo de mortalidad como lo son: F1_07, F1_16, F1_52 y F1_74 (Ortiz, 2016). Varios factores son precursores a dichas elevadas tasas de mortalidad en este caso se puede decir que la infraestructura y densidad poblacional fue un factor influyente, ya que el espacio físico no era suficiente para tener una gran cantidad de animales.

Análisis estadístico para la selección de familias F1 Truchas Arco iris

Para la selección interfamiliar se realizó un análisis de Clúster o conglomerados con la finalidad de obtener dendrogramas con grupos homogéneos de las familias F1 de trucha arcoíris para el ICC, masa corporal y longitud. El análisis tuvo el propósito de conformar grupos homogéneos y seleccionar las familias sobre los parámetros antes mencionados, dicha evaluación se llevó a cabo en tres fechas la primera a los 120 días, la segunda a los 180 finalización de la etapa de alevinaje y la tercera a los 300 días punto en el culmina la presente investigación.

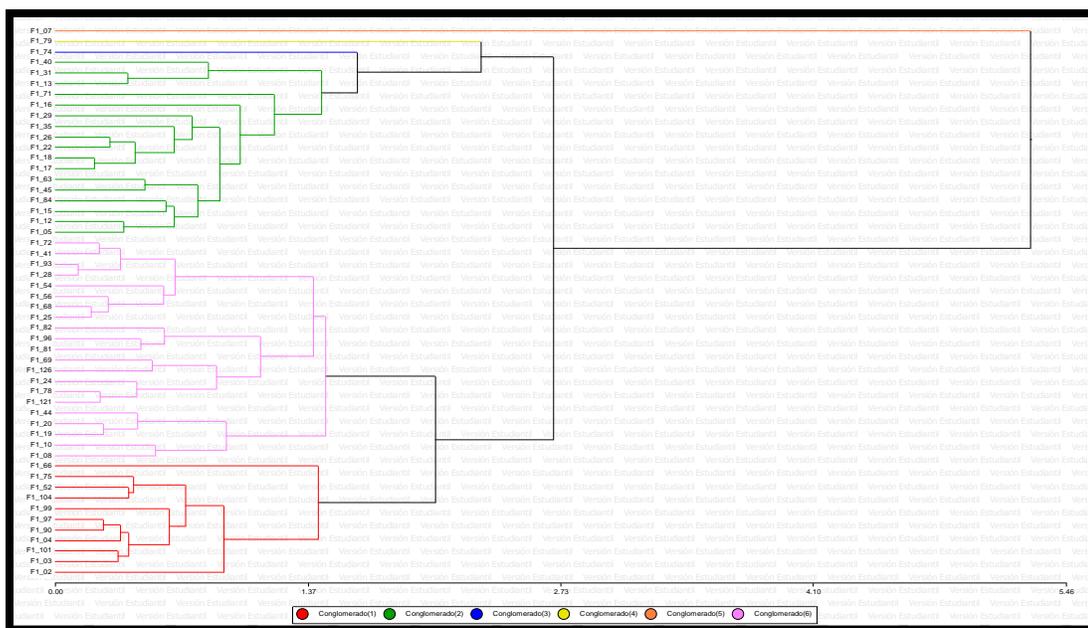
Algunos parámetros evaluados se excluyeron de este análisis final como lo son la tasa de crecimiento específico esto debido a que no presentó ningún efecto significativo sobre las familias F1 de trucha arcoíris, otra variable excluida fue la tasa de mortalidad esto debido a que algunas familias presentaron niveles inaceptables durante etapas tempranas, no obstante, hay que recalcar que se puede deber a factores externos como sanidad, cambios drásticos en la temperatura de agua y manejo.

Índice de condición corporal

El primer paso para la selección de familias F1 de truchas arcoíris fue realizar grupos homogéneos, mediante el método de análisis de Clúster Promedio (Average linkage) con distancias Euclídeas, este se utilizó ya que su correlación cofenética fue la que más se ajustó a la presente investigación, dando 6 conglomerados o grupos homogéneos familiares (figura 16).

Figura 16.

Dendrogramas (Análisis Clúster Promedio) a partir de distancias Euclídeas para el ICC calculado a los 120, 180 y 300 días de las familias F1 de trucha arcoíris.



Una vez obtenidos los conglomerados se pudo realizar una prueba estadística de comparación multivariado de medias (Hotelling 0.05%) en donde se encontró que si existió diferencias estadísticas significativas sobre el ICC de las familias de trucha arcoíris, adicional a esto se realizó un análisis de varianza (ANOVA) mediante diseño en parcelas divididas en donde la variable dependiente será el parámetro morfométricos o productivo, la parcela grande será el efecto del grupo familiar y la parcela pequeña será el tiempo, además se efectuará pruebas de comparación de medias DUNCAN al 5%.

TABLA 14.

Análisis de la varianza multivariado para el índice de condición corporal a los 120, 180 y 300 días de las familias f1 de trucha arcoíris agrupados en 6 conglomerados.

Conglomerado	ICC120	ICC180	ICC300	FAMILIA
C1	1.25	1.23	2.33	F1_02, F1_03, F1_04, F1_101, F1_101, F1_52, F1_66, F1_75, F1_90, F1_97, F1_99 (a)
C2	0.97	1.22	2.04	F1_05, F1_12, F1_13, F1_15, F1_16, F1_17, F1_18, F1_22, F1_26, F1_29, F1_31, F1_35, F1_40, F1_45, F1_63, F1_71, 84 (b)
C3	1.16	1.49	2.03	F1_74 (c)
C4	1.21	0.98	2.14	F1_79 (d)
C5	1.06	1.24	2.02	F1_07 (e)
C6	0.96	1.32	2.01	F1_08, F1_10, F1_121, F1_126, F1_19, F1_20, F1_24, F1_25, F1_28, F1_41, F1_44, F1_54, F1_56, F1_68, F1_69, F1_72, F1_78, F1_81, F1_82, F1_93, F1_96 (f)
Media	1.17	1.26	1.81	

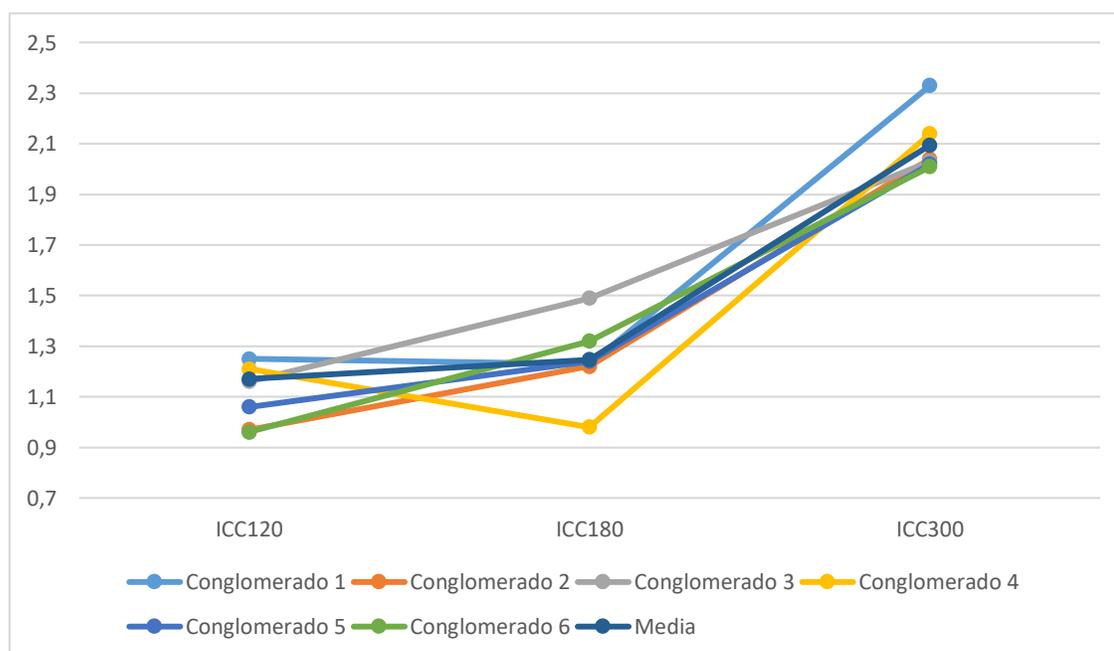
*Medias con letra en común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

Según la tabla 14, el índice de condición corporal más elevado se registra para el conglomerado C1 a los 120 y 300 días con 1.25 y 2.33 respectivamente, mientras que para los

180 días el conglomerado que presenta un ICC más alto es el C3 con 1.49 y por último el conglomerado que presenta los valores más bajos con respecto al ICC en los 120 y 300 días es el C6 mostrando 0.96 y 2.01 respectivamente.

Figura 17.

Curva de crecimiento del ICC a los 120, 180 y 300 días de los 6 conglomerados.



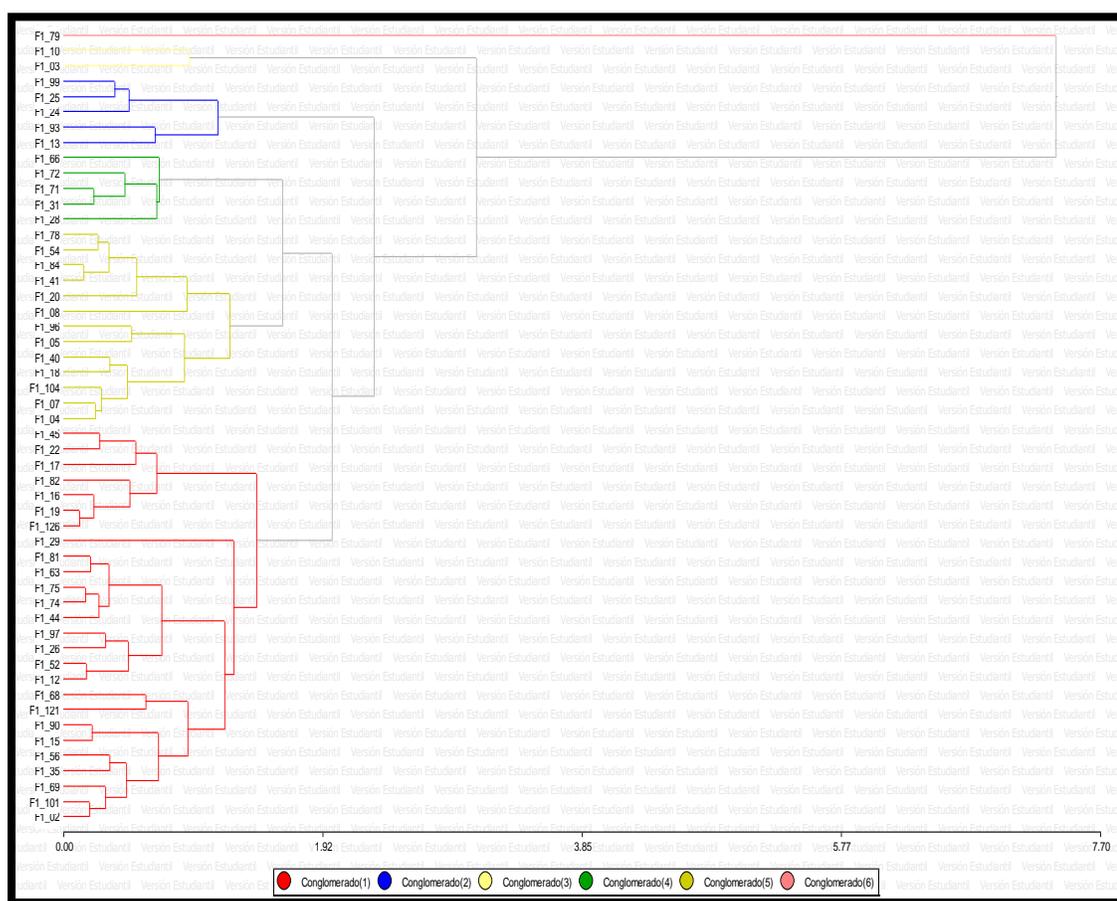
Según la figura anterior se puede observar una comparación entre el ICC de los conglomerados durante los periodos de 120, 180 y 300 días, en donde se puede divisar que los conglomerados C4, C5 y C6, estuvieron bajo el promedio poblacional. Por lo tanto, se puede llegar a la conclusión que las familias con ICC inferiores a la media poblacional no tienen una buena relación peso/longitud y su condición corporal no es deseada en el mercado.

Masa corporal

Otra de las variables que se analizó para la selección de familias F1 de trucha arcoíris fue el peso, el cual se realizó mediante un análisis Clúster con distancias Euclídeas y se obtuvo 6 conglomerados o grupos homogéneos de las familias F1 (Figura 18).

Figura 18.

Dendrogramas (Análisis Clúster) a partir de distancias Euclídeas para la masa corporal a los 120, 180 y 300 días de las familias F1 de truchas arcoíris.



Para el análisis de los conglomerados se realizó una prueba estadística de comparación multivariado de medias (Hotelling %0.05), dando como resultado que si existe una diferencia

estadísticamente significativa para la masa corporal de las familias F1 de trucha arcoíris ($p < 0.05$). En la tabla a continuación se puede observar grupos con similares valores para el peso.

TABLA 15.

Análisis de la varianza multivariado para la masa corporal a los 120, 180 y 300 días de las familias f1 de trucha arcoíris bajo 6 conglomerados (análisis clúster promedio).

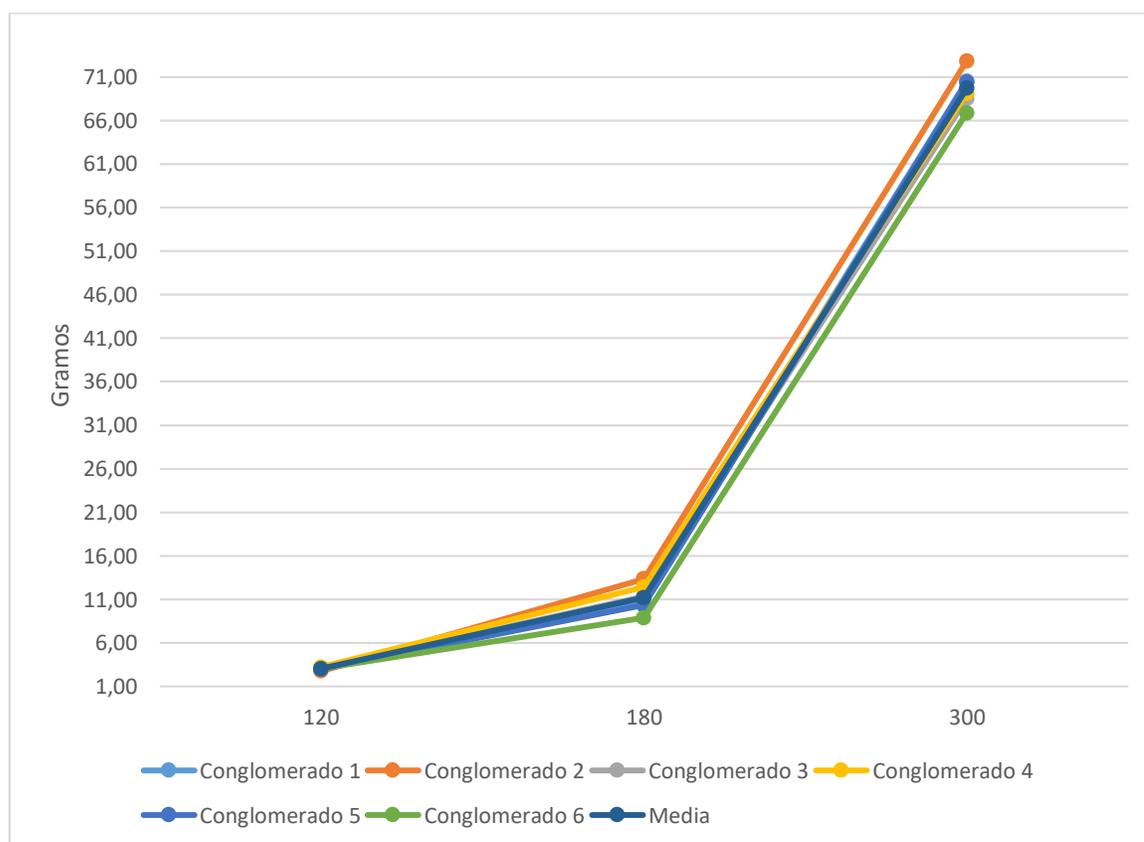
Conglomerado	120	180	300	FAMILIA
				F1_02, F1_12, F1_15, F1_16, F1_17, F1_19, F1_22, F1_26, F1_29, F1_35, F1_44, F1_45, F1_52, F1_56, F1_63, F1_68, F1_74, F1_75, F1_81, F1_82, F1_121, F1_69, F1_126, F1_101, F1_97, F1_90 (a)
C1	3.04	10.85	70.52	
C2	2.75	13.35	72.83	F1_13, F1_24, F1_25, F1_93, F1_99 (b)
C3	3.12	11.34	68.49	F1_03, F1_10 (c)
C4	3.21	12.42	69.12	F1_28, F1_31, F1_66, F1_71, F1_72 (d) F1_04, F1_05, F1_07, F1_08, F1_18, F1_20,
C5	2.98	10.34	70.39	F1_40, F1_41, F1_54, F1_78, F1_96, F1_104, F1_84 (e)
C6	3.05	8.89	66.84	F1_79 (f)
Media	3.02	11.20	69.70	

*Medias con letra en común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

En base a la tabla anterior se puede resumir que el conglomerado C4 presento el valor más elevado para el peso a los 120 días con valor de 3.21 gramos y para los 180 y 300 días el conglomerado C2 presento los valores más altos con 13.35 gramos y 72.83 gramos respectivamente. Mientras que para los valores más bajos el C6 presento tan solo 66.84 gramos a los 300 días.

Figura 19.

Curvas de crecimiento de la masa corporal a los 120, 180 y 300 días de los 6 conglomerados.



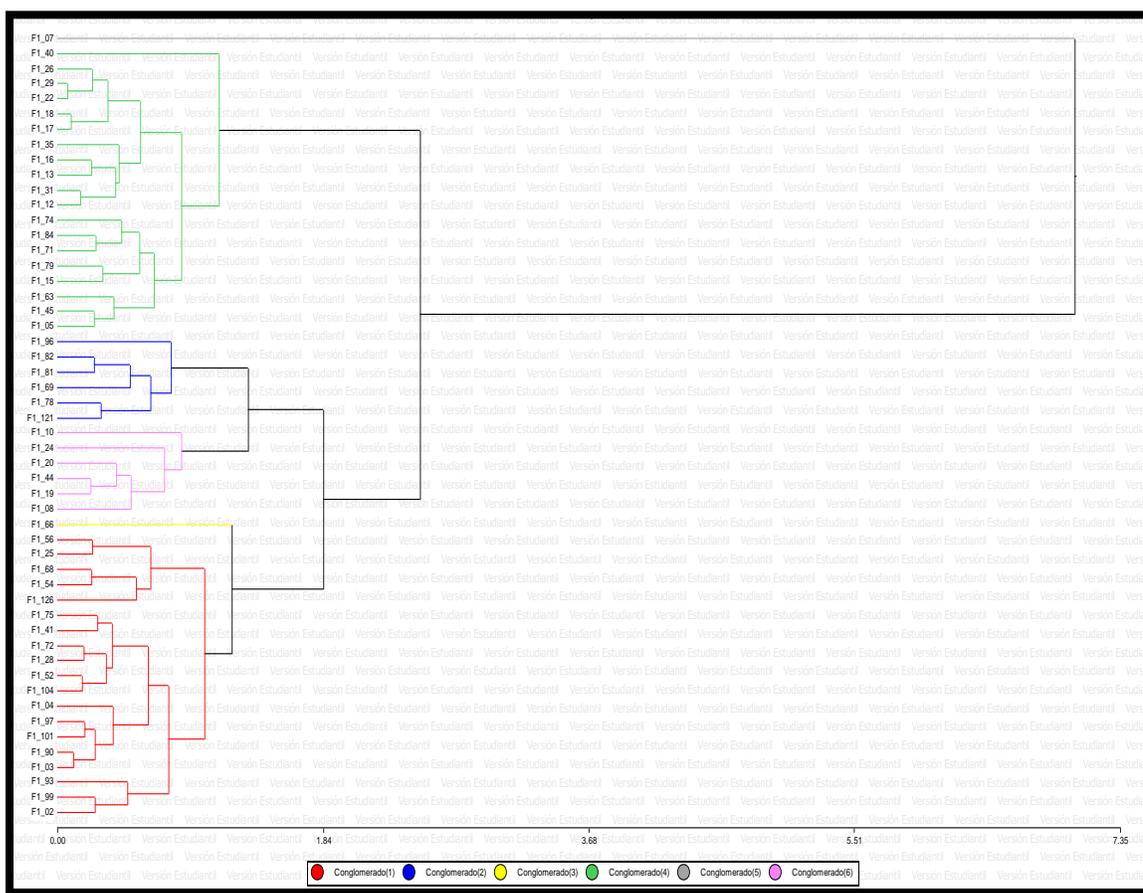
En la figura anterior se puede observar las comparaciones entre los pesos de los conglomerados y la media poblacional general a los 120, 180 y 300 días. Los pesos de los conglomerados C3 y C6 estuvieron bajo la media poblacional, por otro lado, hay que destacar a los del C2 que se mantuvieron en toda instancia por encima del promedio.

Longitud

Para la selección de las familias F1 de truchas arcoíris para la variable longitud se realizó un análisis de Clúster del cual se obtuvieron 6 conglomerados (figura 20).

Figura 20.

Dendrogramas (Análisis Clúster) a partir de distancias Euclídeas para la longitud a los 120, 180 y 300 días de las familias F1 de truchas arcoíris.



Una vez obtenidos los conglomerados se realizó una prueba estadística de comparación multivariada de medias (Hotelling 0.05%), dicho análisis presento que sí tuvieron diferencias

significativas sobre la longitud de las familias F1 de trucha arcoíris ($p < 0.05$). Los conglomerados nos ayudaron a formar grupos homogéneos de las familias F1 de trucha arcoíris (Tabla 16).

TABLA 16.

Análisis de la varianza multivariada para la longitud a los 120, 180 y 300 días de las familias f1 de trucha arcoíris para 6 conglomerados.

Conglomerado	120	180	300	FAMILIA
C1	6.62	9.76	15.35	2, F1_03, F1_04, F1_25, F1_28, F1_41, F1_52, F1_54, F1_56, F1_68, F1_72, F1_75, F1_104, F1_93, F1_99, F1_126, F1_101, F1_97, F1_90 (a)
C2	6.81	10.94	15.29	F1_78, F1_81, F1_82, F1_96, F1_121, F1_69 (b)
C3	6.03	9.58	13.30	F1_66 (c)
C4	6.59	9.49	15.46	F1_05, F1_12, F1_13, F1_15, F1_16, F1_17, F1_18, F1_29, F1_31, F1_35, F1_40, F1_71, F1_74, F1_79, F1_84 (d)
C5	6.21	9.72	15.77	F1_07 (e)
C6	6.47	9.80	15.18	F1_08, F1_10, F1_19, F1_20, F1_24, F1_44 (f)
Media	6.46	9.88	15.06	

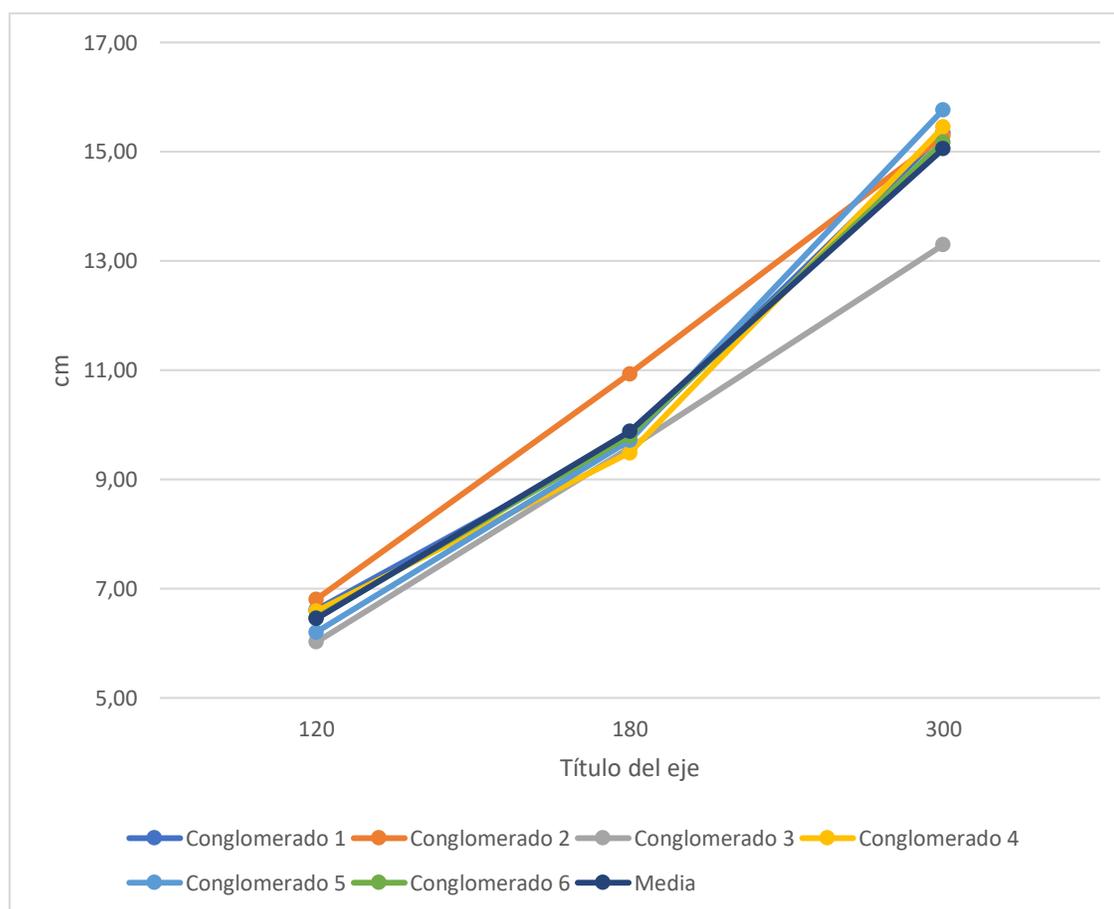
*Medias con letra en común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

Según la tabla anterior a los 120 y 180 días el conglomerado C2 es el que presenta mayores valores para la longitud, teniendo 6.81 cm y 10.94 cm respectivamente. Mientras que

para los 180 días el valor más alto para la longitud es del conglomerado C5 con 15.77 cm. Por último, hay que destacar que el C3 obtuvo los valores más bajos para las tres fechas establecidas con valores de 6.03 cm, 9.58 cm y 13.30 cm.

Figura 21.

Incremento de la longitud a los 120, 180 y 300 días de los 6 conglomerados.



Al realizar una comparación entre las longitudes de los conglomerados podemos apreciar que el C2 se mantuvo sobre la media poblacional y las familias pertenecientes a este grupo serán destacadas, por lo contrario que el C3 que se mantuvo por debajo de la media poblacional.

En la tabla 17 se registra un resumen de las familias seleccionadas por las variables antes analizadas durante el presente proyecto de investigación.

TABLA 17.

Resumen de las familias f1 seleccionadas para las variables analizadas.

Tipo	Variable	Familias seleccionadas
Morfométricas	Masa corporal (g)	F1_02, F1_03, F1_04, F1_101, F1_52, F1_66,
	Longitud (cm)	F1_75, F1_90, F1_97, F1_99, F1_13, F1_24,
Productivas	ICC	F1_25, F1_93, F1_07, F1_28, F1_31, F1_71,
		F1_72

Estas familias fueron seleccionadas por el método interfamiliar, la cual coincide con la empleada en estudios anteriores como la de Gall & Huan (1998), quienes asumieron que al realizar una selección familiar la respuesta por generación aumenta en un 1.07 y 1.35% para la masa corporal, a una intensidad de selección del 20 y 10% respectivamente.

Según (Gallego, 2010), al realizar una combinación de los dos tipos de selecciones familiares la respuesta genética es mucho más elevada ya que se da importancia a las diferencias entre familias y dentro de las mismas. Además, menciona que se evita la consanguinidad ya que se permite realizar cruzamientos rotacionales entre familias o individuos que presentan características superiores para los parámetros de importancia económica. La selección familiar es uno de los métodos más óptimos dentro de los programas de mejoramiento genético en comparación a la selección individual (López & Toro, 2007).

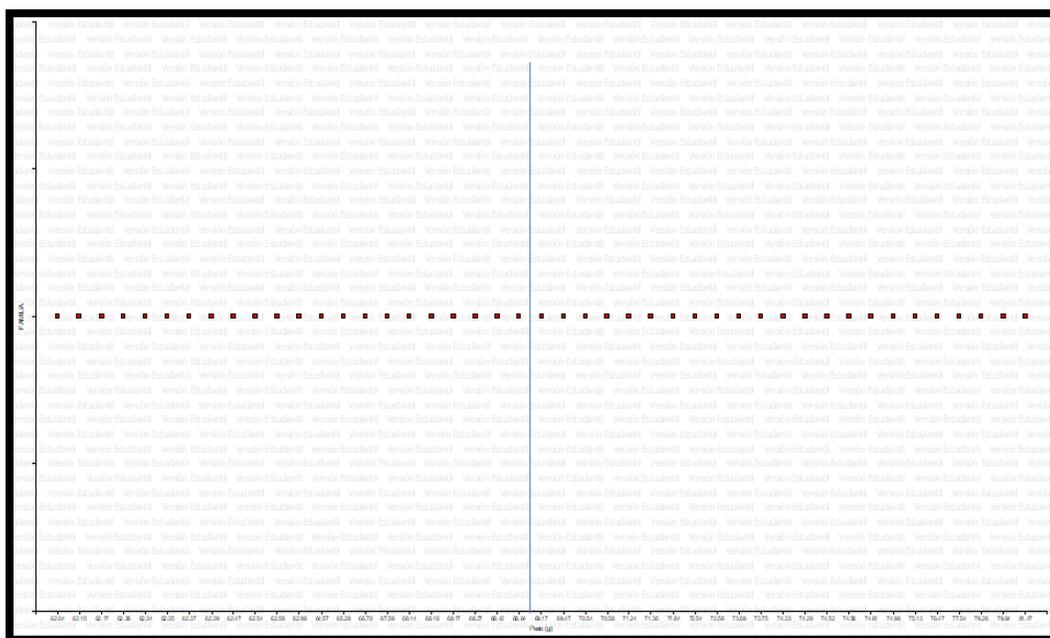
Análisis estadístico para la selección intrafamiliar de Truchas Arco iris

La selección intrafamiliar se llevó a cabo a los 300 días, esto con la finalidad de intensificar la selección, tomando en consideración que las 20 familias previamente interseleccionadas cuentan como subpoblaciones momentáneas y se llegara a seleccionar libremente dentro de cada una de estas. Al no contar con un sistema de identificación se llevó a cabo una selección visual de los animales que presentaban una mayor longitud y peso corporal, esta forma de selección está dada por los piscicultores quienes mantienen regularmente a los mejores 10 a 20 individuos de cada familia, al realizar una selección interfamiliar es posible que se llegue a conservar peces de menor tamaño que muchos que están descartado en otras familias (Tave, 1996). Cuando recurrimos a una selección intrafamiliar existe una causa que es posible ser controlada como la variación ambiental que afecta a su vez a la madurez sexual de la hembra o al momento del desove y estos efectos se evidencian a nivel familiar pero no a nivel individual (Pérez, 1996).

En la siguiente figura se muestra un diagrama de puntos, lo cuales se realizaron para cada una de las 20 familia F1 y poder llegar a realizar una selección intrafamiliar.

Figura 22.

Diagrama de puntos para la selección intrafamiliar “Familia 25” en función de la media poblacional.



Para la selección intrafamiliar se consideró el promedio de la masa corporal familiar que en este caso era 69.04 gramos para la familia 25, este procedimiento concuerda con investigaciones previas (Tave, 1996). Dichos escritos mencionan que se debe escoger a los individuos basándose en la media familiar, al no realizar este proceso una familia puede descartar peces que tengas cualidades notables y no alcanzan los valores límites para dicha familia. En la siguiente tabla se encuentra un resumen de los individuos seleccionados en base al método de selección intrafamiliar.

TABLA 18.

Media \pm desviación estándar del peso corporal (gramos) de las familias e individuos seleccionados de las familias f1 de trucha arcoíris del programa de mejora genética CENIAC-Papallacta.

FAMILIA	n total	Media \pm D.E. Selección		Media1 \pm D.E.
		interfamiliar	n seleccionada	Selección intrafamiliar
F1_02	48	78.51 \pm 16.41	18	81.47 \pm 6.24
F1_03	49	74.34 \pm 19.42	19	79.64 \pm 3.64
F1_04	46	76.31 \pm 14.37	16	81.25 \pm 8.12
F1_07	43	79.14 \pm 18.22	13	89.14 \pm 12.31
F1_101	47	75.05 \pm 13.42	17	84.65 \pm 5.61
F1_13	46	67.81 \pm 19.31	16	69.47 \pm 4.59
F1_24	45	61.23 \pm 14.52	15	72.54 \pm 7.84
F1_25	47	69.04 \pm 18.42	17	75.42 \pm 9.29
F1_28	49	67.97 \pm 15.53	19	71.35 \pm 3.21
F1_31	52	79.51 \pm 13.63	12	88.64 \pm 8.41
F1_52	43	73.73 \pm 19.31	13	80.43 \pm 8.61
F1_66	41	69.38 \pm 15.35	11	78.54 \pm 6.83
F1_71	48	64.84 \pm 16.03	18	84.24 \pm 8.35
F1_72	46	65.91 \pm 11.41	15	73.61 \pm 3.68
F1_75	49	74.56 \pm 16.23	9	81.15 \pm 8.64
F1_90	47	72.28 \pm 18.61	12	86.31 \pm 9.03
F1_93	50	63.56 \pm 16.07	20	66.59 \pm 12.37
F1_97	44	74.32 \pm 13.13	14	77.98 \pm 7.89
F1_99	40	71.83 \pm 16.63	10	81.65 \pm 14.82

Luego de culminar el proceso de selección intrafamiliar de las familias F1 de trucha arcoíris, de un total de 880 peces se escogió un total de 284 individuos con características sobresalientes, la media poblacional con respecto a la masa corporal fue de 79.16 ± 17.28 gramos y una media de 14 individuos por familia, los cuales formaron la población F1 del programa de mejoramiento genético CENIAC-Papallacta.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Por medio de la evaluación de los linajes F1 de Trucha Arco Iris en base a parámetros morfométricos y productivos se obtuvo una población base (F1) de 20 familias seleccionadas y un número total de 284 individuos.
- El análisis de Clúster Promedio (Average linkage) con distancias Euclídeas en base a la longitud (13.57 cm), masa corporal (69.70 gramos) e índice de condición corporal (2.10) nos dió un total de 6 grupos homogéneos o familias con características semejantes.
- Mediante la evaluación de los registros de las familias F1 de trucha arcoíris en base a parámetros de interés económico, desde los 10 días posterior a su eclosión hasta los 300 días, permitió escoger 20 familias con índice de condición corporal (ICC), longitud y peso promedio de 2.04, 15.36 y 71.54 gramos respectivamente.
- Al intensificar la selección por medio de la metodología de selección intrafamiliar se llegó a reducir el tamaño de la población a 284 peces de truchas arcoíris con los mejores potenciales productivos y morfométricos.

Recomendaciones

- Se debe dar seguimiento a los parámetros de interés económico de las familias F1 de trucha arcoíris hasta el periodo de reproducción en la nueva población base con el fin de valorar adecuadamente el potencial genético y minimizar el efecto del medio ambiente.
- Se debe implementar la tecnología de rastreo, para evitar la endogamia y optimizar la infraestructura, mejorando notablemente los criaderos comerciales, con la finalidad de llevar un registro y monitoreo constante desde edades tempranas.
- Se debería llevar a cabo un nuevo análisis de caracterización genética con marcadores moleculares de tipo microsatélite (SRR) y polimorfismo de nucleótido simple (SNPs), para poder determinar si las características de interés comercial han sido transmitidas a la siguiente generación (F1)

Bibliografía

- Aguirre, M. (2013). Recuperado 18 de enero de 2021, de https://www.observatorio-acuicultura.es/sites/default/files/images/adjuntos/libros/cuaderno_trucha_digital_web.pdf
- Avedaño, U. (2018). Acuicultura Continental (Dulceacuícolas) – Instituto Nacional de Pesca. <http://www.institutopesca.gob.ec/acuicultura-continental/>
- BIOINNOVA. (2016, mayo 28). Anatomía de un vertebrado: Trucha arcoíris. BIOINNOVA. <https://www.innovabiologia.com/biodiversidad/diversidad-animal/anatomia-oncorhynchus-mykiss/>
- Bustamante, P. I. (2008). Herramientas biotecnológicas en el cultivo de bivalvos. 10.
- Cardellino, R., & Rovira, J. (1987). Mejoramiento Genético Animal-Cardellino Rovira. Scribd. <https://es.scribd.com/doc/148999081/Mejoramiento-Genetico-Animal-Cardellino-Rovira>
- FAO. (2016). FAO Fisheries & Aquaculture—Programa de información de especies acuáticas—*Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792). http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oncorhynchus_mykiss/es
- FAO. (2017). FAO Fisheries & Aquaculture—Programa de información de especies acuáticas—*Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792). http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oncorhynchus_mykiss/es
- FAO. (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>
- Figueras, M. (2000). Estadística: «Introducción al Análisis Multivariante», por Manuel Salvador Figueras, profesor de la Universidad de Zaragoza. <http://www.ciberconta.unizar.es/leccion/anamul/inicio.html>
- FONDEPES. (s. f.). Recuperado 7 de enero de 2021, de <http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/389.pdf>

- Gacitúa, S., Oyarzún, C., & Veas, R. (2008). Análisis multivariado de la morfometría y merística del robalo *Eleginops maclovinus* (Cuvier, 1830). *Revista de biología marina y oceanografía*, 43(3), 491-500. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572008000300008>
- Gallardo, J. (2015). *Fundamentos de mejora genética de peces*. 26.
- Gallego, F. (2012). *Mejoramiento genético en acuicultura*.
<https://1library.co/document/z3dne39y-mejoramamiento-genetico-en-acuicultura.html>
- Hernández, M., & Aquino-Martínez, G. (2008). *Manual básico para el cultivo de trucha arco iris (Oncorhynchus mykiss)*. GEM, TIES Cuencas Sanas y Modos de Vida Sustentable Series de Manuales de Capacitación.
- Humphries, J. M., Bookstein, F. L., Chernoff, B., Smith, G. R., Elder, R. L., & Poss, S. G. (1981). Multivariate Discrimination by Shape in Relation to Size. *Systematic Biology*, 30(3), 291-308.
<https://doi.org/10.1093/sysbio/30.3.291>
- López, A. (2003). *Piscicultura y Acuarios: Vol. I (RIPALME)*.
- Martínez, Paulina. (2012). *Genómica y Acuicultura: Aplicaciones para la mejora de la producción de rodaballo*. 37, 16-19.
- Martínez, Paulino, & Figueras, A. (2007, julio 7). *Genética y Genómica en acuicultura [Text]*. Observatorio Español de Acuicultura. <https://www.observatorio-acuicultura.es/recursos/publicaciones/genetica-y-genomica-en-acuicultura>
- Mesa, M. N., & Botero, M. C. (2007). La cachama blanca (*Piaractus brachipomus*), una especie potencial para el mejoramiento genético. 20, 8.
- Mora, S., Uyaguari, M., & Osorio, V. (2009). *Situación Actual De Las Especies Introducidas En El Ecuador Con Fines Acuícolas*.
- Padrón, A. R. M., & La cruz, L. V. (2010). *ELEMENTOS PRÁCTICOS PARA LA CRÍA DE TRUCHAS EN VENEZUELA*. 12.

Palacio, F., Apodaca, M. J., & Crisci, J. (2020). ANÁLISIS MULTIVARIADO PARA DATOS

BIOLÓGICOS (1.ª ed.). VAZQUEZ MAZZINI EDITORES.

<https://fundacionazara.org.ar/img/libros/analisis-multivariado-para-datos-biologicos/analisis-multivariado-para-datos-biologicos.pdf>

Phillips, V. (2010). Manual Básico Para El Cultivo de Trucha Arco Iris-1 | Pescado | Virus. Scribd.

<https://es.scribd.com/doc/39395925/Manual-Basico-Para-El-Cultivo-de-Trucha-Arco-Iris-1>

Pineda S, H., Taborda A, M., & Hernández B, A. (2013). Selección por conformación de reproductores de tilapia roja *Oreochromis sp.*, mediante prueba de progenie. Revista MVZ

Córdoba, 3626-3632. <https://doi.org/10.21897/rmvz.128>

Rodeles, A. A., Galicia, D., & Miranda, R. (2017). Recommendations for monitoring freshwater fishes in river restoration plans: A wasted opportunity for assessing impact. Aquatic

Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 27(4), 880-885.

<https://doi.org/10.1002/aqc.2753>

Shapiro, S. S., Wilk, M. B., & Chen, M. H. J. (1968). A Comparative Study of Various Tests for Normality. Journal of the American Statistical Association, 63(324), 1343-1372.

<https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480932>

Sokal, R. R., & Rohlf. (1979). Biometría: Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica. Blume. Madrid.

Tave, D. (1996). Programas de cría selectiva para piscifactorías de tamaño medio.

<http://www.fao.org/3/v8720s/v8720S00.htm#TOC>

Tirados, S. P. T. (2001). La mejora genética animal en la segunda mitad del siglo xx. Archivos de Zootecnia, 50(192), 517-546.

Toro, M. A., Caballero, A., & Fernández, J. (2008). Mejora genética y gestión de poblaciones pequeñas. 104, 15.

UNNE. (2017). Herramientas Del Mejoramiento Genético | Gene | Selección natural. Scribd.

<https://es.scribd.com/document/134472090/Herramientas-Del-Mejoramiento-Genetico>

Valdivieso, 2018.pdf. (s. f.).

Enlace carpeta drive: [https://drive.google.com/drive/u/2/folders/1pS-](https://drive.google.com/drive/u/2/folders/1pS-cAYIFz8C9UmucNKTMSNhH9YZkyzzu)

[cAYIFz8C9UmucNKTMSNhH9YZkyzzu](https://drive.google.com/drive/u/2/folders/1pS-cAYIFz8C9UmucNKTMSNhH9YZkyzzu)