



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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 CIENCIAS DE LA VIDA Y DE 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 del 2022



Oncorhynchus mykiss

Familia: Salmonidae



**Introducida
en el Ecuador
en el año de
1932**



A partir de los años 80
fue introducida a Centro
América y gran parte de
Latinoamérica



- ❖ **Distribución:**
- Europa
 - Norte América
 - Chile
 - Japón y Australia



ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

Limitantes

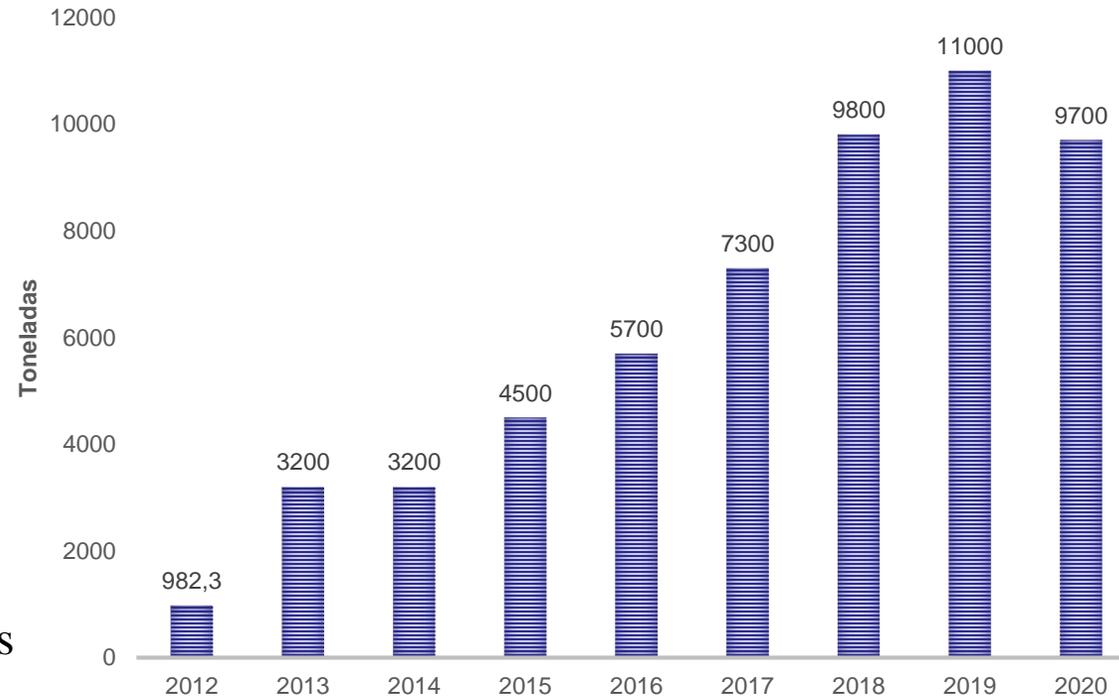
- Desarrollo tecnológico
- Manejo inapropiado del cultivo por falta de conocimiento



Importación de ovas: 45 millones

Importados: España, Chile, Estados Unidos, Finlandia, México

Producción Nacional de trucha arco iris



Fuente: FAO, 2020

Producción nacional de ovas:
10 millones



CENIAC



Impulsar actividad acuícola en la región
Andina

Generar fuentes de empleo



ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

Los alevines **no cumplen** con las características genético-productivas necesarias para ser competitivos con los alevines importados.

La producción de alevines del CENIAC no es suficiente para cubrir la demanda en crecimiento



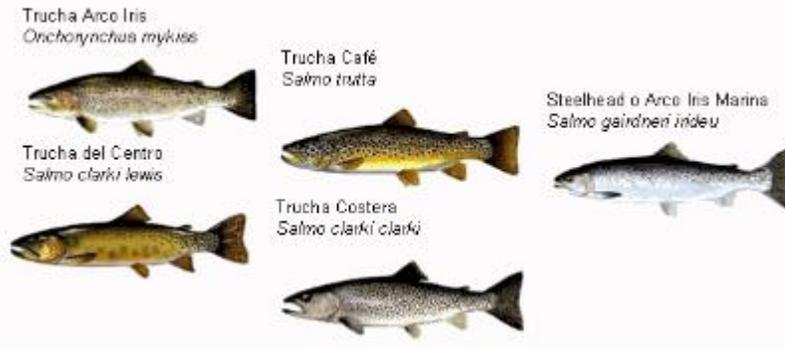
Poblaciones no uniformes



Problemática

- Cruzamientos no dirigidos
- Variabilidad genética
- Alevines de baja calidad

Nuevas Poblaciones



VARIETADES DE TRUCHAS

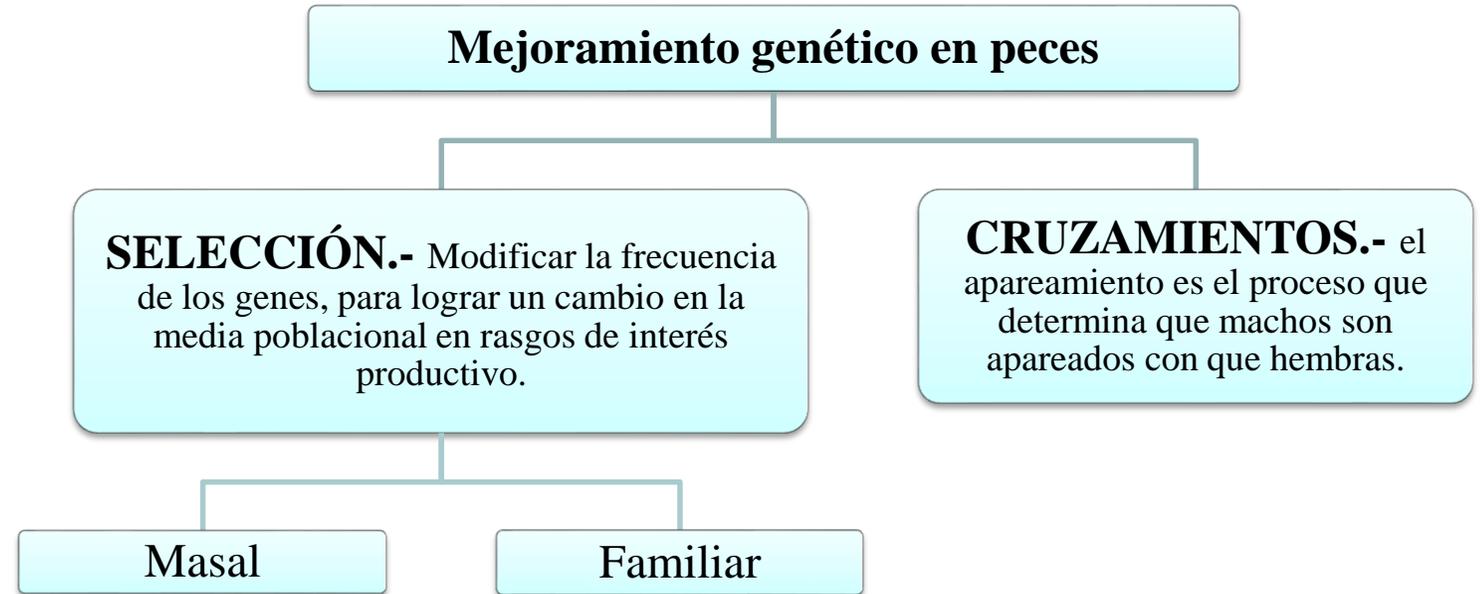


Carecen de un manejo eficaz debido a que las líneas de Trucha Arco Iris no se encuentran separadas e identificadas genéticamente



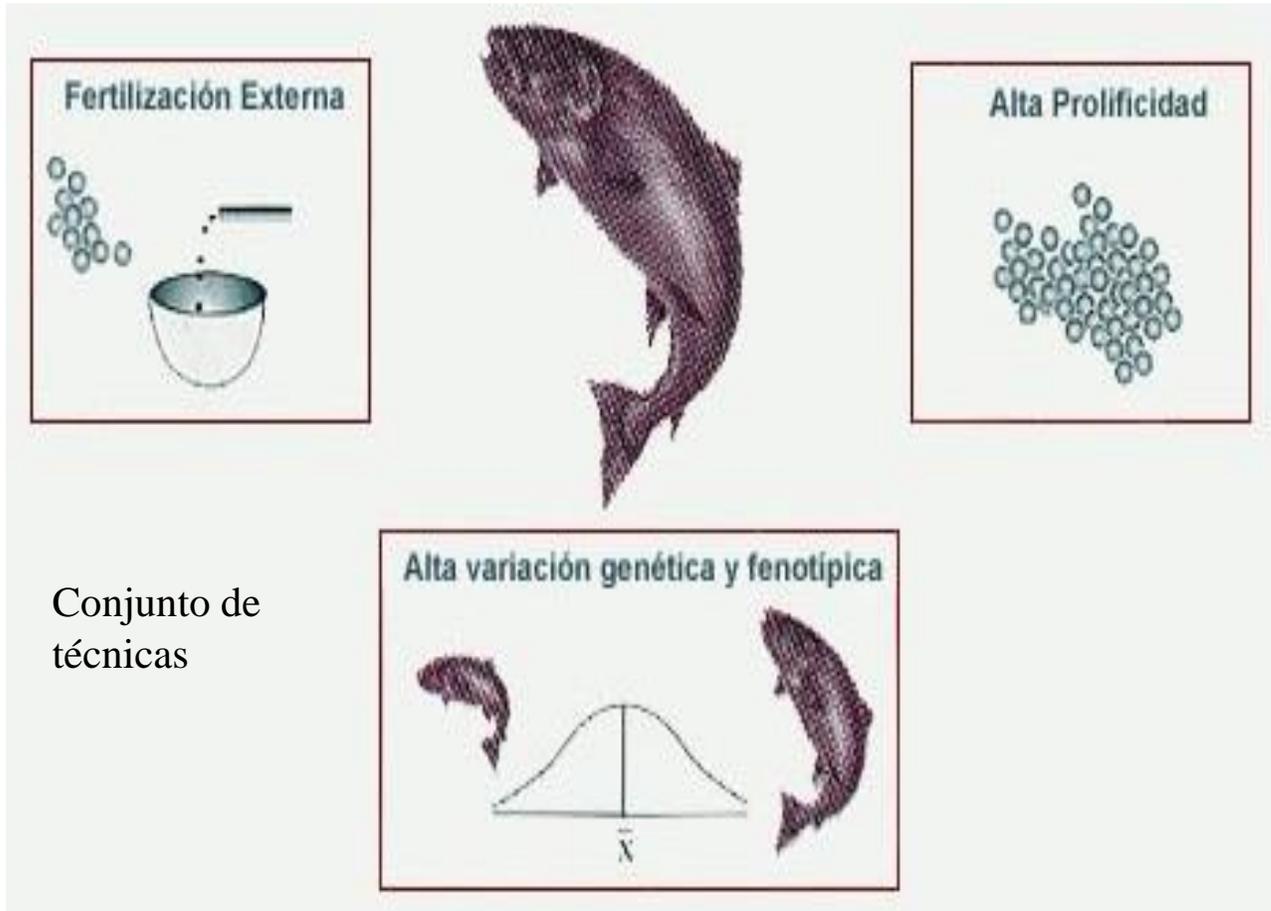
Estrategias de mejoramiento genético en peces

El mejoramiento genético involucra “técnicas y procedimientos de genética que permiten modificar caracteres biológicos (cualitativos o cuantitativos), de importancia económica, para mejorar la eficiencia de los sistemas productivos en la empresa” (Gallardo, 2015).

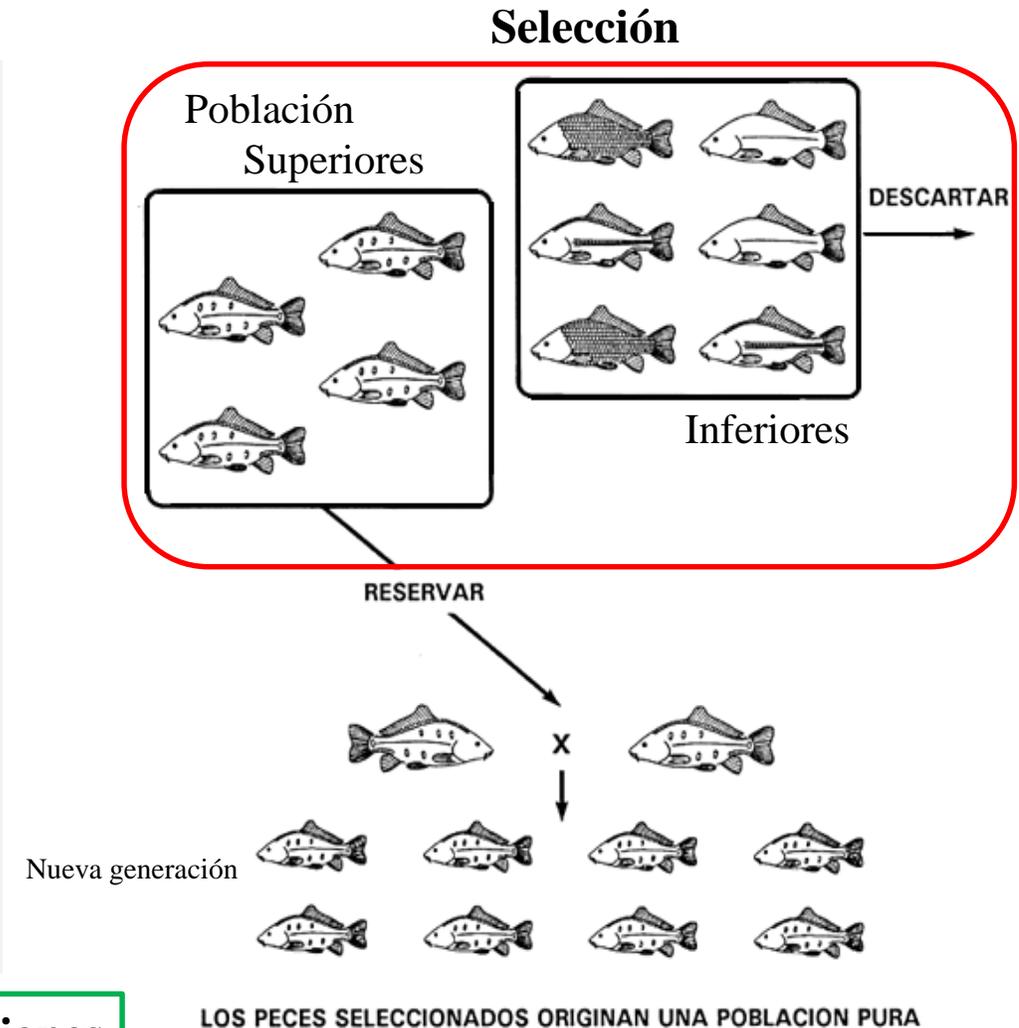


La selección combinada da como resultado respuestas genéticas más altas (evita consanguinidad y endogamia) porque se da el peso apropiado a las diferencias entre y dentro de las familias.

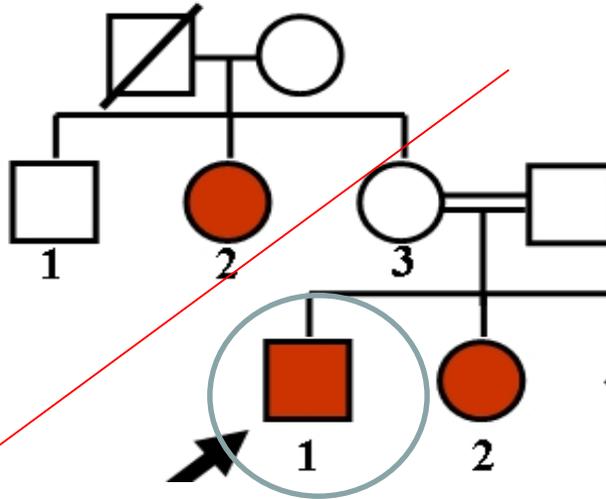
Sistemas de mejoramiento



Mayor frecuencia de los genes deseables, las combinaciones genéticas buenas sobresalen en las nuevas generaciones.



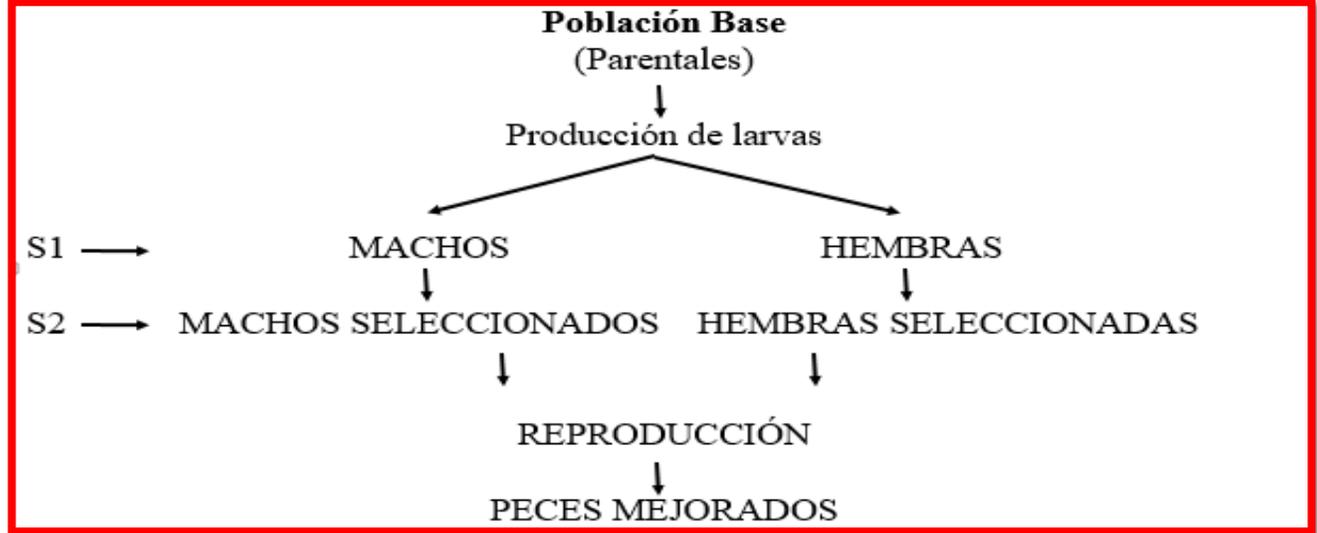
Selección Masal



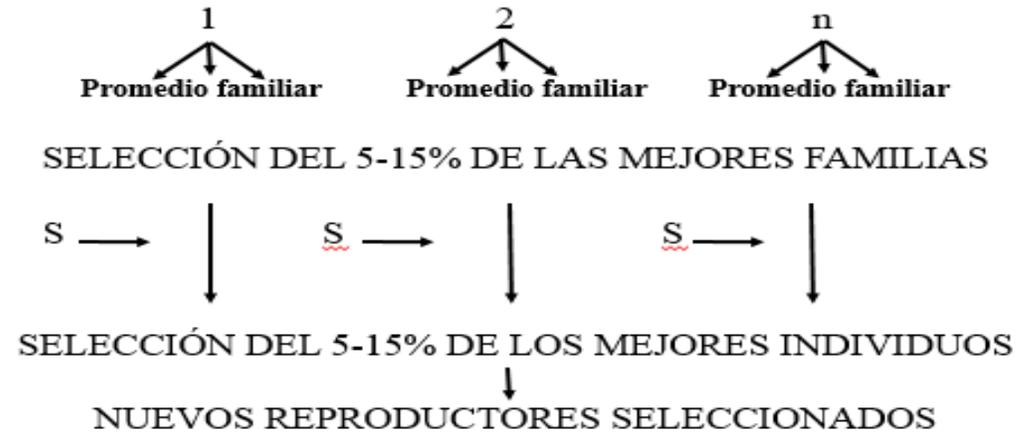
Selección interfamiliar

Selección familiar

Selección intrafamiliar



FAMILIAS



Programa de Mejora Genética orientado a la acuicultura a pequeña y mediana escala

CENIAC
Universidad de las Fuerzas Armadas
Universidad Católica de Valparaíso, Chile

Población total: 3000
1100 hembras (3 años - 45cm)
1900 machos (2-2.5 años - 35cm)
Fórmula para poblaciones finitas (4%): 80 reproductores

TAMAÑO MUESTRAL

TOMA DE MUESTRAS

Aleta dorsal (1 cm²).
Método poco invasivo.

EXTRACCIÓN Y EVALUACIÓN DE ADN

Método con alta concentración de sal.
Taggaari *et al.* (1992).

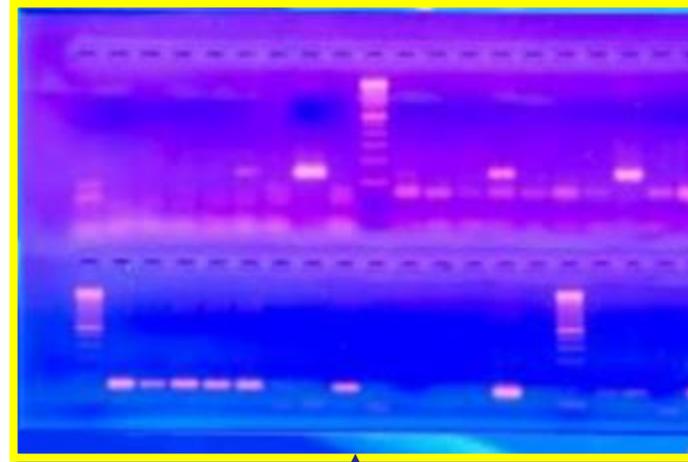
Evaluado en electroforesis horizontal (agarosa 1%).

CRUZAMIENTOS DIRIGIDOS

Amplificaciones macador ITS
(Internal untranscripter spacer)
White *et al.* (1990)

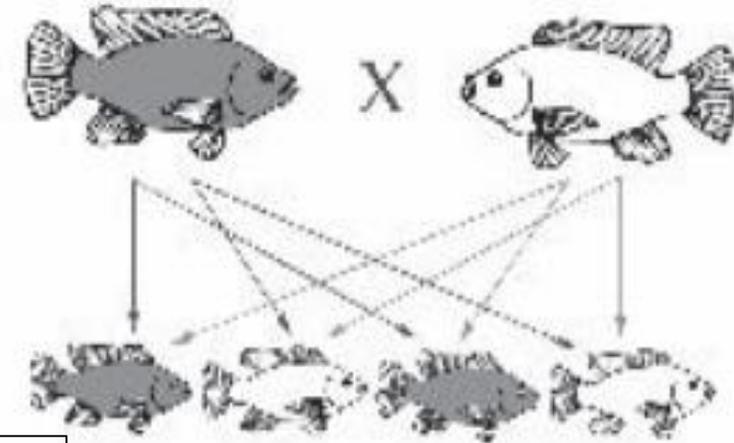
Calidad y cantidad de ADN extraído

Métodos de biología molecular



Análisis de productos PCR. Electroforesis vertical (poliacrilamida 6%, alta resolución para detectar variaciones en el tamaño de los alelos).

Cruzamientos dirigidos



45 familias

etapas de alevinaje e inicios de juvenil

28 familias

Población base de reproductores de alto potencial productivo

Diferentes tipo de identificación

- Disponibilidad de nuevas tecnologías de identificación individualizada

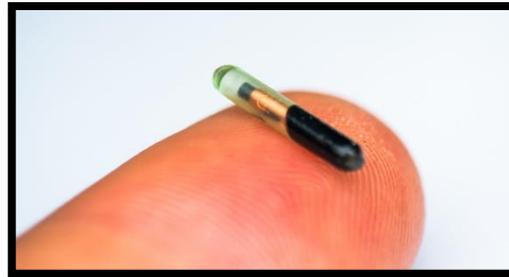
Etiquetas comunes



Aleta dorsal
Amarras de plástico



Microchips



Situados en la
cavidad peritoneal
o intramuscular

Lectores de fácil
uso.



Ubicado debajo
de la aleta dorsal,
para evitar que se
salga

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.



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

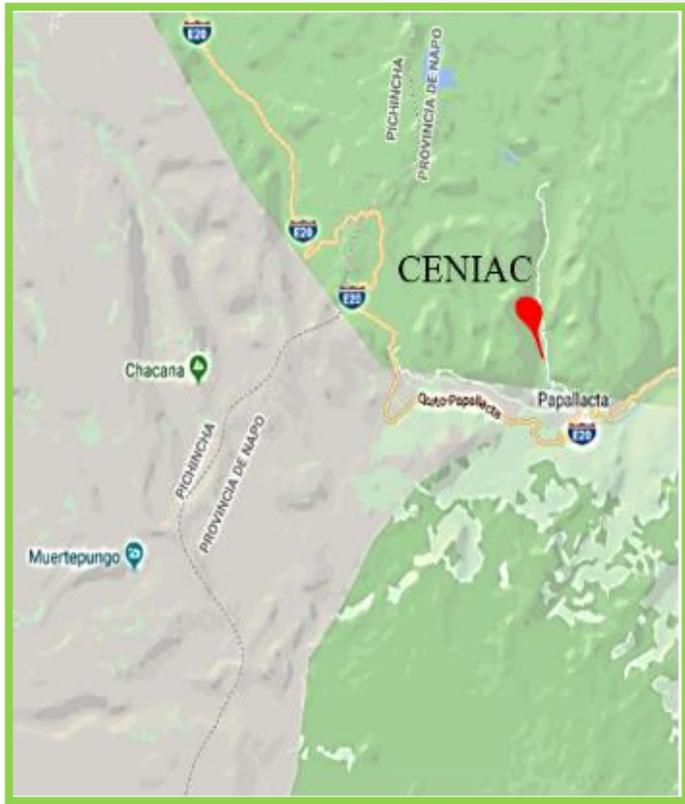
H₁: Entre los grupos familiares F1 de *Oncorhynchus mykiss* dentro del programa de mejora genética CENIAC-Papallacta, existen parámetros productivos que presentan diferencias estadísticas significativas a nivel inter e intrafamiliar.



Material es y Métodos



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Ubicación Política

Provincia: Napo
Cantón: Quijos
Parroquia: Papallacta



Ubicación Geográfica

Centro de
 investigaciones
 acuícolas CENIAC

Altitud	3000 m.s.n.m
Latitud	0°22'0.1" Sur
Longitud	78°0.7'58 " Oeste
Temp Me	10 °C
Precipitación anual	1560 mm



PROCESO REPRODUCTIVO

Solución con Eugenol (0,1ml/litro de agua), para anestesiar a los peces.

Desove hembra



Extracción gametos masculinos



Fecundación artificial



Lavado



Cámaras de incubación



Familias en estudio

Programa de Mejoramiento Genético CENIAC

Cruzas dirigidas

1 Macho por 3 Hembras

Produjeron 52 familias

Evaluidas para masa corporal y longitud por 300 días

Etapa de alevinaje e inicios de la etapa juvenil

Índice de condición corporal

20 Familias selección interfamiliar

880 individuos

objeto de selección intrafamiliar

Selección intrafamiliar

Diagrama de puntos para masa corporal

284 individuos

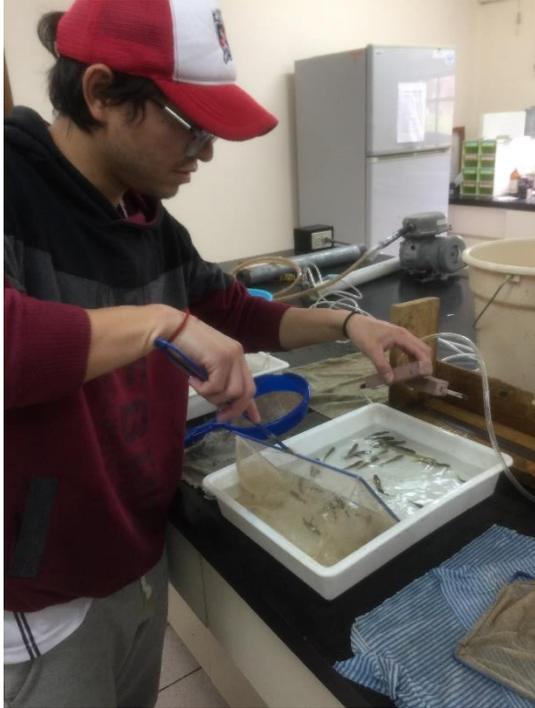


Seguimiento y mantenimiento de los familias



Medición de parámetros morfométricos

Registros desde el día 10 hasta el día 300



**CAPTURA DE
PECES**



**ANESTÉSICO
(EUGENOL)**



**MASA
CORPORAL Y
LONGITUD**



**FRECUENCIA
MUESTREO
CADA 30 DÍAS**



ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

Parámetros productivos

Masa corporal

$$P = \frac{\text{Peso Total (g)}}{\text{Número total de animales}}$$

$$L = \frac{\text{Longitud Total (cm)}}{\text{Número total de animales}}$$

Longitud



Índice de condición corporal

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

$$TCE = \frac{(\ln Pf - \ln Pi)}{tf - to} \times 100$$

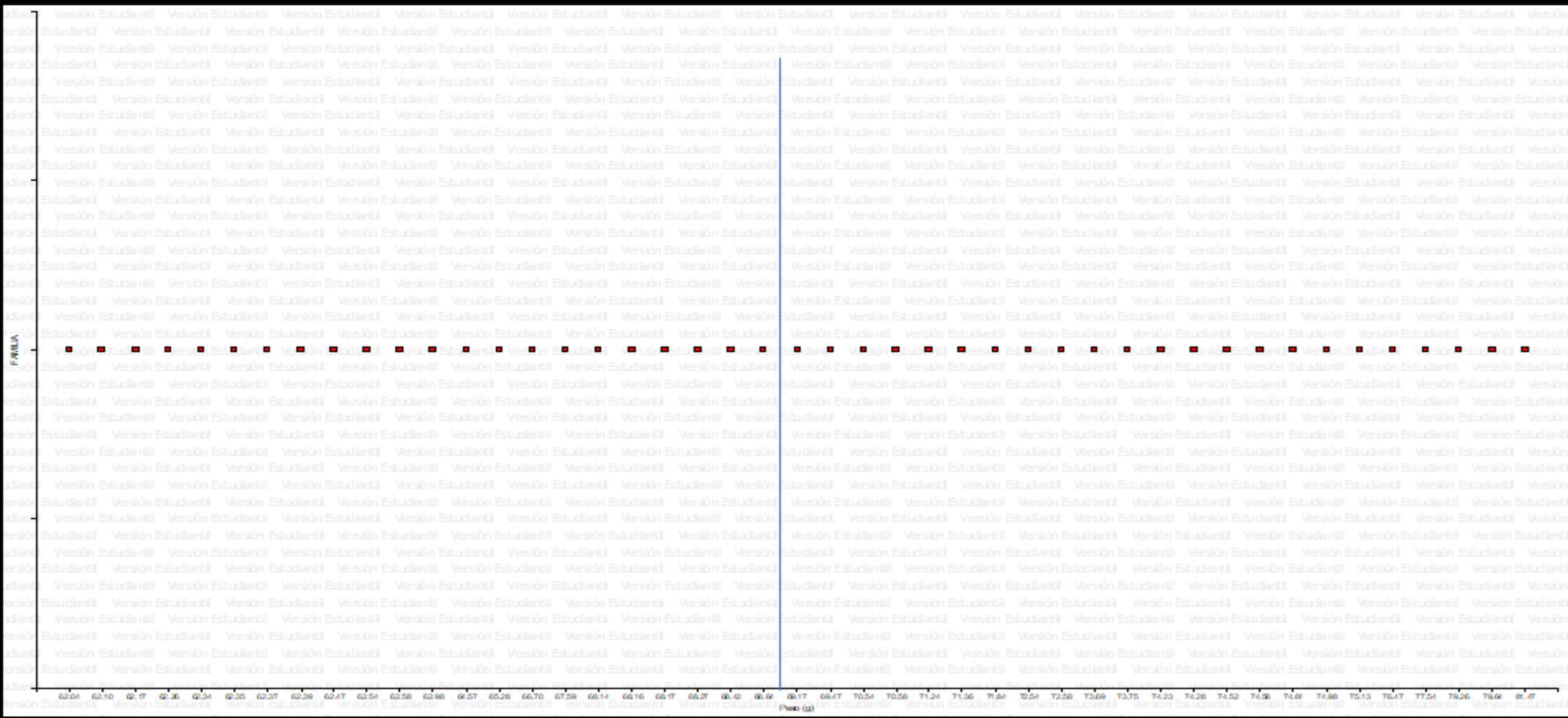
Tasa de crecimiento específico

Mortalidad

$$M = \frac{\text{No. final individuos}}{\text{No. inicial individuos}}$$



Diagrama de puntos para la intraselección familiar para la formación de la población base



RESULTADOS Y DISCUSIÓN



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Análisis de variables morfométricas

Masa corporal

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



Masa corporal núcleo Pailones

Familia	Media (g) \pm (SD)	Rango de variación (Min - Máx)	
2	242 \pm 41.49	189	315
3	218.28 \pm 38.82	143	286
8	194.9 \pm 44.04	120	255
9	200.58 \pm 41.81	126	261
10	228.58 \pm 27.33	198	281
13	200.29 \pm 35.03	137	251
17	203.67 \pm 37.23	150	261
19	189.07 \pm 48.73	59	259
20	201.81 \pm 42.36	119	265
26	177 \pm 30.14	136	237
27	190.36 \pm 32.85	135	239
28	192.79 \pm 46.66	122	287
38	190.6 \pm 37.86	115	260
39	166.31 \pm 53.4	73	242
42	198.93 \pm 33.18	165	261
43	187.44 \pm 27.92	145	240
47	196.33 \pm 28.75	144	250
48	210.18 \pm 35.27	158	280

Media poblacional 200.2 g

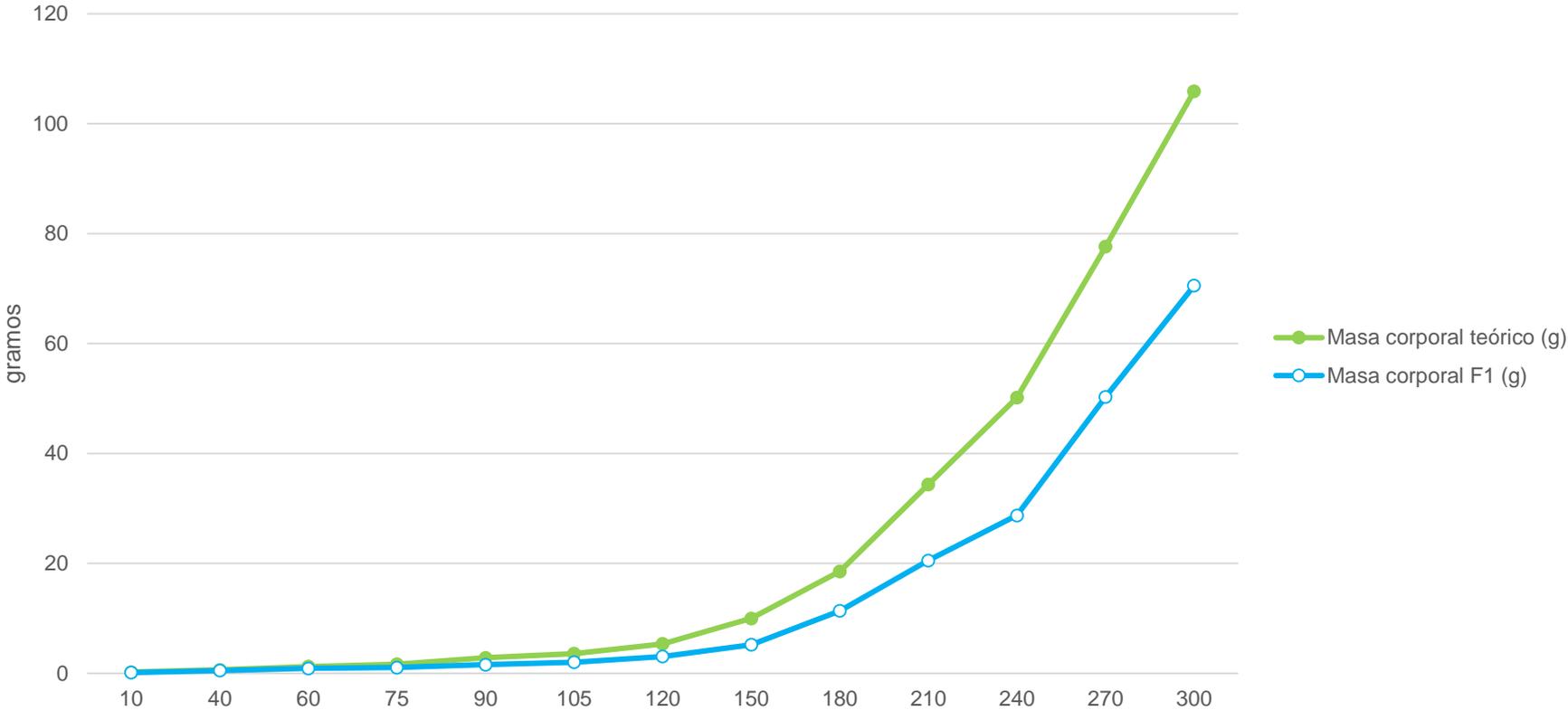
Masa corporal núcleo Papallacta

Familia	Media (g) \pm (SD)	Rango de variación (Min - Máx)	
2	227.45 \pm 36.23	170	280
5	208.63 \pm 51.91	130	300
10	228.35 \pm 35.44	170	305
19	206.65 \pm 27.17	155	270
23	182.75 \pm 20.8	140	214
25	226.3 \pm 24.71	170	277
28	178.9 \pm 23.8	120	220
32	216.35 \pm 31.53	145	266
43	185.75 \pm 23.11	140	250
50	198.75 \pm 25.62	155	241

Media poblacional 205.97 g



Curvas de crecimiento para la masa corporal promedio teórico y real de las familias de trucha arco iris



Núcleos Papallacta -33.41 %



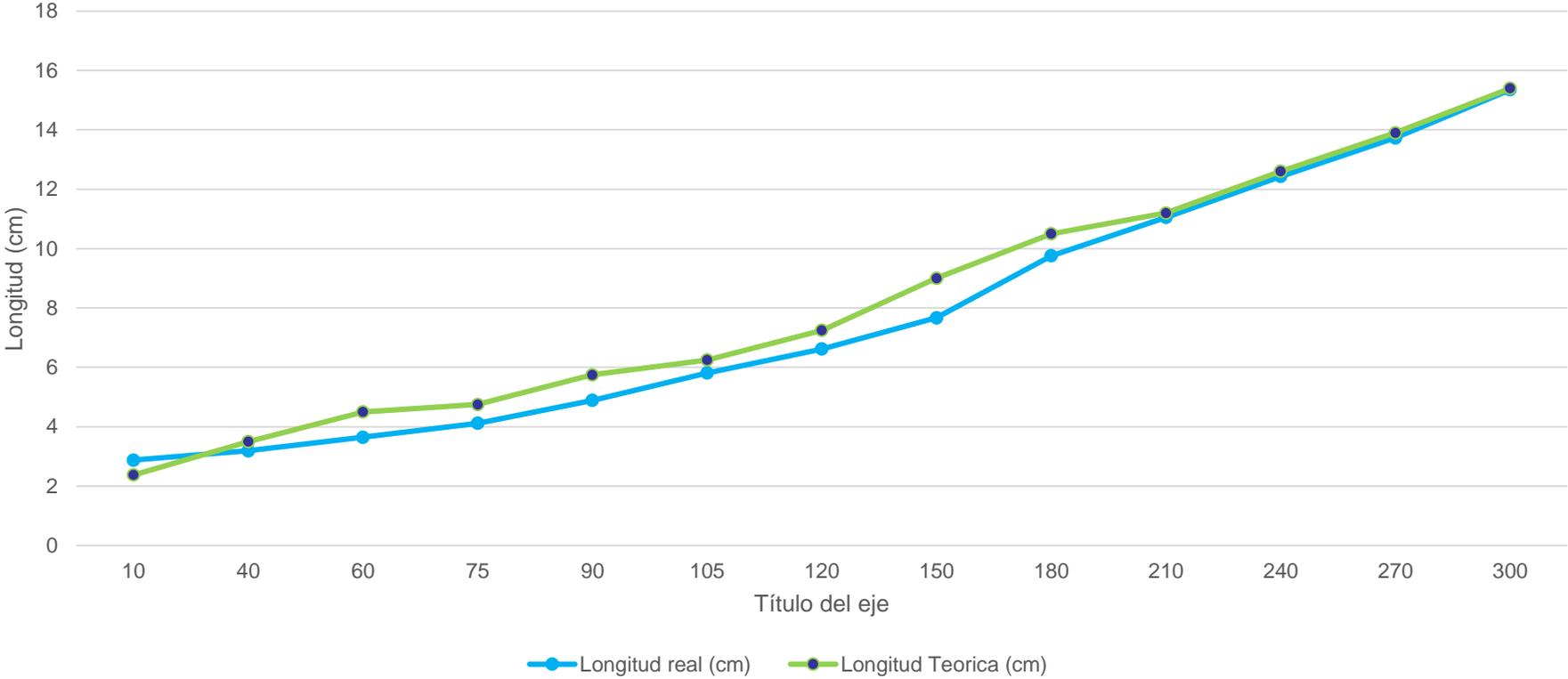
Longitud

Día	Media ± desviación estándar	p-valor
10	2.88 ± 0.25	<0.0001***
40	3.19 ± 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***

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



Curvas de crecimiento para la longitud promedio teórico y real de las familias de trucha arco iris de los núcleos



Variación 7.04%



Análisis de variables productivas

Índice de condición corporal (ICC)

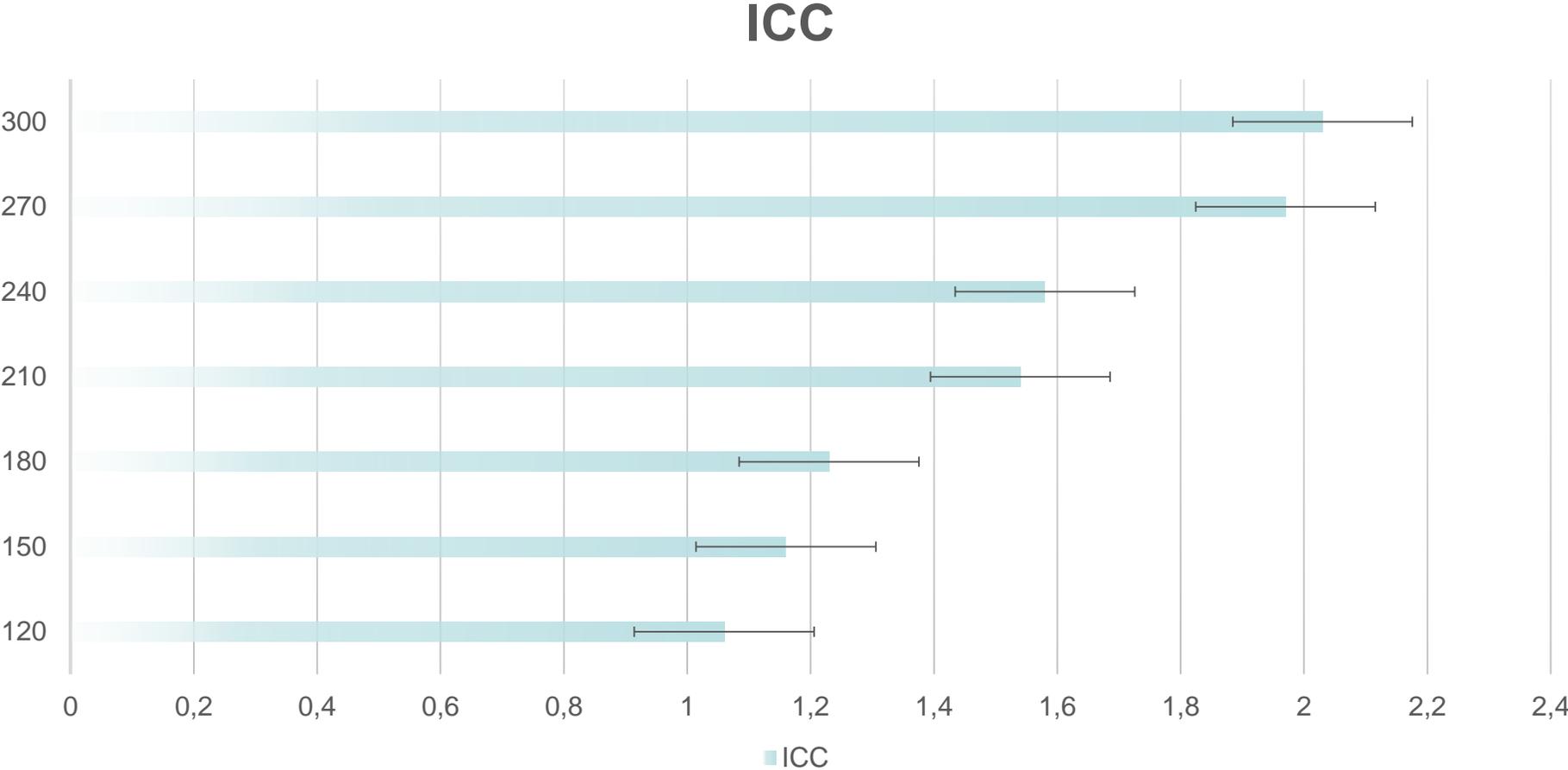
Medidas de dispersión	CENIAC-Papallacta ICC
N	2600
Promedio	1.51
Desviación estándar	0.21
CV (%)	10.37
Rango de variación (Min-Max)	1.06-2.03

Estándar	Valor K	Apariencia física
1	1.6	Excelente condición, pez tipo trofeo
2	1.4	Un pez apropiado, bien proporcionado
3	1.2	Un pez justo, de condición aceptable para muchos pescadores
4	1.0	Un pez pobre, largo y delgado
5	0.8	Pez extremadamente pobre, parecido a un Thyrsites atún; cabeza grande y cuerpo estrecho y delgado

Fuente: (Barnham & Baxter, 2003)



Curvas de crecimiento para la ICC real de las familias de trucha arco iris.



Tasas de crecimiento específico (TCE)

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***

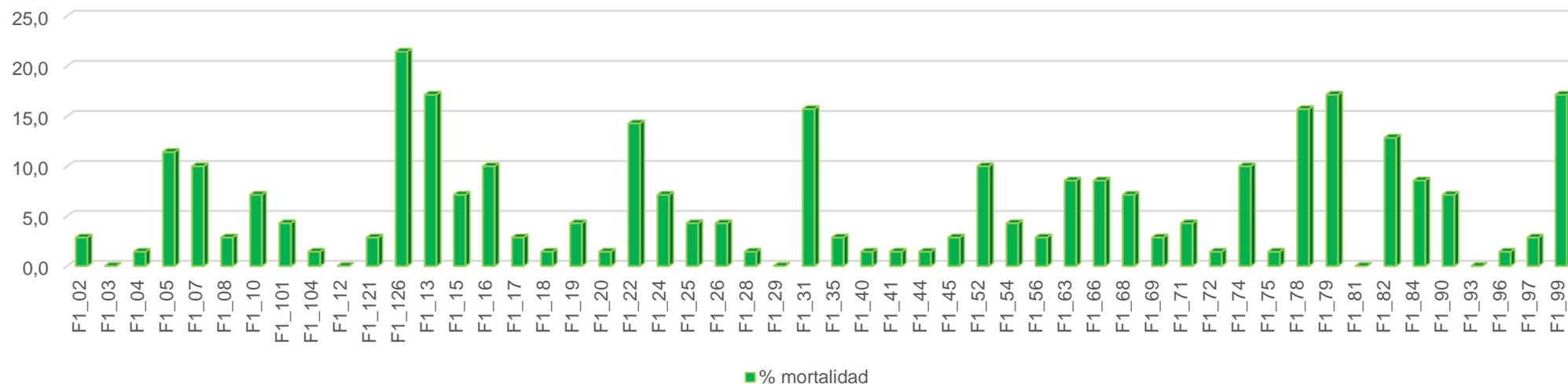
1.08%/día

Christiansen (2008), menciona 0.68-0.83 % /día



ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

Mortalidad



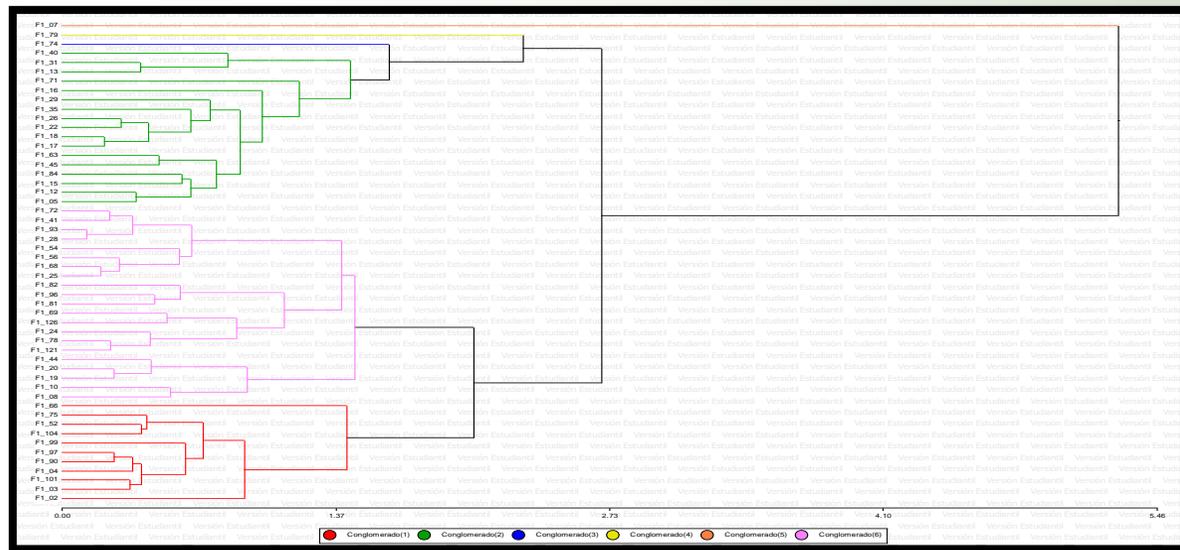
Tasa de mortalidad de las Familias F1 de Trucha Arco Iris

Familias con Mortalidad (Superada a lo aceptable)

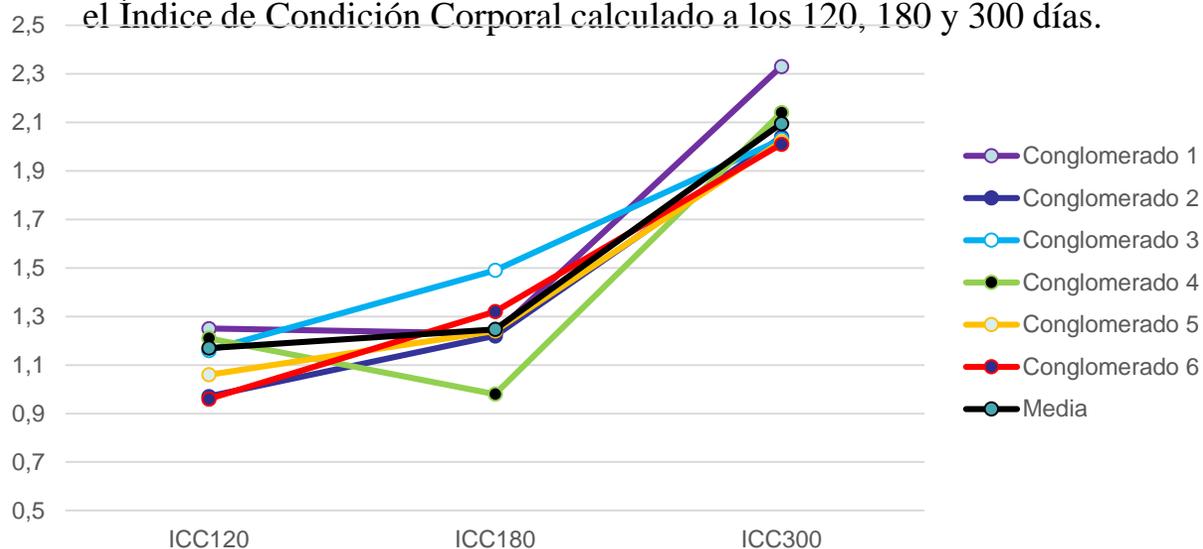
F1_05 (11.4%), F1_126 (21.4%), F1_13 (17.1%), F1_22 (14.3%), F1_31 (15.7%), F1_78 (15.7%), F1_82 (12.9%),
F1_99 (17.1%)

Las diferencias en la infraestructura, en el espacio físico y en la densidad animal de cada Familia fueron las causas principales de las elevadas tasas de mortalidad.

Selección interfamiliar- ICC



Dendrogramas (Análisis Clúster) a partir de la distancia Euclídea para el Índice de Condición Corporal calculado a los 120, 180 y 300 días.



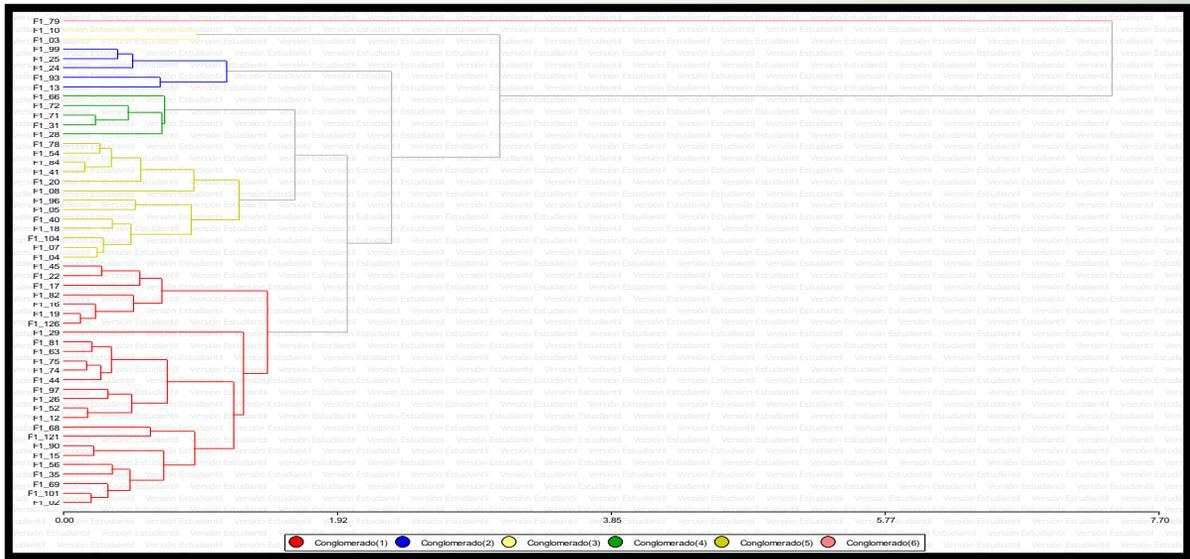
Análisis de la varianza multivariada para el Índice de Condición Corporal a los 120, 180 y 300 de las familias F1 de Trucha Arco Iris bajo el efecto de 6 conglomerados (Análisis Clúster).

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	

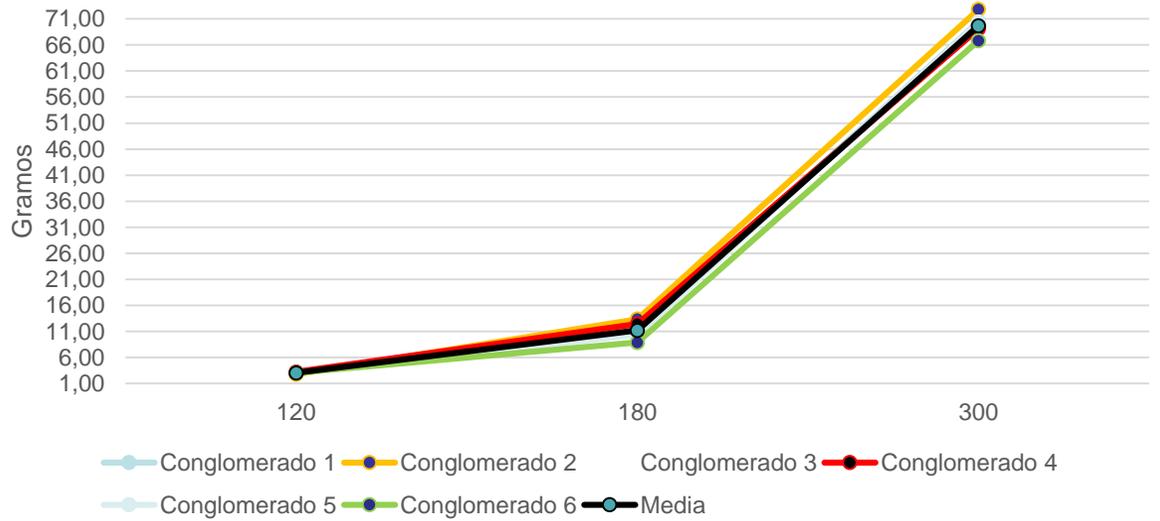
*Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$)



Selección de interfamiliar- Peso



Dendrogramas (Análisis Clúster) a partir de la distancia Euclídea para el peso a los 120, 180 y 300 días.



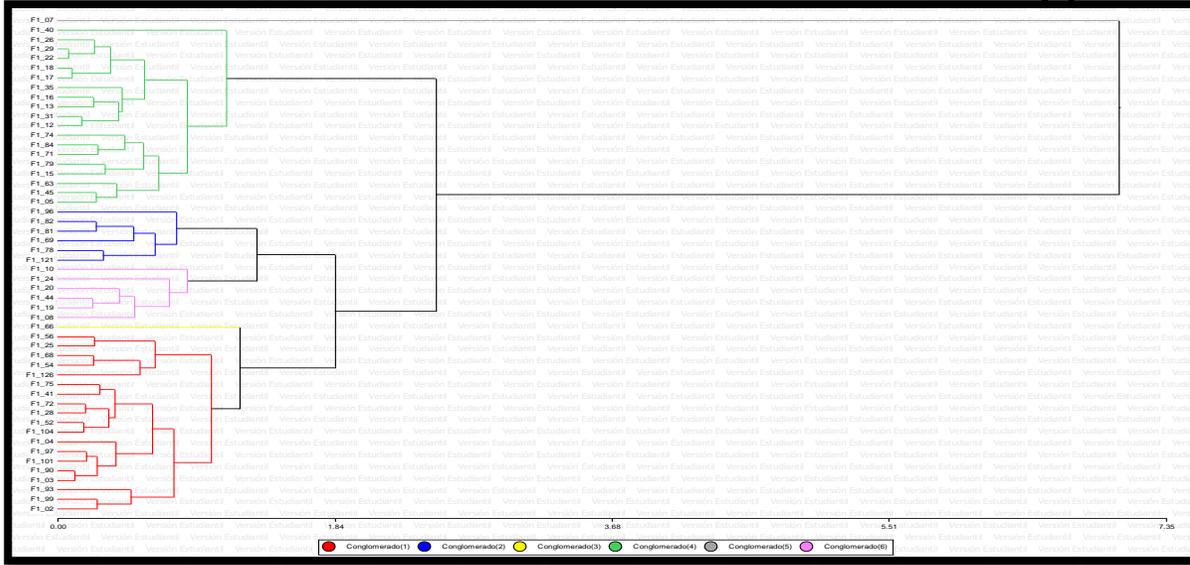
Análisis de la varianza multivariada para el Peso a los 120, 180 y 300 de las familias F1 de Trucha Arco Iris bajo el efecto de 6 conglomerados (Análisis Clúster).

Conglomerado	120	180	300	FAMILIA
C1	3.04	10.85	70.52	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)
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)
C5	2.98	10.34	70.39	F1_04, F1_05, F1_07, F1_08, F1_18, F1_20, 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	

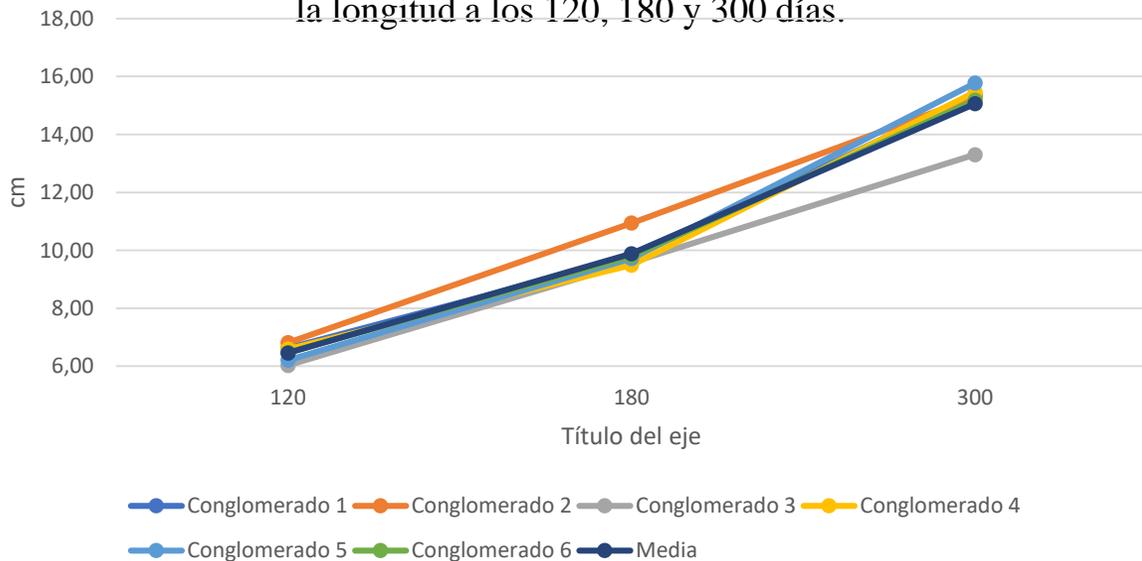


ESPE
 ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
 CAMINO A LA EXCELENCIA

Selección de interfamiliar- Longitud



Dendrogramas (Análisis Clúster) a partir de la distancia Euclídea para la longitud a los 120, 180 y 300 días.



Análisis de la varianza multivariada para la longitud a los 120, 180 y 300 de las familias F1 de Trucha Arco Iris bajo el efecto de 6 conglomerados (Análisis Clúster).

Conglomerado	120	180	300	FAMILIA
C1	6.62	9.76	15.35	F1_02, 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 una letra en común no son significativamente diferentes (p<0.05)



Familias seleccionadas

Selección inter-familiar de Trucha Arco Iris durante la presente investigación

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

Gallego (2010)

- Evita consanguinidad al permitir realizar apareamientos rotacionales entre las familias o los individuos con características superiores.

Gall & Huang (1998)

- Respuesta esperada por generación aumentó en un 1.07 y 1.35% para el peso, a una intensidad de selección del 20 y 10%

López & Toro (2007)

- Método más óptimo en comparación a la selección individual, pese la complejidad y alto costo de ejecución.



Selección intrafamiliar del núcleo Pailones

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

- F1 conformada por 284 individuos
- Media de la masa corporal 79.16 gramos
- Y un promedio de 14 individuos por familia



- 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 dios 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.



- 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)



¡Gracias!

Dr. Darwin Rueda (Director del proyecto)

Dr. Juan Ortiz (Director subrogante del proyecto)

Ing. Alejandro de la Roche (Director del CENIAC)

Dr. José Gallardo (Asesor internacional del Proyecto, Chile)

Ing. Gustavo Naranjo (Especialista análisis molecular)

Ing. Cristina Albán (Especialista biotecnología)

Ing. Margarita Rivera (Especialista manejo y reproducción)

Grupo de apoyo (Trabajadores CENIAC)



MINISTERIO
DE ACUACULTURA
Y PESCA



ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA