

**SELECCIÓN MASAL A FAVOR DE LAS CARACTERÍSTICAS FENOTÍPICAS
PESO Y LONGITUD EN TILAPIA ROJA (*Oreochromis sp*; Trewavas 1983)**

**HARVEY AMILKAR GUERRERO QUETAMA
YENIFER NATALY MONTENEGRO ORTIZ**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA EN PRODUCCIÓN ACUICOLA
PASTO, COLOMBIA
2012**

**SELECCIÓN MASAL A FAVOR DE LAS CARACTERÍSTICAS FENOTÍPICAS
PESO Y LONGITUD EN TILAPIA ROJA (*Oreochromis sp*; Trewavas 1983)**

**HARVEY AMILKAR GUERRERO QUETAMA
YENIFER NATALY MONTENEGRO ORTIZ**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero en Producción Acuícola**

**Director:
CARLOS ESPEJO GONZALEZ
Médico Veterinario Zootecnista
Msc, Nutrición Acuícola**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA EN PRODUCCIÓN ACUICOLA
PASTO, COLOMBIA
2012**

“Las ideas, conceptos, comentarios y conclusiones aportadas en la Tesis de Grado, son responsabilidad exclusiva de su autor”

Artículo 1° del acuerdo N°. 324 de octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Superior de la Universidad de Nariño.

NOTA DE ACEPTACIÓN:

CARLOS ESPEJO GONZALEZ.
Director de Trabajo de grado

WILMER RENE SANGUINO ORTIZ
Codirector de Trabajo de grado

CAROL YOVANNA ROSERO GALINDO
Jurado delegado

CARLOS SOLARTE PORTILLA
Jurado

San Juan de Pasto, Septiembre de 2012

DEDICATORIA

A Dios por regalarme la vida y el valor de salir adelante en medio de tanta adversidad, por ponerme en manos de una maravillosa mujer que ha sabido escucharme, entenderme y por ser una mamá ejemplar, a mi papi por tenerme tanta confianza y por hacer de mi una mujer valiente y segura de sí misma, a mi hermano Stiven por ser unos de mis mas grandes motivos de superación, a mis abuelitos Ángel y Pastora por todas sus oraciones y bendiciones, a mi abuelita Rosa que a pesar de no poder compartir con migo este triunfo me compañia desde el cielo, a Celeste por su compañía, a la familia Guerrero Quetama y a la familia Cultid Jurado por su colaboración y confianza y en especial a Diego porque a pesar de todo siempre estuvo presto a darme su apoyo incondicional.

Y como no agradecerle a mi compañero de tesis que fuera de eso se convirtió en una persona muy especial en mi vida, gracias por enseñarme, entenderme, soportarme y por permitirme compartir a tu lado momentos inolvidables, a mis amigas y amigos sin ustedes mi paso por la universidad no hubiese sido el mismo, gracias por estar ahí, en las buenas y en las malas.

JENIFER NATALY MONTENEGRO ORTIZ

DEDICATORIA

La energía que acompañó los caminos de esta etapa de mi vida DIOS, que me brindo la fuerza para intentar compensar todo el esfuerzo, paciencia y dedicación que mis amados padres han tenido conmigo y a quienes brindo mi vida en la búsqueda constante del agradecimiento eterno que debo tener con ellos, a mis hermanos quienes se convierten en el motivo que guía cada instante de mi existencia, a el resto de mi familia sobre todo a mis abuelos que desde el cielo me deben estar acompañando.

Especialmente a Jennifer quien se convertido en el pilar fundamental de este paso en mi vida, a quien le debo la fuerza y el apoyo en los momentos de debilidad, la constancia y la paciencia en los momentos de sosiego, la ternura y el sabio consejo en cualquier momento para brindar una sonrisa a pesar de las circunstancias y quien logro convertir una buena persona en alguien mejor de cara a las nuevas experiencias que nos brinde el destino y a todos mis verdaderos amigos parte fundamental de quien soy con quienes cuento y cuentan conmigo en cualquier circunstancia.

HARVEY AMILKAR GUERRERO QUETAMA

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

CARLOS ESPEJO GONZALEZ	M.V.Z, Director técnico operativo Acuacultura ITALCOL.
CARLOS SOLARTE PORTILLA	Zootecnista. M.Sc., Dr. Sc.
CAROL YOVANNA ROSERO G	Bióloga Genética. M.Sc., Dr. Sc.
OSCAR MARTINEZ	Zootecnista
HERNEL GIRALDO	Administrador de Empresas Agropecuarias Administrador granja San Marino
JORGE NELSON LOPEZ	M.V.Z. Director Programa de Ingeniería en Producción Acuícola
LUIS ALFONSO SOLARTE P.	Secretario Académico de la Facultad de Ciencias Pecuarias, Universidad de Nariño
DIEGO CULTID JURADO	Ing. Sanitario y ambiental. Esp.
DIANA SALAZAR	Ingeniera en Producción Acuícola
PIEDAD MEJÍA SANTACRUZ	Secretaria del Departamento de Recursos Hidrobiológicos, Universidad de Nariño
OSCAR MEJÍA SANTACRUZ	Auxiliar del Centro de Documentación Especializada del Departamento de Recursos Hidrobiológicos
FERNANDO GALLEGO	Genetista, docente UDCA
ALFONSO AGUDELO	Operario, estación piscícola Genipez

Al personal de la Granja piscícola Genipez San Mateo, y a todas las personas que en una u otra forma contribuyeron al desarrollo exitoso de esta investigación.

CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCION	
1 DEFINICIÓN Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	31
2 FORMULACION DE LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	32
3 OBJETIVOS	33
3.1 Objetivo general.	33
3.2 Objetivos específicos.	33
4 MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	34
4.1 Biología de la tilapia roja (Oreochromis sp.)	34
4.1.1 Clasificación taxonómica de la tilapia roja.	34
4.1.2 Generalidades de la especie.	35
4.1.2.1 Biología de la especie.	35
4.1.2.2 Características morfológicas.	36
4.1.2.3 Hábitos alimenticios. Alamilla,	36
4.1.2.4 Hábitos reproductivos.	36
4.1.2.5 Selección de reproductores.	37
4.1.2.6 Desarrollo embrionario.	38
4.1.3 Calidad de agua.	40
4.1.4 Métodos de incubación.	40
4.1.4.1 Incubación natural.	40
4.1.4.2 Incubación artificial..	41
4.1.5 Larvicultura.	41
4.1.6 Reproducción.	42
4.1.6.1 Siembra de reproductores.	42
4.1.6.2 Desove.	42
4.2 Consideraciones genéticas en el estudio de la tilapia roja (Oreochromis sp.)	43
4.2.1 Genética de poblaciones..	43
4.2.2 Variabilidad genética..	44
4.2.2.1 Fuerzas de evolución.	44

4.3	Conceptos utilizados en la genética de poblaciones	46
4.3.1	Concepto de población.	46
4.3.2	Frecuencia génica en poblaciones.	47
4.3.3	Tamaño de la población.	48
4.3.4	Apareamientos aleatorios.	48
4.3.5	Consanguinidad.	49
4.3.6	Estructura génica.	49
4.4	Selección masal.	49
4.4.1	Selección familiar.	52
4.4.2	Selección en masa.	52
4.4.3	Heredabilidad.	53
4.4.4	Correlaciones.	54
4.4.5	Adelanto genético.	54
4.4.6	Estudios realizados en selección masal.	55
4.4.7	Recirculación.	56
4.4.8	Troncos de apareamiento.	57
5	DISEÑO METODOLÓGICO	59
5.1	Localización y descripción del sitio	59
5.2	Periodo de estudio	60
5.3	Material biológico	61
5.4	Instalaciones	63
5.4.1	Estanques para padrotes.	64
5.4.2	Sala de incubación y larvicultura.	64
5.4.3	Estanques para larvas.	66
5.4.4	Materiales, equipos e insumos.	67
5.5	Plan de manejo	68
5.5.1	Adecuación de instalaciones.	68
5.5.1.1	Adecuación de estanques.	68
5.5.1.2	Selección de parentales.	69
5.5.1.3	Siembra de parentales.	71
5.5.1.4	Obtención de larvas de la primera generación (F1).	72
5.5.1.5	Levante de larvas..	74
5.5.1.6	Selección del 30% de los reproductores.	74
5.5.1.7	Distribución de los grupos de reproductores para la F2.	75

5.5.1.8	Obtención de larvas de la segunda generación (F2).	75
5.5.1.9	Sistema de incubación.	76
5.5.1.10	Sistema de recirculación.	76
5.5.1.11	Recolección de datos	78
5.5.1.12	Alimentación.	78
5.5.1.13	Muestreos.	79
5.5.1.14	Selección de los animales por peso y longitud.	80
5.5.1.15	Seguimiento de los parámetros fisicoquímicos del agua.	80
5.5.1.16	Tamaño de la muestra.	83
5.6	Diseño experimental y análisis estadístico.	84
5.6.1	Diseño experimental.	84
5.6.1.1	Grupos experimentales.	84
5.6.1.2	Comparación de los grupos.	85
5.6.1.3	Variables a evaluar.	85
5.6.2	Análisis genético evaluado.	87
5.6.2.1	Heredabilidad.	87
5.6.2.2	Varianza y covarianza	87
5.6.2.3	Correlación genética.	88
5.6.2.4	Correlación fenotípica.	88
5.6.2.5	Correlación ambiental.	89
5.6.3	Adelanto genético.	89
6	PRESENTACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	90
6.1	Estadística descriptiva para peso (P) y longitud (L).	90
6.1.1	Análisis de varianza para las variables peso (P) y longitud (L) en la generación uno.	91
6.1.2	Análisis de varianza para las variables peso (P) y longitud (L), generación dos.	95
6.2	Porcentaje de eclosión.	103
6.3	Supervivencia.	105
6.4	Análisis genético.	106
6.4.1	Parámetros genéticos.	106
6.4.1.1	Heredabilidad.	106
6.4.1.2	Correlaciones genéticas.	107
6.4.2	Adelanto genético.	111
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	113

7.1 Conclusiones	113
7.2 Recomendaciones.	114
BIBLIOGRAFIA	1144
ANEXOS	1147

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ejemplar de tilapia roja	34
Figura 2. Desarrollo del huevo fertilizado	40
Figura 3. Desarrollo del embrión y la larva	39
Figura 4. Localización de la Estación Piscícola Genipez-San Mateo.....	59
Figura 5. Estación Piscícola Genipez-San Mateo.....	60
Figura 6. Ejemplar macho de tilapia roja.....	62
Figura 7. Ejemplar hembra tilapia roja	62
Figura 8. Quebrada la Julia.....	63
Figura 9. Estanques para reproductores.....	64
Figura 10. Laboratorio de incubación y larvicultura.....	65
Figura 11. Incubadoras tipo Mc Donald.	65
Figura 12. Bandejas de reabsorción de saco vitelino.....	66
Figura 13. Estanque para el levante de tilapia roja.	66
Figura 14. Remoción de lodos y nivelación del fondo del estanque	68
Figura 15. División de los estanques para unidades experimentales	69
Figura 16. Unidades experimentales	69
Figura 17. Selección cerrada de los parentales.	70
Figura 18. Ejemplar seleccionado.....	70
Figura 19. Siembra de los parentales del grupo testigo y grupo selección.	71
Figura 20. Cosecha de primeros reproductores.....	72

Figura 21. Toma de morfometria y de peso de los padres y madres	72
Figura 22. Lavado de huevos en laboratorio de incubación.....	73
Figura 23. Siembra de huevos en la incubadora.....	73
Figura 24. Levante de alevinos en hapas.	74
Figura 25. Cosecha de los huevos de la F2.....	75
Figura 26. Reactor de pantalla y filtro biológico.	76
Figura 27. Tanque de calentamiento.	77
Figura 28. Mesa de incubación.	78
Figura 29. Alimentación al voleo en alevinaje.....	79
Figura 30. Toma de parámetros morfométricos.	80
Figura 31. Toma de parámetros en etapa de incubación.....	81
Figura 32. Toma de parámetros fisicoquímicos en estanque e incubación	81

LISTA DE GRAFICAS

Pág.

Grafica 1. Comportamiento de la Temperatura en las diferentes etapas de desarrollo	82
Grafica 2. Comportamiento del Oxigeno en las diferentes etapas de desarrollo ..	83
Grafica 3. Comportamiento de la Temperatura en las diferentes etapas de desarrollo	83
Grafica 4. Progenie uno, peso para el muestreo uno en los dos grupos	92
Grafica 5. Progenie uno, longitud para el muestreo uno en los dos grupos.....	92
Grafica 6. Progenie uno, peso para el muestreo cuatro en los dos grupos	93
Grafica 7. Progenie uno longitud para el muestreo cuatro en los dos grupos.....	93
Grafica 8. Progenie uno, peso para el muestreo ocho en los dos grupos.....	94
Grafica 9. Progenie uno, longitud para el muestreo ocho en los dos grupos	94
Grafica 10. Progenie dos, madre uno, peso para el muestreo uno en los dos grupos.....	95
Grafica 11. Progenie dos, madre uno longitud, para el muestreo uno en los dos grupos.....	96
Grafica 12. Progenie dos, madre dos peso para el muestreo uno en los dos grupos.....	96
Grafica 13. Progenie dos, madre dos longitud para el muestreo uno en los dos grupos.....	97
Grafica 14. Progenie dos, madre uno, peso para el muestreo cuatro en los dos grupos.....	98
Grafica 15. Progenie dos, madre uno longitud para el muestreo cuatro en los dos grupos.....	98

Grafica 16. Progenie dos, madre dos peso, para el muestreo cuatro en los dos grupos.....	99
Grafica 17. Progenie dos, madre dos longitud para el muestreo cuatro en los dos grupos.....	99
Grafica 18. Progenie dos, madre uno peso para el muestreo ocho en los dos grupos.....	100
Grafica 19. Progenie dos, madre uno longitud para el muestreo ocho en los dos grupos.....	101
Grafica 20. Progenie dos, madre dos peso para el muestreo en los dos grupos	101
Grafica 21. Progenie dos, madre dos longitud para el muestreo en los dos grupos	102
Grafica 22. Porcentaje de eclosión para la progenie uno en los dos grupos	104
Grafica 23. Porcentaje de eclosión de los tratamientos progenie dos.	104
Grafica 24. Porcentaje de sobrevivencia en toda la etapa de investigación	105

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características de la maduración sexual de la tilapia.	37
Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos adecuados para el cultivo de tilapia roja (Oreochromis sp)	40
Tabla 3. Índices de herencia de ganancia de peso en diferentes especies piscícolas.	50
Tabla 4. Promedio de los parámetros fisicoquímicos del agua de la quebrada La Julia.	63
Tabla 5. Materiales utilizados en el ensayo	67
Tabla 6. Equipos utilizados en el ensayo.	67
Tabla 7. Insumos utilizados en este ensayo.	68
Tabla 8. Parámetros nutricionales del balanceado para reproductores.	78
Tabla 9. Parámetros nutricionales del balanceado para larvas y alevinos.	79

LISTA DE CUADROS

Pág.

Cuadro 1. Distribución del tamaño de muestra para cada muestreo.	84
Cuadro 2. Estadística descriptiva de las variables fenotípicas peso (P) y longitud (L), en los muestreos 1, 4 y 8 en la generación uno.	90
Cuadro 3. Estadística descriptiva de las variables fenotípicas peso (P) y longitud (L), en los muestreos 1, 4 y 8, para la generación dos.	90
Cuadro 4. Valores de heredabilidad y error estándar para las características evaluadas en padres para el grupo testigo en Tilapia Roja (<i>oreochromis sp</i>).	106
Cuadro 5. Valores de heredabilidad y error estándar para las características evaluadas en padres para el grupo selección en Tilapia Roja (<i>oreochromis sp</i>).	106
Cuadro 6. Análisis de covarianza para determinar la correlación entre peso y longitud, padres grupo testigo.	107
Cuadro 7. Análisis de varianza para determinar la correlación entre peso y longitud, padres grupo testigo.	108
Cuadro 8. Análisis de varianza para determinar la correlación entre peso y longitud, padres grupo testigo.	108
Cuadro 9. Análisis de covarianza para determinar la correlación entre peso y longitud, padres grupo selección.	109
Cuadro 10. Análisis de varianza para determinar la correlación entre peso y longitud, padres grupo selección.	109
Cuadro 11. Análisis de varianza para determinar la correlación entre peso y longitud, padres grupo selección.	109
Cuadro 12. Adelanto genético para las variables peso (P) y longitud (L)	111

LISTA DE ANEXOS

	Pag.
Anexo 1. Registro de parámetros físico químicos, en las fases Descanso, Siembra, Cosecha, Incubación, Larvicultura, Alevinaje.	119
Anexo 2. Mortalidad durante la investigación	120
Anexo 3. Estadística descriptiva para la variable fenotípica peso (P) en la progenie uno grupo testigo.	120
Anexo 4. Estadística descriptiva para la variable fenotípica longitud (L) en la progenie uno grupo testigo.	121
Anexo 5. Estadística descriptiva para la variable fenotípica peso (P) en la progenie uno grupo selección.	121
Anexo 6. Estadística descriptiva para la variable fenotípica longitud (L) en la progenie uno, grupo selección.	122
Anexo 7. Estadística descriptiva de las variables fenotípica peso (P) en la progenie dos, grupo testigo madre uno.	122
Anexo 8. Estadística descriptiva de la variable fenotípica longitud (L) en la progenie dos, grupo testigo madre uno.	123
Anexo 9. Estadística descriptiva de la variable fenotípica peso (P) en la progenie dos, grupo selección, madre uno.	123
Anexo 10. Estadística descriptiva de la variable fenotípica longitud (L) en la progenie dos, grupo selección, madre uno.	124
Anexo 11. Estadística descriptiva de la variable fenotípica peso (P) en la progenie dos, grupo testigo, madre dos.	124
Anexo 12. Estadística descriptiva de la variable fenotípica longitud (L) en la progenie dos, grupo testigo, madre dos.	125
Anexo 13. Estadística descriptiva de la variable fenotípica peso (P) en la progenie dos, grupo selección, madre dos.	125

Anexo 14. Estadística descriptiva de la variable fenotípica longitud (L) en la progenie dos, grupo selección, madre dos.	126
Anexo 15. Análisis de varianza para peso (P) en la generación uno, muestreo uno.	127
Anexo 16. Análisis de varianza para peso (P) en la generación uno, muestreo cuatro.	127
Anexo 17. Análisis de varianza para peso (P) en la generación uno, muestreo ocho.	128
Anexo 18. Comparaciones múltiples para la variable peso entre GT y GS, generación uno: 95,0 porcentaje HSD de Tukey	128
Anexo 19. Análisis de varianza para longitud (L) en la generación uno, muestreo ocho.	128
Anexo 20. Comparaciones múltiples para la variable Longitud (L) entre GT y GS, generación uno: 95,0 porcentaje HSD de Tukey	129
Anexo 21. Análisis de varianza para peso (P) en la generación dos, muestreo uno, progenie madre uno.	129
Anexo 22. Análisis de varianza para longitud (L) en la generación dos, muestreo uno, progenie madre uno.	129
Anexo 23. Análisis de varianza para peso (P) en la generación dos, muestreo cuatro, progenie madre uno.	130
Anexo 24. Comparaciones múltiples para la variable peso entre GT y GS, generación dos: 95,0 porcentaje HSD de Tukey	130
Anexo 25. Análisis de varianza para longitud (L) en la generación dos, muestreo cuatro, progenie madre uno.	130
Anexo 26. Comparaciones múltiples para la variable Longitud (L) entre GT y GS, generación dos: 95,0 porcentaje HSD de Tukey	131
Anexo 27. Análisis de varianza para peso (P) en la generación dos, muestreo ocho, progenie madre uno.	131
Anexo 28. Comparaciones múltiples para la variable peso entre GT y GS, generación dos: 95,0 porcentaje HSD de Tukey	131

Anexo 29. Análisis de varianza para longitud (L) en la generación dos, muestreo ocho, progenie madre uno.	132
Anexo 30. Comparaciones múltiples para la variable Longitud (L) entre GT y GS, generación dos: 95,0 porcentaje HSD de Tukey	132
Anexo 31. Análisis de varianza para peso (P) en la generación dos, muestreo uno, progenie madre dos.	132
Anexo 32. Análisis de varianza para longitud (L) en la generación dos, muestreo uno, progenie madre dos.	133
Anexo 33. Análisis de varianza para peso (P) en la generación dos, muestreo cuatro, progenie madre dos.	133
Anexo 34. Comparaciones múltiples para la variable peso entre GT y GS, generación dos: 95,0 porcentaje HSD de Tukey	133
Anexo 35. Análisis de varianza para longitud (L) en la generación dos, muestreo cuatro, progenie madre dos.	134
Anexo 36. Comparaciones múltiples para la variable longitud (L) entre GT y GS, generación dos: 95,0 porcentaje HSD de Tukey	134
Anexo 37. Análisis de varianza para peso (P) en la generación dos, muestreo ocho, progenie madre dos.	135
Anexo 38. Comparaciones múltiples para la variable peso entre GT y GS, generación dos: 95,0 porcentaje HSD de Tukey	135
Anexo 39. Análisis de varianza para longitud (L) en la generación dos, muestreo ocho, progenie madre dos.	135
Anexo 40. Comparaciones múltiples para la variable longitud (L) entre GT y GS, generación dos: 95,0 porcentaje HSD de Tukey	136
Anexo 41. Análisis de varianza para porcentaje de eclosión generación uno.	136
Anexo 42. Análisis de varianza para porcentaje de eclosión generación dos.....	136
Anexo 43. Análisis de varianza para supervivencia generación uno.	137
Anexo 44. Análisis de varianza para supervivencia generación dos.....	137

GLOSARIO

ALELOS: son formas alternativas de un gen que se hallan en el mismo locus de cromosomas homólogos. Los alelos se segregan durante la meiosis y el hijo sólo recibe uno de cada par de alelos de cada progenitor.

ALEVINO: crías de peces después de reabsorber su saco vitelino y comenzar a alimentarse.

BANDEJAS DE REABSORCIÓN: recipientes de plástico, en los cuales se colocan las larvas recién eclosionadas y en donde acabarán de reabsorber su saco vitelino.

CODOMINANCIA: tipo de herencia en la cual un individuo con genotipo heterocigoto exhibe el fenotipo de dos alelos de un gen específico, por igual.

CUELLO DE BOTELLA: breve reducción del tamaño de una población que ocasiona, generalmente, deriva genética aleatoria.

ECLOSIÓN: momento en el cual la larva abandona el huevo o corión en el que se desarrolló, rompiendo éste y saliendo hacia el medio exterior.

EFEECTO ALEATORIO: es un componente de los datos el cual tiene un grado de aleatoriedad asociado a los mismos. Un efecto es aleatorio si los niveles elegidos para el experimento constituyen una muestra aleatoria de un grupo mayor de niveles susceptibles de ser utilizados.

EFEECTO FIJO: efecto que no tiene connotación aleatoria. Por ejemplo un efecto fijo puede ser el sexo, la edad, el hato. Un efecto es fijo si los niveles utilizados representan todos los niveles posibles del factor o si estos son los únicos niveles sobre los cuales se desea inferir.

EMBRIÓN: etapa inicial de desarrollo de las crías de peces, mientras se encuentran en el huevo.

FENOTIPO: conjunto de todos los caracteres manifiesto expresados por un organismo, sean o no hereditarios.

FRECUENCIA GÉNICA O ALÉLICA: proporción de copias de un gen en una población determinada.

GEN: unidad física y funcional del material hereditario que determina un carácter del individuo y se transmite de generación en generación. Su base material la

constituye una porción de cromosoma (locus) que codifica la información mediante secuencias de ADN.

GENOTIPO: constitución genética, de uno o más genes, de un organismo en relación a un rasgo hereditario específico o a un conjunto de ellos.

HAPAS: unidades productivas elaboradas en malla fina, que pueden ser suspendidas en el agua para el cultivo de los peces o manejar alevines de tilapia durante la etapa de su reversión sexual.

INCUBACIÓN BUCAL: tipo de incubación que corresponde a un comportamiento de cuidado de las crías, por parte de uno de los progenitores. Consiste en el acarreo de los huevos dentro de la boca, hasta el momento de la eclosión o incluso mucho tiempo después.

INCUBACIÓN ARTIFICIAL: término utilizado para describir la incubación de los huevos de los peces por métodos artificiales, como las incubadoras.

INCUBADORA Mc DONALD: recipiente cilíndrico con base redondeada, de flujo descendente, donde se colocan a incubar los huevos de tilapia roja, con condiciones ambientales que pueden ser regulados a niveles óptimos para su desarrollo y crecimiento.

INDUCCIÓN SEXUAL: proceso que consiste en adicionar o suministrar una hormona a los peces para obtener un género específico macho ó hembra, dependiendo de la especie a trabajar.

LARVA: primer estado juvenil de los peces o estado embrionario libre, capaz de vivir de manera independiente.

LOCUS (PI. LOCI): en genética, punto de un cromosoma ocupado por un gen.

MÉRITO GENÉTICO: o valor de cría, es la sumatoria de los efectos aditivos medios de todos los genes que un individuo recibe de sus padres.

MODELO ANIMAL: metodología que incluye un efecto aleatorio por cada mérito genético aditivo, o valor de cría de cada animal, para los animales con registro y los animales que son progenitores, incorporando toda la información de la progenie en el análisis, mediante la matriz genética de covarianzas, lo que incrementa la exactitud y la veracidad de los resultados.

SACO VITELINO: bolsa parecida a la placenta, llena de vitelo o reserva proteica del que se alimentan los embriones de los peces, durante la primera etapa de su desarrollo, ya que su aparato digestivo no se encuentra totalmente desarrollado para ingerir alimento exógeno.

SEXAJE: método para determinar el sexo de un animal.

VARIABLE ALEATORIA: valor real de una función de los resultados de un experimento. Por ejemplo en los modelos de mejoramiento animal, se supone que los animales son el producto de un muestreo aleatorio debido a que los 20 cromosomas segregan aleatoriamente al producir gametos y los gametos se unen aleatoriamente para producir un cigoto.

RESUMEN

El propósito de esta investigación fue realizar la selección de Tilapia roja (*Oreochromis sp.*) a favor de las características peso y longitud. Dado que en la actualidad el mercado exige alevinos de buenos fenotipos, se buscó implementar un lote de reproductores para evaluar las variables fenotípicas más importantes cuya progenie pueda satisfacer esta necesidad, con el fin de obtener animales que no sean rechazados comercialmente, logrando así resaltar estos rasgos. Para este estudio se utilizó doce hembras entre los 150 y 200 gr y cuatro machos entre 200 y 250 gr, para el grupo selección y para el grupo testigo se escogió al azar en la misma cantidad.

Este proyecto se realizó en la Estación Piscícola "Genipez San Mateo", que está ubicada en el centro occidente de Colombia, en el Departamento de Caldas, Municipio de Viterbo, vereda el Socorro, a 5°3' de latitud norte y 75°52' longitud oeste, con una temperatura promedio de 23°C y una altura de 1040 msnm durante un periodo de doce meses¹.

Para llevar a cabo el presente estudio se utilizó un diseño completamente al azar, con dos grupos experimentales. Cada uno tuvo cuatro réplicas conformadas por un macho y tres hembras, para un total de ocho padres y veinticuatro madres. Para el análisis de (co) varianza se aplicó el software especializado para el análisis estadístico SAS (Statistical Analysis System). Además, se realizó el cálculo de las correlaciones entre las variables a evaluar, heredabilidad y adelanto genético, el diseño se conformó por dos grupos experimentales organizados así: G1 testigo o control, que se dividió en cuatro unidades de investigación, y G2 grupo de selección, el cual se dividió en igual número de unidades experimentales, en dos generaciones.

Posteriormente, se seleccionaron de la estación los reproductores para obtener los huevos que fueron llevados a incubación y a partir de su desarrollo embrionario el estudio comprendió la etapa de levante de los alevinos (f1), en estanques dentro de invernaderos hasta alcanzar los 30 días, se escogió por peso y talla al 30% los animales con las mejores condiciones fenotípicas dentro del grupo, se realizó sexaje para separar machos de hembras, conservando cuatro repeticiones por grupo y se procedió a la selección y distribución de las familias. Cuando los animales alcanzaron los 60 gramos se seleccionó por peso y talla 5 a 10 % en machos y 10 a 15 % en hembras (grupo control y selección conservo igual número de individuos), los machos de una familia se aparearon con las hembras de otra, siguiendo la técnica de troncos de apareamiento y se evaluó el progreso genético entre los dos grupos.

¹ Gobierno En Línea del orden Territorial (GELT). Viterbo, Caldas. Disponible en Internet. URL: <http://www.Viterbo-Caldas.gov.co/nuestromunicipio.shtml?apc=m-y1--&m=f>

Además, se estudiaron las variables porcentaje de eclosión, incremento de peso, longitud y supervivencia para cada tratamiento. Para determinar si existen diferencias significativas en las variables establecidas, se realizó un análisis de varianza y covarianza, posteriormente una prueba de Tukey y así establecer diferencias entre tratamientos. El periodo de estudio abarcó desde la selección de parentales, desarrollo embrionario en laboratorio de incubación, desarrollo larval en estanques en invernadero, hasta que los alevinos llegaron a un peso aproximado de 60-70 gr, momento en el cual se hizo la selección y distribución según los grupos. De igual manera se llevó un registro de parámetros fisicoquímicos como temperatura, oxígeno y pH del agua.

También se realizó un análisis de varianza para las variables productivas; peso y longitud, encontrándose que existen diferencias significativas entre los grupos en las dos generaciones; la prueba de Tukey evidencia que el grupo selección es mejor que el grupo testigo para peso GT de $80,529 \pm 14,083$ g y GS $98,910 \pm 12,066$ gr y una longitud de GT $24,776 \pm 0,069$ cm y GS $21,33 \pm 0,807$ cm, respectivamente, para la primera generación y (P) $28,2 \pm 1,232$ g en GT y GS $39,232 \pm 2,232$ g y (L) $24,776 \pm 0,069$ cm en GT y en GS de $21,33 \pm 0,807$ cm progenie madre uno y (P) $50,846 \pm 2,596$ g para GT y en GS $63,356 \pm 2,494$ g y (L) $23,68 \pm 1,858$ cm para GT y en GS de $22,93 \pm 0,902$ cm, progenie madre dos.

Adicionalmente, se realizó el análisis para las variables porcentaje de eclosión (PE) y sobrevivencia (S), que presentaron resultados sin diferencias significativas entre grupos. Los resultados para (PE) en promedios obtenidos para la primera generación fueron 76,4% en GT y 75,3% en GS; en la segunda generación; 74,7% para GT y 77% en GS.

Por ultimo al evaluar la supervivencia se tomaron en cuenta los datos reportados durante todo el periodo de la investigación. Los resultados obtenidos en (S) fueron: para la primera generación 91,23% para GT y 90,25% en GS; en la segunda generación los resultados fueron 94,53% en GT y 95,49% en GS, para la progenie de la madre uno y para la progenie de la madre dos; 94,88% en GT y 4,08% en GS; se observo que no presento diferencias estadísticas altamente significativas.

Al realizar un monitoreo de los parámetros fisicoquímicos del agua se observo que éstos, se encuentran dentro de los rangos óptimos de producción.

Finalmente, el análisis genético demostro un valor de heredabilidad para el grupo testigo entre $0,7 \pm 0,48$ y de $0,6 \pm 0,012$ para el grupo selección, mientras que para la variable longitud presento valores para grupo testigo de $0,8 \pm 0,61$ y $0,75 \pm 0,015$ para el grupo selección. Los coeficientes de correlación fueron: genética ($r_{G_1G_2}$) de $0,037 \pm 0,0003$ para GT y $0,9 \pm 0,0086$ para GS; fenotípica ($r_{F_1F_2}$) de

$0,4 \pm 0,0075$ para GT y $0,4 \pm 0,0075$ para GS y ambiental ($r_{E_1E_2}$) de $0,03 \pm 0,0003$ GT y GS $0,023 \pm 0,0029$.

Para terminar, el cálculo del adelanto genético fue para (P) 0,45 gr en (GT) y 0,51 gr en (GS), mientras tanto en la variable (L), los resultados obtenidos en la investigación fueron del 0,13 cm para (GT) y 0,85 cm en (GS). Estos resultados expresaron diferencias entre los grupos testigo y selección en las dos progenies, indicando que la selección es favorable para las variables analizadas.

ABSTRACT

The purpose of this research was the selection of red tilapia (*Oreochromis* sp.) in favor of weight and length characteristics. Since the market currently requires good fry phenotypes, a set of players were sought to be implemented in order to evaluate the most important phenotypic variables whose progeny can meet this need, to obtain animals that are not commercially rejected, thus highlighting these features. Twelve females between 150 and 200 grams and four males between 200 and 250 grams were used for this study, selection group and the control group were randomly chosen in the same amount. This project was conducted at the Fishing Station or Estación Piscícola "San Mateo Genipez" which is located in the central western of Colombia, in the Department of Caldas, Municipality of Viterbo, El Socorro village, to 5° 3 'north latitude and 75° 52' west longitude, with an average temperature of 23 ° C and an altitude of 1040 m for a period of twelve months.

A completely randomized design was used to carry out this study with two experimental groups. Each one had four replicates formed by one male and three females, a total of eight fathers and twenty mothers. A specialized software for statistical analysis SAS (Statistical Analysis System) was applied to analyze the (co) variance. Besides, correlations between the variables assessed, heritability, and genetic advance were calculated; the design was formed by two experimental groups organized like this: G1 witness or control, which was divided into four research units, and G2 selection panel, which was divided into the same number of experimental units, in two generations.

Later, players from the station were selected to get the eggs that were taken to incubation, and from embryonic development this study involved the lifting phase of the fry (F1), in ponds in greenhouses until getting the 30 days. It was chosen for weight and height to 30% of animals with the best phenotypic conditions within the group, sexing was made to separate males from females, keeping four repetitions per group and proceeding to the selection and distribution of the families. When the animals reached 60 grams, they were selected by weight and height, 5-10% in males and 10-15% in females (control group and selection kept the same number of individuals). Males of a family mated with females of another, following the technique of mating trunks and assessed the genetic progress between the two groups.

In addition, Variables hatching percentage, weight gain, length, and survival were studied for each treatment. To determine whether there are significant differences in the variables set, an analysis of variance and covariance was performed, then a Tukey test and establish differences between treatments. The study period included from parental selection, embryo development in incubation laboratory, larval development in ponds in a greenhouse until the fry reached an approximate

weight of 60-70 g, the point in time at which, the selection and distribution of the groups was performed. Similarly, record of physicochemical parameters such as temperature, oxygen and pH of the water took place.

An analysis of variance for the production variables; weight and length was applied, finding significant differences between groups in the two generations; Tukey test shows that the selection group is better than the control group for weight of 80.529 ± 14.083 GT and GS 98.910 ± 12.066 g and a length of 24.776 ± 0.069 GT and GS $21.33 \text{ cm} \pm 0.807$ cm, respectively, for first generation and (P) 28.2 ± 1.232 g in GT and GS 39.232 ± 2.232 g and (L) 24.776 ± 0.069 cm in GT and GS of 21.33 ± 0.807 cm progeny mother one and (P) 50.846 ± 2.596 g for GT and GS 63.356 ± 2.494 g (L) 23.68 ± 1.858 cm for GT and GS 22.93 ± 0.902 cm, progeny mother two.

Additionally, the analysis was performed for variables hatching rate (PE) and survival (S), which presented results without significant differences between groups. The results for (PE) in averages for the first generation were 76.4% and 75.3% in GT GS, the second generation, 74.7% to 77% in GT and GS.

Finally, the data reported during the entire period of the investigation were taken into account to evaluate the survival. The results obtained in (S) were: to the first generation 91.23% to 90.25% in GT and GS; the second generation the results were 94.53% and 95.49% in GT in GS, for progeny of mother one and the progeny of mother two, 94.88% and 4.08% in GT in GS, it was observed no highly significant differences present. When performing a monitoring of the physicochemical parameters of the water is noted that these are within the optimum ranges of production.

Finally, genetic analysis showed a value of heritability for the control group from 0.7 ± 0.48 and 0.6 ± 0.012 for the selection group, while for the variable length for the control group showed values of 0.8 ± 0.61 and 0.75 ± 0.015 for the selection group. Correlation coefficients were: genetic () of 0.037 ± 0.0003 to GT and 0.9 ± 0.0086 for GS; phenotypic () of 0.4 ± 0.0075 to GT and 0.4 ± 0.0075 for GS and environmental () of 0.03 ± 0.0003 GT and 0.023 ± 0.0029 GS.

Finally, the calculation of genetic advance was to (P) 0.45 g (GT) and 0.51 g in (GS), while in the variable (L), the results of the investigation were of 0.13 cm for (GT) and 0.85 cm (GS). These results expressed differences between the control groups and selection in the two progenies, indicating that selection is favorable for the variables analyzed.

INTRODUCCIÓN

La tilapia roja (*Oreochromis Sp.*), según Boscolo, es la segunda especie en la acuicultura mundial, presenta un crecimiento rápido, rusticidad, carne de óptima calidad, entre otras buenas características, lo que la hace apropiada para la nascente industria piscícola, de acuerdo con Morales.² Al mismo tiempo Espejo afirma que en los años ochenta y noventa cobró importancia el cultivo de tilapia roja en los países centro y sudamericanos.³ En Colombia el 62% de la producción dulceacuícola está representado por tilapia roja (Castillo)⁴ y el consumo per cápita creció de 3.8 kg año en 1998 a 5.3 kg año en 2005⁵.

De acuerdo con Prieto⁶, el sistema de incubación artificial de huevos de tilapia es muy efectivo para producir una alta calidad de alevinos, con un mínimo grado de manipulación, control sobre las condiciones fisicoquímicas del agua de incubación, mejor monitoreo de los reproductores en términos de producción de huevos y alevinos, así como el mayor aprovechamiento de las larvas sexualmente indiferenciadas para someter a tratamientos hormonales de reversión sexual. Al poder incubar embriones de la misma edad, o con diferencia de edades muy cercanas, se obtienen poblaciones con diferencias de tamaño mínimas lo que evita problemas de canibalismo.

Hace ya miles de años que los agricultores utilizan programas de cría para diferentes especies, pero los piscicultores apenas están comenzando a aplicar la selección, la hibridación y otros sistemas de cría para mejorar las especies de peces cultivadas para fines alimentarios. Aunque ya se han conseguido algunos progresos, son muchos todavía, los piscicultores que cultivan peces no mejorados.

La cría selectiva es un sistema para mejorar el valor reproductor de la población, seleccionando y apareando únicamente los mejores peces (los de mayor tamaño y peso, los que poseen el color deseado, etc.) con la expectativa de que los reproductores seleccionados transmitan a su descendencia la superioridad que poseen. Si tal cosa ocurre, la generación siguiente será más valiosa porque los

² BOSCOLO, W. R. 1999. Desempenho de machos revertidos de tilapia do Nilo (*O. niloticus*, L.) linha Gens tailandesa e Común, nas fases inicial e de crescimento. v1, p. 84-91. *In*: Acuicultura en Armonía con el Ambiente.

³ MORALES, Q.; MORALES, R. 2006. Síntesis regional del desarrollo de la acuicultura. América Latina y el Caribe. Roma: FAO 177 p. (Circular de Pesca No. 1017/1).

⁴ ESPEJO, C y TORRES, E. 2001. Fundamentos de Acuicultura Comercial. Cap XIII. Cultivo de las Tilapias Rojas (*oreochromis spp*) y Plateada (*oreochromis niloticus*).

⁵ CASTILLO, L.F. 1991. Cultivo Comercial de la tilapia roja en Colombia. Mimeógrafo.

⁶ PRIETO, Camilo, OLIVERA, Martha. Incubación artificial de huevos embrionados de Tilapia Roja *Oreochromis sp.* Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad de Antioquia, Grupo de Fisiología y Biotecnología de la Reproducción – Biogénesis. Medellín – Colombia.2002. p. 3. Disponible en Internet: <URL:<http://rccp.udea.edu.co/index.php/ojs/article/viewFile/78/77>>.

peces crecerán más deprisa, lo que permitirá aumentar los rendimientos, reducirá el costo de su alimentación, porque todos los peces tendrán un color corporal más apreciado, que aumentará su valor comercial.

Aunque el consumidor prefiere las coloraciones rojas, mayor altura dorsal y longitudinal en la producción de alevinos, estas características no están bien establecidas disminuyendo su precio en el mercado. La mayoría de empresas y productores nacionales se ven afectados económicamente, por trabajar con semilla de mala calidad y por ende animales sin ningún trabajo genético, existen pocos estudios sobre selección genética para aumentar caracteres como crecimiento y resistencia a enfermedades, en programas comerciales con especies explotadas por la acuicultura. La aplicación de los principios genéticos en la acuicultura es un fenómeno relativamente reciente, por lo tanto para cualquier sistema de producción y en especial para la zona de estudio, es necesaria una tecnología exitosa que se refleje directamente en las ganancias, la cual debe estar fundamentada en una línea mejorada genéticamente, lo que otorga una gran ventaja productiva y comercial con enormes beneficios a corto plazo con un aumento considerable del vigor híbrido y, además, reducir considerablemente los niveles de consanguinidad. En definitiva se busca trabajar con líneas que cada vez crezcan más rápido y presenten menor costo de producción.

En este trabajo se pretende hacer selección de Tilapia roja (*Oreochromis Sp.*) a favor de los fenotipos peso y longitud, debido a que este tipo de animales presentan mayor aceptación a nivel comercial y resaltar como estas variables afectan directamente los rendimientos de esta especie, a través de la selección masal, para obtener parentales con características fenotípicas adecuadas que puedan brindar una progenie cuyo fenotipo presente mayores ventajas productivas y comerciales para este tipo de cultivo.

El objetivo de este trabajo fue evaluar una respuesta a la selección masal para las características peso y talla en una población de alevinos de tilapia roja en la estación piscícola Genipez-San Mateo en el departamento de Caldas, Colombia.

1 DEFINICIÓN Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

La industria piscícola colombiana produce 56.530.098 toneladas métricas de carne de pescado continental, de ese total el 62 % es carne de tilapia roja, por lo tanto existe una creciente demanda de larvas y alevinos los cuales deben presentar características fenotípicas apropiadas a nivel comercial. Nuestro país, al igual que el exterior afronta problemas en la variabilidad de los grupos de reproductores seleccionados, conllevando a que se realicen cruces de líneas indiscriminadamente, esto puede perjudicar no sólo la disponibilidad de semilla sino también su calidad, las producciones de campo y los rendimientos de proceso. Razón por la cual los programas para la obtención de reproductores y cruzamientos selectivos deben ser dirigidos por personal especializado y ampliamente experimentado (Castillo et al)⁷.

En el departamento de Nariño, no se registran trabajos de mejoramiento genético en peces de producción dulceacuícolas, puesto que las pocas explotaciones de este nivel carecen de profesionales capacitados para su realización y el eslabón primario de la cadena piscícola no cuenta con una producción departamental de alevinos, por ende, la calidad de sus reproductores se ve relegada al trabajo de mejoramiento que empíricamente realizan algunas de las empresas de donde provienen los animales, situación semejante a la registrada a nivel nacional.

En la granja "Genipez San Mateo" lugar donde se desarrolló esta investigación, se contó con un grupo de peces reproductores cuya semilla produce progenes con un porcentaje alto de animales con peso y longitud heterogéneas los cuales no son aceptados comercialmente. Por lo tanto, esta investigación pretendió implementar un programa de selección para reducir el número de animales con estas diferencias y en cuya progenie se mejoren estas características fenotípicas.

⁷CASTILLO, Luis, tilapia roja 2008. Una evolución de 25 años, de la incertidumbre al éxito, (Disponible en internet) <http://ag.arizona.edu/azaqua/ista/Colombia/TILAPIAROJA2006.pdf> (citado Enero de 2011).p,9

2 FORMULACIÓN DE LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Con la implementación de un programa de selección en tilapia roja a favor de las características fenotípicas y productivas peso y longitud, se logrará mejorar la proporción de animales con estos fenotipos en la Granja Genipez San Mateo?

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluar la respuesta a la selección en Tilapia Roja (*Oreochromis sp.*) a favor de las características fenotípicas peso y longitud, en la granja "Genipez San Mateo", Viterbo, Caldas, Colombia.

3.2 Objetivos específicos

Determinar el efecto de la selección sobre las características peso y longitud.

Comparar la respuesta a la selección en dos grupos a favor de los fenotipos peso y longitud.

Caracterizar fenotípicamente el banco de reproductores de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) en la granja Genipez.

4 MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

4.1 Biología de la tilapia roja (*Oreochromis* sp.)

4.1.1 Clasificación taxonómica de la tilapia roja. La Clasificación taxonómica de la tilapia roja (*Oreochromis* sp.), según Trewavas, citado por Solarte es:

REINO: Animal
PHYLUM: Chordata
SUBPHYLUM: Vertebrata
CLASE: Teleostomi
SUPERCLASE: Actinopterygii
SUPERÓRDEN: Acanthopterygii
ÓRDEN: Perciformes
SUBÓRDEN: Percoidei
FAMILIA: Cichlidae
GÉNERO: *Oreochromis*
ESPECIE: *O. reochromis* sp. (Trewavas,)
NOMBRE COMÚN: Tilapia roja, mojarra roja, pargo de agua dulce, red snapper⁸.

Figura 1. Ejemplar de tilapia roja



Fuente: Disponible en Internet: <URL:<http://www.agroterra.com /ampliar/alevinos-del-valle-tilapia-roja-en-cali-valle-del-cauca-22148/19881>>

⁸ SOLARTE GUEVARA, Ana. Evaluación de diferentes densidades de incubación de huevos de tilapia roja (*Oreochromis* sp), mediante un sistema de incubación artificial. Huila, Colombia. 2008. p. 28. Trabajo de grado (Ingeniero en producción acuícola). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Pecuarias. Departamento de Recursos Hidrobiológicos.

4.1.2 Generalidades de la especie. Trewavas citado por Hurtado, manifiesta que: Todas las especies de tilapia son conocidas por su madurez temprana. Las especies de tilapia más comunes (*Oreochromis niloticus*), alcanzan su madurez sexual entre los 30-40 gr, en un intervalo de 2-4 meses. Una vez que han madurado, las tilapias pueden realizar la puesta todo el año mientras la temperatura del agua sea superior a los 24 °C. Normalmente, una hembra realiza 8-12 puestas en un año en condiciones favorables de temperatura.

Cada puesta puede contener entre 200 y 2000 huevos. Después de la fertilización, uno o ambos padres vigilan cuidadosamente los embriones en desarrollo hasta que eclosionan y las larvas alcanzan el estadio de natación libre⁹.

4.1.2.1 Biología de la especie. Según el Ministerio de Industria y Comercio de Honduras (SIC)¹⁰, algunas características de la biología de las tilapias son:

- Rango de peso de los adultos 1000 a 3000 gramos.
- Edad de madurez sexual. Machos de 4 a 6 meses hembras de 3 a 5 meses.
- Número de desoves rango de 5 a 8 veces / año.
- Temperatura de desove rango de 25 a 31 grados centígrados.
- Número de huevos por hembra en un desove bajo buenas condiciones mayores de 100 huevos hasta un promedio de 1500 dependiendo de la hembra (talla, peso y edad).
- Vida útil de los reproductores de dos a tres años.
- Tipo de incubación es bucal.
- Tiempo de incubación de tres a seis días.
- Periodo de cuidado de las larvas de cinco a siete días.
- Proporción de la siembra de reproductores un macho por cada tres hembras.

⁹ HURTADO, Nicolás. Inversión sexual en tilapias. nH ingenieros consultores. Lima, Perú. 2005. p. 4. Disponible en Internet. URL:

http://www.revistaaquatic.com/documentos/docs/nh_invsextilapia.pdf

¹⁰ Ministerio de industria y Comercio (SIC). Consideraciones para el cultivo de tilapia, (Disponible en internet) URL:<http://www.sic.gob.hn/portai/agro^nfoagro/Acuacultura/Consideraciones.>, (Enero de 2011).

- Tiempo de Cultivo bajo buenas condiciones de siete a ocho meses, cuando se alcanza un peso comercial de 300 gramos (depende de la temperatura día vs. noche, densidad de siembra y técnica de manejo).

4.1.2.2 Características morfológicas. De acuerdo con el SIC¹¹, la tilapia roja es de cuerpo alargado y angosto con una boca pequeña que no llega al margen del ojo. La longitud de su cuerpo es de 3,0 a 3,1 veces el ancho de la cabeza y de 2,4 a 2,5 veces la altura.

4.1.2.3 Hábitos alimenticios. Alamilla¹², menciona que: "todas las tilapias tienen una tendencia hacia hábitos alimenticios herbívoros, a diferencia de otros peces que se alimentan o bien de pequeños invertebrados o son piscívoros. Las adaptaciones estructurales de las Tilapias a esta dieta son principalmente un largo intestino muy plegado, dientes bicúspides o tricúspides sobre las mandíbulas y la presencia de dientes faríngeos".

4.1.2.4 Hábitos reproductivos. Fitzimmons¹³ asegura que: Las principales tilapias cultivadas, pertenecen, como ya se dijo, al género *Oreochromis* que posee cuidados maternales, ejercidos sobre los huevos una vez fertilizados y también sobre sus crías en los primeros estadios.

En el primer caso, la incubación es bucal y en el segundo, la hembra actúa como refugio de la progenie durante las primeras semanas de eclosión. En todos los casos y en forma natural, los machos excavan en el fondo de los cuerpos de agua donde habitan, construyendo nidos en aguas someras, a menos de 1,0 m. de profundidad.

La hembra desova entre 1-2 huevos por gramo de peso y luego de la fertilización de la puesta por el macho, los recoge llevándolos en la boca hasta su eclosión. Las larvas al eclosionar quedan en la cavidad bucal hasta la reabsorción de su vesícula vitelina y buscan a menudo refugio durante varios días, hasta después de que su vejiga hidrostática sea funcional.

La madurez sexual, en función de la edad y la talla, es por lo general temprana a tamaño pequeño y edad juvenil (Tabla 1).

¹¹ Ibid., p. 7.

¹² ALAMILLA, Hugo. Cultivo de Tilapia. Buenos Aires, Argentina, (disponible en Internet), URL:<http://www.zoetecnocampo.com/Documentos/tilapia/tilapia.htm#3>. (Citado Febrero de 2011).

¹³ FITZIMMONS, K. Cultivo de tilapia en sistemas de recirculación. SAGPyA. Estados Unidos 1993. 3. p. Disponible en internet: URL: http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_peces/piscicultura/33-tilapia_sistemas_recirculacion_2.pdf

Tabla 1. Características de la maduración sexual de la tilapia.

Característica	Valor
Edad	2-3 meses
Peso	70-100 g
Longitud	10-18 cm
Temperatura para el desove	Óptima: 25-30°C Rango: 100-2000 huevos/desove
Fecundidad	Promedio: 200-400 huevos/desove Una hembra de 200grs: 250-500 Alevines/4-5 semanas.
Tamaño óptimo para la reproducción	100-200 g

Fuente: CANTOR, Fernando. Disponible en Internet URL: <http://www.scribd.com/doc/13788369/Manuali>

En estanques de cultivo y en el trópico, bajo condiciones de máximo crecimiento, alcanzan su madurez sexual a la edad de 5-6 meses y alrededor de los 150,0 gramos (gr); aunque en condiciones de alimentación limitada, pueden reproducirse a pesos tan bajos como 20-30 gr o menos aún; mientras que en condiciones de clima menos benignos, su respuesta al crecimiento es buena en los meses de mejores temperaturas y su reproducción es menor¹⁴.

4.1.2.5 Selección de reproductores. Según FIAGRO¹⁵, un reproductor debe cumplir con las siguientes características:

- Buena progenie-superior a la población.
- Poseer un cuerpo proporcionalmente ancho comparado con su longitud, es decir que su cabeza quepa más de 1,5 veces el ancho del cuerpo.
- Tener cabeza pequeña y redonda.
- Poseer buena conformación corporal (buen filete, cabeza pequeña, pedúnculo caudal corto, etc.)
- Libre de toda mal formación.
- Ser cabezas de lote y estar sexualmente maduro.

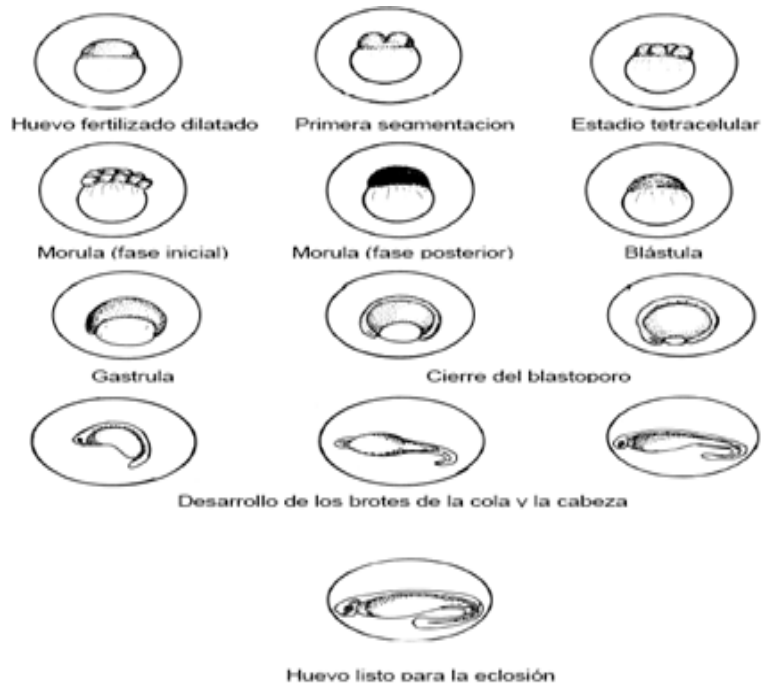
¹⁴ FITZIMMONS. Óp. cit, p. 1 -2.

¹⁵ FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA AGROPECUARIA (FIAGRO). Manual de Crianza de Tilapia. FIAGRO. 2006: (disponible en internet), www.fiagro.org.sv/archivos/0/356.doc. 15 p.

- Poseer buena coloración y en el caso de la tilapia roja estar libre de manchas.

4.1.2.6 Desarrollo embrionario. Woynarovich y Horváth¹⁶ sostienen que, cuando termina el proceso de dilatación del huevo, las dos partes de la masa central están ya formadas y son fácilmente distinguibles por su forma y su color. El polo animal se alza como un pequeño promontorio sobre la masa vitelina y adquiere una coloración amarillo oscura. Tras un breve intervalo, cuya duración depende de la temperatura del agua, comienza la segmentación del polo animal y el promontorio unicelular se divide sucesivamente en 2, 4, 8, 16 y 32 células. En esa fase presenta el aspecto de una mora y por ello ese estadio se conoce con el nombre de mórula (Figura 2). Las subdivisiones sucesivas de esas células producen un blastodermo multicelular, que al principio no tiene más que una capa de células y gradualmente adquiere varias capas. Cada una de esas células se llama un "blastómero". A medida que el número de blastómeros aumenta, su tamaño disminuye.

Figura 2. Desarrollo del huevo fertilizado.



Fuente: WOYNAROVICH, E Y HORVÁTH, L. Disponible en Internet. URL: <http://www.fao.org/docrep/005/ac908s/AC908S00.htm#TOC>

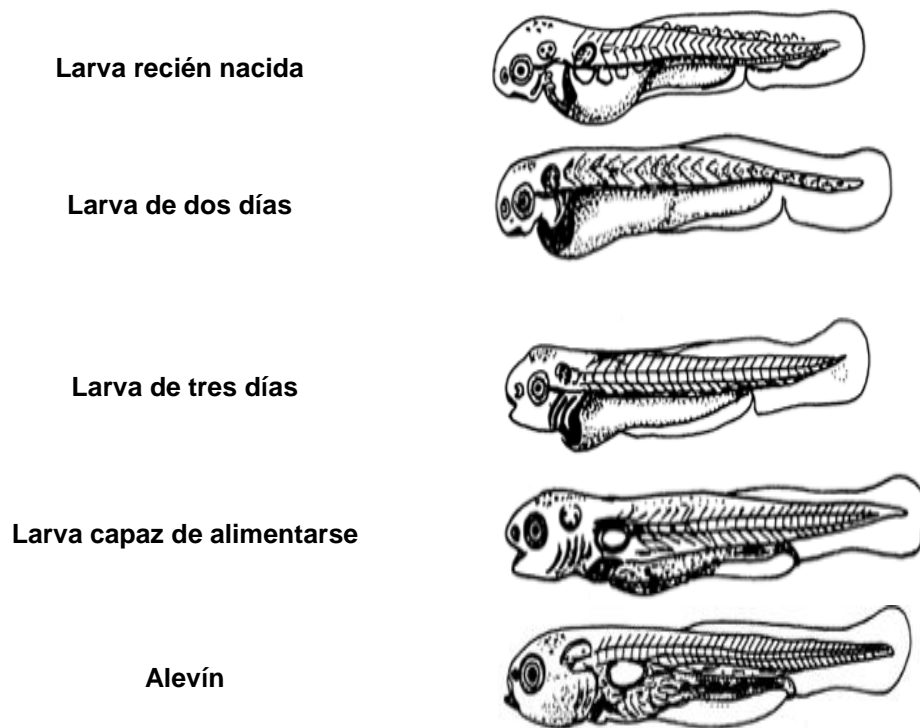
¹⁶ WOYNAROVICH, E Y HORVÁTH, L. Propagación artificial de peces de aguas templadas: Propagación artificial de los peces. Manual para extensionistas. Desarrollo e incubación de los huevos de peces.FAO, Doc.Téc.Pesca, (201): Roma 1981. p 187. Disponible en Internet. URL: <http://www.fao.org/docrep/005/ac908s/AC908S00.htm#TOC>

En el estado de mórula el embrión es muy sensible a las sacudidas y las células pueden desprenderse de la superficie, causando la muerte del embrión. Más tarde aparece entre el vitelo y la masa celular un espacio denominado cavidad de segmentación. Se dice entonces que el embrión se halla en el estadio de blástula. Inicialmente las células del blastodermo se disponen encima del vitelo formando una especie de gorro.

A medida que avanza la división celular, las células comienzan a envolver el vitelo hasta rodearlo completamente, dejando sólo en el extremo una pequeña apertura, el blastoporo, que más tarde se cierra también. Se llega así al punto de transición entre el estadio germinativo inicial y el estadio de desarrollo embrionario.

La masa celular adquiere mayor espesor y se dispone en forma de diadema en el lado opuesto al blastoporo. Al mismo tiempo aparecen en ambos extremos los brotes de la cabeza y de la aleta caudal. Poco después, ambos brotes son claramente definibles y aparecen los primeros segmentos del cuerpo. En la cabeza se desarrollan los ojos (“vesículas ópticas”) y el brote de la cola empieza a crecer longitudinalmente (Figura 3). A mitad del proceso de desarrollo se forma el corazón y empieza a latir. Al mismo tiempo, en la superficie de la masa vitelina se forma un sistema capilar o un vaso sanguíneo.

Figura 3. Desarrollo del embrión y la larva.



Fuente: WOYNAROVICH, E Y HORVÁTH, L. disponible en Internet. URL: <http://www.fao.org/docrep/005/ac908s/AC908S00.htm#TOC>

El embrión empieza a agitar la cola ocasionalmente y más tarde agita todo el cuerpo. Posteriormente, el embrión comienza a girar dentro del espacio perivitelino. Ese movimiento giratorio y los demás movimientos se hacen más enérgicos antes de la eclosión. Los metabolitos del embrión contienen algunas enzimas que actúan sobre la membrana del huevo y la disuelven desde dentro, debilitándola y permitiendo al embrión romperla fácilmente y salir

4.1.3 Calidad de agua. De acuerdo con Martínez¹⁷, la calidad del agua está determinada por sus propiedades fisicoquímicas, entre las que se destacan la temperatura, oxígeno, pH, entre otras (Tabla 2). Estas propiedades influyen en los aspectos productivos y reproductivos de los peces. Por lo que es importante que los parámetros se mantengan dentro de los rangos óptimos para el desarrollo de los peces.

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos adecuados para el cultivo de tilapia roja (*Oreochromis sp.*)

Variable	Rangos ideales
Oxígeno disuelto	3 a 10 mg/l
Temperatura	24 a 28 °C
PH	6.5 a 9.0
Amonio Total	Hasta 2.0 mg/l
Turbidez (Disco Secchi)	30 a 40 cm.

Fuente: CANTOR, Fernando. Disponible en Internet URL: <http://www.scribd.com/doc/13788369/Manuali>

La tilapia es en general, altamente tolerante a las altas temperaturas, bajas concentraciones de oxígeno y altos niveles de amoníaco; resistiendo además, las altas concentraciones de salinidad. Sin embargo, tienen poca tolerancia a las bajas temperaturas.

4.1.4 Métodos de incubación.

4.1.4.1 Incubación natural. Espejo¹⁸ afirma que “tanto la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) como la tilapia roja (*Oreochromis sp.*) son especies incubadoras bucales, es decir, que guardan los huevos fertilizados en sus cavidades bucales por un período de 60 a 72 horas, esta característica hace que

¹⁷ MARTINEZ, Freddy. Curso sobre granjas integral. Universidad del valle. Cali, Colombia. 2008. Disponible en Internet. URL: <http://eidenar.univalle.edu.co/docentes/catedra/docs/fmartinez/CULTIVO%20DE%20LA%20TILAPIA.pps>

¹⁸ ESPEJO, Carlos. Manejo industrial de las tilapias. American Soybean Association. GENIPEZ. San Mateo. Monterrey, Marzo 2001. p. 5. Disponible en Internet. URL: http://carlosespejo.com.co/articulos/Manejo_industrial_de_las_tilapias.pdf

la sobrevivencia de las larvas, al ingresar a la reversión sexual sea mayor, entre 85 y 90 %”.

4.1.4.2 Incubación artificial. Prieto y Olivera¹⁹ manifiestan que los huevos de las especies de *Oreochromis* se incuban en recipientes con fondo redondeado, lo cual permite la continua rotación de los huevos. Debido a su gran tamaño (1,4 – 2,2 mm) y peso (3,8 – 7,8 mg) tienden a caer rápidamente al fondo del recipiente por lo cual se debe mantener un flujo de agua constante, simulando el movimiento de rotación que los huevos sufren en la boca de la hembra. Las Incubadoras de 20 litros de capacidad, pueden ser usadas para incubar hasta 80.000 huevos con gran eficiencia en la utilización de agua (10.000 huevos requieren 1,0 L/s, comparado con cerca de 1,0 L/min para 1000 huevos en incubadoras más pequeñas).

Estos autores afirman que el sistema de incubación artificial de huevos de Tilapia es muy efectivo para producir una alta calidad de alevinos con un mínimo grado de manipulación, control sobre las condiciones fisicoquímicas del agua de incubación, mejor monitoreo de los reproductores en términos de producción de huevos y alevinos, así como el aprovechamiento del 100% de las larvas sexualmente indiferenciadas para someter a tratamientos hormonales de reversión sexual, con resultados por encima del 99%. Al poder incubar embriones de la misma edad, o con diferencia de edades muy cercanas, se obtienen poblaciones con diferencias de tamaño mínimas lo que evita problemas de canibalismo.

Según Woynarovich y Horváth “las incubadoras actualmente utilizadas para la incubación de cíclicos son las de tipo Mc Donald, las cuales son un recipiente cilíndrico con fondo esférico. El agua entra por un tubo que llega hasta el fondo del cilindro y en su movimiento ascendente mueve y mezcla la masa de huevos continuamente”²⁰.

4.1.5 Larvicultura. Igualmente ellos²¹ muestran que después de la eclosión, las larvas emergen a la superficie y van abandonando las incubadoras para caer atrapadas en bandejas de poca profundidad que pueden ser utilizadas para mantenerlas hasta por 20 días, una vez nadan horizontalmente y comen activamente se trasladan a unidades más grandes como estanques o jaulas.

¹⁹ PRIETO, Camilo y OLIVERA, Martha. Incubación artificial de huevos embrionados de Tilapia Roja *Oreochromis* sp. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad de Antioquia, Grupo de Fisiología y Biotecnología de la Reproducción – Biogénesis. Medellín – Colombia. 2002.

p. 3. Disponible en Internet. URL: <http://rccp.udea.edu.co/index.php/ojs/article/viewFile/78/77>

²⁰ WOYNAROVICH, E Y HORVÁTH, L. Propagación artificial de peces de aguas templadas: *En*. Propagación artificial de los peces. Manual para extensionistas. *FAO, Doc.Téc.Pesca*, (201): Roma 1981. p 187. Disponible en Internet. URL: <http://www.fao.org/docrep/005/ac908s/AC908S00.htm#TOC>

²¹ PRIETO Y OLIVERA, Op. cit., p. 4.

El tiempo que toman las larvas en reabsorber su saco vitelino varía de 4 a 5,5 días, si se mantienen las mismas condiciones ambientales que se presentaron en el proceso de incubación.

4.1.6 Reproducción. Sobre los estanques de reproducción, el mismo autor²¹ afirma que deben tener un área entre 500 y 1500 m² para facilitar la recolección de alevinos y la cosecha. Para asegurar una producción alta y constante, es importante monitorear con frecuencia parámetros como oxígeno disuelto, pH y sólidos disueltos. Se emplean estanques exteriores para las fases de maduración de reproductores y desove.

Los estanques interiores se utilizan para los procesos de reversión y pre cría y son cubiertos con algún tipo de plástico para mantener la temperatura constante. En los estanques de reproducción es necesario tener un sistema anti pájaros, como mallas, para evitar la depredación de carnadas y ataques a reproductores adultos.

4.1.6.1 Siembra de reproductores. Según FIAGRO²², para obtener una buena reproducción de larvas se recomienda emplear una proporción de uno a dos machos por tres hembras, sin exceder 1,0 kg de biomasa por metro cuadrado, debido a que se disminuye la postura.

4.1.6.2 Desove. El SIC²³ describe la secuencia de los eventos característicos del comportamiento reproductivo (apareamiento) de la tilapia roja, de la siguiente manera:

- Después de 3 a 4 días de sembrados los reproductores se acostumbran a sus alrededores.
- En el fondo del estanque el macho delimita y defiende su territorio. Limpiando un área circular de 20 a 30 cm de diámetro forma su nido. En estanques con fondos blandos el nido es excavado con la boca y tiene una profundidad de 5 a 8 cm.
- La hembra es atraída hacia el nido en donde es cortejada por el macho.
- La hembra deposita sus huevos en el nido para que inmediatamente sean fertilizados por el macho.
- La hembra recoge los huevos fertilizados con su boca y se aleja del nido.

²² Ibid., p. 6.

²³ SIC.Op. Cit., p.4.

- El macho continua cuidando el nido y atrayendo otras hembras con que aparearse.
- Para completarse el cortejo y desove requieren de menos de un día.
- Antes de la eclosión los huevos son incubados de 3 a 5 días dentro de la boca de la hembra. Las larvas jóvenes (con saco vitelino) permanecen con su madre por un periodo adicional de 5 a 7 días, escondiéndose en su boca. Las hembras no se alimentan durante los periodos de incubación y cuidado de las larvas.
- Las hembras están listas para aparearse de nuevo aproximadamente una semana después de que ella deja de cuidar a las larvas.
- Después de dejar a sus madres las larvas forman grupos (bancos) que pueden ser fácilmente capturados con redes de pequeño ojo de malla. Bancos grandes de pequeños peces pueden ser vistos de 12 a 18 días después de la siembra de los reproductores.

4.2 Consideraciones genéticas en el estudio de la tilapia roja (*Oreochromis* sp.)

4.2.1 Genética de poblaciones. Es la disciplina biológica que suministra los principios teóricos de la evolución; en esta ciencia se parte del supuesto de que los cambios evolutivos a pequeña escala, los que se dan en el seno de las poblaciones de las especies, contienen todos los ingredientes necesarios para explicar toda la evolución, pues la macroevolución, o evolución a gran escala, no sería más que la extrapolación en el espacio y en el tiempo de los procesos básicos que se dan en las poblaciones. Casi todas las especies comprenden una o más poblaciones de individuos que se cruzan entre sí, formando una comunidad de intercambio genético denominada *población mendeliana*. Esta población es el sustrato básico donde se forja la evolución. En el seno de la población se da el hecho inevitable de que algunos individuos dejan más descendientes que otros.

Como el único componente que se transmite de generación en generación es el material genético (los genes), el que un individuo deje más descendientes implica que sus variantes génicas (alelos) estarán más representadas en la siguiente generación. De este modo, las frecuencias de los distintos alelos cambiarán de una generación a otra y este cambio será irreversible cuando se considera el

conjunto de los genes de la población, pues es muy improbable que se vuelva a una configuración previa en todas las variantes génicas (Barbadilla)²⁴.

4.2.2 Variabilidad genética. Se refiere a la variación en el material genético de una población o especie e incluye los genomas nucleares mitocondrial y ribosomal, además de los genomas de otros organelos.

La variabilidad genética, conocida también como recursos genéticos, se refiere a la variación hereditaria entre y dentro de poblaciones de organismos, cuya base está en los cromosomas (ADN) y puede ser manipulada por la tecnología tradicional y moderna, biotecnología e ingeniería genética. Cada especie viva posee en su estructura celular la información codificada necesaria para transmitir a sus descendientes caracteres especiales, que se conocen como hereditarios, o sea, que se heredan de los progenitores.

Las cadenas de ADN están sujetas a cambios, conocidos como mutaciones, que se producen de distintas formas como recombinación o por radiaciones. Estas mutaciones pueden ser letales o dar origen a caracteres de adaptación a las condiciones impuestas por el ambiente como el clima o resistencia a enfermedades, dando una ventaja a los individuos que poseen distintas características.

En la población de una especie no existen dos individuos que tengan la misma e idéntica información genética en el ADN, lo que se conoce como variabilidad genética. La variabilidad genética en una población puede ser medida por la heterocigosidad observada (H_o), otra medida es la heterocigosidad en equilibrio o esperada (H_e). Una comparación entre estos valores nos puede informar sobre la situación de heterocigosidad en la población (Ne_i)²⁵.

4.2.2.1 Fuerzas de evolución. Las principales fuerzas que influyen en la evolución de las especies, son:

- **Mutación.** Las mutaciones constituyen una de las fuerzas que puedan cambiar las frecuencias génicas de una población, su importancia reside en ser la fuente primaria de variación en las poblaciones, por ser la creación de nuevos alelos. Como definición general de mutación se puede decir que se trata de un cambio o de un error en el proceso de auto duplicación de un gen, de tal forma que se

²⁴ BARBADILLA Antonio. Departamento de Genética y Microbiología. Universidad Autónoma de Barcelona, 08193 Bellaterra (Barcelona). Disponible en internet, URL: // <http://bioinformatica.uab.es/divulgacio/genpob.html>.

²⁵ NEI, M. Molecular Evolutionary genetics. Columbia University Press, New York, NY. 1987.

origina un nuevo alelo, que se diferencia del original en su efecto sobre la expresión de la característica sobre la que actúa.

La frecuencia con que se producen las mutaciones es en general muy baja. Aunque la frecuencia no es la misma para todos los genes, se puede estimar como cifra promedio entre 10^{-4} y 10^{-8} por generación (una en 10 mil y una en 100 millones de gametos). Con la sola mención de estas cifras se puede inferir que las mutaciones por si solas, como fuerza que cambia la frecuencia génica, son de poca importancia. Sin embargo, en el proceso evolutivo de las especies donde se considera miles o millones de años juegan un papel muy importante, como origen de la variación genética (Cardelino)²⁶.

- **Selección.** La selección se refiere a las tasas diferenciales de supervivencia y reproducción y provoca cambios en las frecuencias de ciertos genotipos en la población.

A este proceso de supervivencia y reproducción diferenciales de los distintos tipos de organismos, Darwin le dio el nombre de selección artificial llevada a cabo por los criadores de animales y plantas cuando seleccionaban deliberadamente algunos individuos de algún tipo preferible a los demás.

La probabilidad relativa de supervivencia y la tasa de reproducción de un fenotipo o genotipo recibe actualmente el nombre de aptitud darwiniana, eficiencia darwiniana o eficacia biológica aunque los genetistas a veces hablan algo, vagamente, de la aptitud de un individuo, el concepto de aptitud se aplica realmente a la reproducción y supervivencia medias de los individuos de una clase fenotípica o genotípica. Debido a sucesos fortuitos ocurridos durante la vida de los individuos, es incluso posible que dos individuos con el mismo genotipo y el mismo ambiente tengan distintas tasas de supervivencia y reproducción. Lo que cuenta es la aptitud de un genotipo considerada como la media de todos sus portadores.

La aptitud es una consecuencia de la relación entre el fenotipo del organismo y el ambiente en el cual vive, de modo que el mismo genotipo tendrá distintas aptitudes en distintos ambientes. Esta diferencia se debe en parte a que la exposición de diferentes ambientes durante el desarrollo da lugar a diferentes fenotipos a partir de los mismos genotipos.

Un aumento del alelo que tenga la mayor aptitud implica que aumente la aptitud media de la población en su conjunto, de modo que la selección también puede describirse con un aumento en la eficacia biológica media. Esta propiedad no

²⁶ CARDELINO, Ricardo y ROVIRA, Jaime. Mejoramiento genético animal. Montevideo, Uruguay; Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur. P.5.

conduce necesariamente a una situación óptima de la especie en su conjunto, porque las diversas aptitudes solo se definen en relación con el resto de las aptitudes de la población. Es la aptitud relativa no la absoluta la que aumenta con la selección. La población no se hace necesariamente más grande o crece más rápido, ni resulta menos probable que se extinga (Griffiths)²⁷.

- **Deriva genética.** Otra fuerza que puede cambiar la frecuencia génica es el chance o el azar, proceso dispersivo o deriva genética, a diferencia de los cambios en frecuencia génica por mutación, selección y migración, que se pueden describir en dirección y magnitud, los cambios debidos a la deriva genética, siendo resultantes de un proceso de muestreo en una población de tamaño limitado, solamente se pueden predecir en magnitud pero no en dirección.

En poblaciones de tamaño grande las leyes de probabilidad se cumplirán mejor en el muestreo de gametos que dan origen a los individuos de la próxima generación, en otras palabras, estas muestras de gametos serán más representativas de composición genética de los padres.

Si tenemos una población de tamaño N donde “ p ” y “ q ” son frecuencias génicas, se tiene una probabilidad p de que la población se fije para el alelo A y pierda el alelo a y una probabilidad q de que se fije para el alelo a y pierda el alelo A . Cuanto menor sea el tamaño de la población, tanto más rápido ocurrirá esta fijación o pérdida.

Hay una relación estrecha entre la deriva genética y la consanguinidad, ya que ésta se origina en poblaciones pequeñas, donde forzosamente los individuos que se aparean, a pesar de ser al azar, están emparentados (Cardelino y Rovira et al)²⁸.

4.3 Conceptos utilizados en la genética de poblaciones

4.3.1 Concepto de población. Una población desde el punto de vista genético, no es solamente un grupo de individuos, sino individuos que se reproducen. Cuando se habla de genética de poblaciones, no se hace referencia simplemente a los individuos que la componen, sino también a la transmisión de genes de una generación a otra.

Los genes de una población tienen continuidad de generación en generación, pero no los genotipos en los cuales ellos aparecen. Un individuo recibe, normalmente una muestra de los genes de cada uno de sus padres, contenidos en los gametos

²⁷ GRIFFITHS, ANTHONY J.F.; MILLER, JEFFREY H.; SUZUKI, DAVID T., LEWONTIN, RICHARD C. y GELBART, WILLIAM M. En: Genetica. Séptima edición. Mc GRAW-HILL / Interamericana de España, S.A.U. 2002. P. 728.

²⁸ CARDELINO y ROVIRA. Op.Cit.p.34

que se unieron para darle origen, lo que se denomina herencia aditiva. Los procesos de segregación y combinación, descritos por las leyes de Mendel y que tienen como base biológica la meiosis, determinan que lo que herede sean nuevas combinaciones de los genes de ambos padres; a no ser pequeños segmentos de genes ligados, por estar muy próximos en el cromosoma.

Otra definición muy usada es la de comunidad reproductiva que comparte un patrimonio genético o "gene-pool", que está constituido por todos los genes que los individuos poseen. Una población se puede representar como un proceso continuo, con un estado diploide (individuos) y uno haploide (gametos).

La población puede ser considerada como un súper organismo, continuo en el espacio y en el tiempo, pero compuesto por individuos continuos y mortales. Se la puede describir en cualquier momento determinado, consistiendo esa descripción en la media, la variabilidad, las correlaciones, la estructura familiar, etc., para cada una de las características que se analice. Generalmente, una población no tiene una fecha de nacimiento definida como la tiene un individuo²⁹.

4.3.2 Frecuencia génica en poblaciones. El término frecuencia génica o frecuencia alélica, se refiere a si un gen o alelo es relativamente abundante o escaso, con referencia al otro gen o genes, alelo o alelos que pueden ocupar un determinado locus.

En una población hay el doble de genes que de individuos, porque todos los individuos son diploides y un homocigoto para un alelo tiene dos copias de ese alelo, mientras que un heterocigoto tiene una sola copia. Por ello, en el caso de un locus con dos alelos se calcula la frecuencia de un alelo contando los homocigotos y añadiendo la mitad de los heterocigotos.

$$\begin{aligned} P &= f A/A + \frac{1}{2} f A/a && = \text{frecuencia del alelo A} \\ Q &= f a/a + \frac{1}{2} f A/a && = \text{frecuencia del alelo a} \\ P+q &= f A/A + \frac{1}{2} f A/a + f a/a && = 1 \end{aligned}$$

Si hay múltiples alelos, la frecuencia para cada alelo es simplemente la frecuencia de los homocigotos, más la mitad de la suma de las frecuencias de los heterocigotos en los que aparece el alelo.

La frecuencia para un alelo puede variar entre los valores de 0 y 1. Si un alelo tiene frecuencia 1, quiere decir que el otro alelo, para un mismo gen, no existe en la población, de tal manera que todos los individuos son homocigotos para ese gen y no existe variación ninguna para ese locus. Se dice que este alelo está fijado en esta población.

²⁹ Ibid.p.30.

La variación genética existe siempre y cuando los alelos tengan frecuencias mayores que 0 y menores que 1. La suma de las frecuencias de los genes que ocupan un mismo locus es siempre igual a 1³⁰.

4.3.3 Tamaño de la población. Lo que fundamentalmente interesa en la genética de poblaciones aplicada al mejoramiento animal es el cambio en las propiedades que determinan la productividad de los individuos y no tanto el número que forman la población o como varía ese número. Sin embargo, cuando el tamaño de la población es muy pequeño, permite que se produzcan, por azar o muestreo, cambios importantes en las frecuencias génicas, influyendo así en la productividad promedio de la población. Además, el número de animales con los que se trabaja cobra gran importancia en el proceso de la mejora animal, o lo que comúnmente se expresa como “la calidad sale de la cantidad”. Aplicando un concepto básico de probabilidad; cuantos más animales tengamos para reproducir, mayores serán las probabilidades de lograr nuevas y mejores combinaciones de genes en los animales que nacen. Además, al tener mayor cantidad de animales, las oportunidades para practicar la selección serán mayores, o sea, los animales seleccionados podrán ser muy superiores al promedio de la población y producir descendencia también mejor.

Cuando consideramos el número o cantidad de animales que constituyen una población, nos referimos a aquellos individuos que han llegado a la edad de reproducirse, independientemente de que se reproduzcan o no. Esos individuos que tienen el potencial de dejar descendientes son los que realmente interesan, ya que son los que tienen la probabilidad de pasar algunos de sus genes a la próxima generación (Cardelino y Rovira et al)³¹. Para dar un ejemplo, si de un apareamiento Aa x Aa se obtienen cinco progenies, muy difícilmente se tendrá una proporción mendeliana 1:2:1. Si el número es cinco mil, ya se aproxima mucho a las proporciones esperadas.

4.3.4 Apareamientos aleatorios. Significa que cualquier individuo en la población tiene la misma oportunidad de aparearse con cualquier individuo de sexo opuesto. Lo mismo se puede expresar en términos de gametos en vez de individuos, diciendo que todos los gametos masculinos tienen la misma probabilidad de fecundar a todos los gametos femeninos. Esta condición se llama también panmixia y a la población sujeta a este tipo de apareamientos, panmictica. Es importante aclarar que esto se refiere al locus considerado.

³⁰ Ibid.p.7.

³¹ Cardelino y Rovira, óp. Cit.p.6-7

4.3.5 Consanguinidad. El concepto de consanguinidad o endogamia se origina del hecho de que muchas veces los individuos que se aparean son parientes. Como parientes podemos definir a dos o a más individuos que tiene por lo menos un antepasado común. Los individuos cuyos padres son parientes, pueden recibir el mismo alelo por el lado paterno y por el lado materno. El individuo cuyos progenitores están emparentados, se dice que es consanguíneo o que tiene consanguinidad.

En una población, el apareamiento ente parientes se puede originar por apareamientos dirigidos, también surge en poblaciones con apareamientos al azar, porque cuando el tamaño de la población es pequeña resulta inevitable que muchos de los individuos que se aparean son parientes.

En ambos casos, la consecuencia es la aparición de individuos con consanguinidad, lo que lleva a un aumento de la homocigosis³².

4.3.6 Estructura génica. La estructura génica está determinada por la estructura de la población, por supuesto, pero también por procesos genéticos como la selección, la recombinación y la mutación.

La apariencia de la estructura genética no es necesariamente el efecto del flujo génico en el momento mismo del estudio y el problema puede surgir de atribuir a los tiempos presentes o a una época las diferencias aparentes o su ausencia entre poblaciones.

La estructura genética o subdivisiones de una especie en unidades locales intercruzantes es resultado del equilibrio dinámico entre fuerzas que favorecen la diferenciación como la deriva, mutación y selección, diferentes en cada área y fuerzas homogeneizantes como la migración, selección purificadora, selección balanceadora, uniformes en cada área. Ella determina el patrón y la cantidad de variación que está disponible para la evolución de una especie e impone límites para la actuación de la selección natural y otras fuerzas evolutivas (Sole-Cava)³³.

4.4 Selección masal

De acuerdo con Gallego, los bancos de reproductores pueden ser de tipo abierto o cerrado. En los de tipo abierto hay intercambios periódicos de reproductores - renovación de sangre con otras fincas³⁴. En una población cerrada los reemplazos

³² CARDELINO y ROVIRA. Op.Cit, p.172.

³³ SOLE-CAVA, AM. Biodiversidad molecular e genética de conservacao. In: MATIOLI, S. R. biología Molecular e Evolucao. Ribeirao Preto: Brazil., 2001.p. 192.

³⁴ GALLEGO Fernando, Mejoramiento Genético Aplicado a la Piscicultura Comercial, Colciencias, U.D.C.A. Bogotá, 2000, p. 18

de los reproductores se obtienen dentro de ella haciendo selección, sin traer individuos o genes de otras poblaciones (no hay efectos inmigrantes), por lo cual pueden presentar niveles de consanguinidad perjudiciales.

La consanguinidad incrementa la frecuencia de genes nocivos apareciendo defectos morfológicos, cuando se manifiesta sobre caracteres cuantitativos (de producción) hay pérdida de fertilidad y natalidad, se incrementa la mortalidad y hay reducción en el crecimiento. El tamaño de una población se conoce como su número efectivo (N_e) y representa la cantidad de variabilidad genética en la población, a partir de lo cual se puede realizar una selección masal que presente mejoras fenotípicas principalmente en sus características productivas. Así mismo permite cuantificar la consanguinidad presente en la población. En las poblaciones cerradas y con especies de alta fecundidad como los peces, se recomienda establecer bancos de reproductores cuyo número efectivo no sea menor a 100 y además que no exista parentesco entre ellos, recomendación que igualmente debe tenerse en cuenta para los programas de repoblamiento.

Los caracteres de interés productivo en peces tales como la tasa de crecimiento (ganancia de peso), el rendimiento en canal, la maduración sexual, resistencia a enfermedades y la fecundidad son controlados por muchos genes con efectos aditivos, ocasionando variación genética y fenotípica dentro de las poblaciones, un alto grado de variabilidad es favorable debido a que proporciona el material para trabajar en selección, la cantidad de varianza genética que es heredable y que es responsable de la variación fenotípica se conoce como Heredabilidad (Tabla 2).

Tabla 2. Índices de herencia de ganancia de peso en diferentes especies piscícolas.

Especie-Rasgo	H²	Autor
Tilapia áurea	0,38+/-0,08	Bondari y col
Mossambica	0,12 a 0,76	Chang
Nilótico	0,36 +/-001	Tave y Smitherman
Tilapia Roja	0,34 +/-008	Bondari
Trucha	0,18	Gjerde
Carpa	0,30	Moav
Pez gato	0,34	Tucker

Fuente. GALLEGO, Fernando. 2000

El mismo autor afirma que los sistemas de mejoramiento genético comprenden: los métodos de selección y los sistemas de apareamiento. La selección es una metodología utilizada para escoger a los reproductores y padres de la siguiente generación; los sistemas de apareamiento consisten en la forma en que se

reproducen o aparean los reproductores seleccionados. En la misma investigación afirma que: los caracteres que se van a incluir en un programa de selección deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Tener importancia económica.
- Debe existir variabilidad en la población.
- Poseer Heredabilidad mayor a 0,20.
- Ser medibles fácilmente y con precisión.
- Deben ser objetivos y no subjetivos.
- Los individuos deben ser contemporáneos.

Los métodos de selección se dividen en selección masal o individual, en la cual se escoge de un grupo grande de peces contemporáneos un porcentaje de los mejores individuos en el carácter objeto de selección y en selección familiar donde de varias familias se escogen los mejores. Además, los porcentajes de retención o de selección más recomendados oscilan entre el 10 y 20 %. En machos no es recomendable hacer retención por debajo del 5%. Así mismo las condiciones en que se realiza la selección deben ser lo más parecidas a las de los cultivos comerciales.

La selección es una técnica cuya aplicación modifica la composición genética de una población con respecto a uno o varios caracteres de tal forma que los valores promedios de éstos vayan cambiando en el sentido deseado. Su fundamento consiste en escoger como reproductores exclusivamente a los individuos sobresalientes de la población en el o los caracteres seleccionados.

El efecto obtenido es llamado progreso genético o respuesta a la selección y puede observarse si se comparan las distribuciones y promedios para un carácter cuantitativo de dos generaciones consecutivas donde la segunda corresponde exclusivamente a los hijos de los individuos seleccionados.

La heterosis o el vigor híbrido permiten a la descendencia superar a los progenitores en uno o varios caracteres, mientras que la depresión endogámica tiene efectos perjudiciales, En diferentes estudios se ha encontrado vigor híbrido expresado en mayor tasa de crecimiento, menor mortalidad y resistencia a las enfermedades. Son favorables al vigor y fertilidad de la progenie. Las Ventajas de los cruzamientos en los programas de cría animal incluyen la heterosis y el uso de las diferencias entre razas o líneas (complementación y optimización del mérito genético promedio). Los cruzamientos pueden conducir a heterosis benéfico al

utilizar las diferencias entre las líneas parentales disponibles y su contribución al mérito general de los animales cruzados, en los sistemas permanentes de cruzamiento se pueden obtener beneficios aun cuando los caracteres de interés muestren una acción puramente aditiva si se logra la interacción de dos rasgos en un mismo individuo. Se propone que si una estirpe (A) es eficiente en ganancia de peso, pero de baja prolificidad y otra (B) es menos eficiente y de mayor prolificidad el cruzamiento de machos A por hembras B puede producir descendencia que supere en productividad a ambas estirpes parentales.

El mayor problema que tiene la producción acuícola en el mundo está fundamentada en lo impredecibles que son los grupos de reproductores seleccionados o su bajo número empleado, que pueden perjudicar no solo la disponibilidad de semilla sino también su calidad, las producciones de campo y los rendimientos en Planta, por lo que estos programas para la obtención de reproductores y cruzamientos selectivos deben ser dirigidos por personal especializado y ampliamente experimentado³⁵.

Castillo et al³⁶ expone que es necesario adquirir una tecnología exitosa que se refleje directamente en las ganancias, la cual debe estar fundamentada en una(s) línea(s) mejorada(s) genéticamente con alta tecnología, lo que otorga una gran ventaja productiva y comercial con enormes beneficios a corto plazo; en definitiva se busca trabajar con líneas que cada vez crezcan más rápido y presenten menor costo de producción.

El saber escoger el mecanismo de selección y los mecanismos para evaluar la respuesta a la selección, de acuerdo con la varianza genética disponible, para lo cual es fundamental saber que existen 2 rutas: varianza genética dominante y varianza genética aditiva, recordando que validar los resultados toma muchos años, para lo cual debe tenerse muy en claro los tipos de selección mencionados a continuación:

4.4.1 Selección familiar. Se seleccionan individuos o familias completas, para rasgos a seleccionar de baja heredabilidad ($H^2 = 0,1$ a $0,3$). Este sistema requiere una completa infraestructura y manejo estadístico.

4.4.2 Selección en masa. Se almacenan alevinos de la misma edad y se seleccionan los de mejor crecimiento, en cada generación, pero se debe garantizar que los reproductores seleccionados para crecimiento rápido sean verdaderos y no peces de mayor edad que se han quedado en los estanques. Como requisito fundamental el rasgo a seleccionar debe tener una alta

³⁵ Ibid.,p.20

³⁶ CASTILLO, Ibid. P. 253

heredabilidad ($H^2 = 0,3$ a $1,0$), como por ejemplo: peso corporal. Un programa profesional y racional de selección genética permite mejorar los siguientes rasgos:

- Resistencia a enfermedades.
- Resistencia a las condiciones de estrés.
- Alta resistencia a malas condiciones en la calidad del agua.
- Rendimiento en carne y calidad del filete (color).
- Tolerancia a las variaciones de temperatura y salinidad.
- Mejora el porcentaje de conversión alimenticia.
- Pigmentación atractiva de la piel para los consumidores.
- Cambios en el comportamiento, por ejemplo: la tendencia de la *O. aureus* escapar de las redes.

4.4.3 Heredabilidad. La heredabilidad de un carácter cuantitativo en una población es el parámetro genético de mayor importancia, ya que determina la estrategia a ser usada en el mejoramiento de ese carácter.

Para la mayoría de los caracteres una parte de la variación observada tiene una base genética y otra es el resultado de factores ambientales. Si la mayor parte de la variación es genética en origen, se espera que las diferencias en la producción sean mayormente debidas a los genes que los individuos poseen y que entonces serán en gran parte transmitidos por su progenie.

Por otro lado, si la proporción mayor de las diferencias entre animales es de origen ambiental, esos efectos no son transmitidos a la progenie, la cual mostrará el comportamiento de los padres. El grado de heredabilidad de un carácter tiene como función principal expresar la confianza que se puede tener en el fenotipo del animal como una guía para predecir su valor de cría.

Los valores de heredabilidad pueden variar de 0 a 1, a veces se expresa como porcentaje. Si es cero, nada de la variación en el carácter es genético y la selección será totalmente inefectiva, si la heredabilidad es uno, no hay variación ambiental presente y el valor fenotípico es igual al valor de la cría, permitiendo una selección muy efectiva³⁷.

³⁷ CARDELLINO Y ROVIRA, Mejoramiento Genético Animal, Ed. Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay, 1986, P.65.

4.4.4 Correlaciones. Para Gallego³⁸, significan la interdependencia entre datos cuantitativos o cualitativos, pudiendo ser extendida a más de dos variables aleatorias. Frecuentemente nos referimos a la relación entre variables aleatorias o entre rangos.

De esta forma si la correlación tiene un valor de 0 a 15% se establece que la intensidad es baja o poco diferenciable, cuando está entre 15 al 40% se puede predecir un ligero cambio y si es mayor al 40% los cambios que conlleva se consideran importantes o fuertes.

Se pueden estimar tanto las correlaciones genotípicas como las fenotípicas, donde la primera determina el porcentaje de genes en común que comparten dos características y que puede ser explicada por los efectos pleiotrópicos y de ligamiento de genes. La correlación fenotípica mide los efectos lineales de los genes más las desviaciones ambientales: genotipo más ambiente, por este motivo siempre presentará mayor diferencia.

Para Martínez³⁹ hallar el tamaño y significancia de la correlación permite determinar los caracteres que pueden ser mejorados en los programas de selección y cruzamiento. La respuesta a la selección en una característica conlleva un cambio en otra de acuerdo a la intensidad de su correlación con el primero.

4.4.5 Adelanto genético. El adelanto o progreso genético es el efecto de la selección hacia una característica en particular y su cambio en el promedio en la dirección deseada de la población depende de: intensidad, exactitud (heredabilidad), variación genética e intervalo generacional, datos que se pueden aplicar a cualquier tipo de selección.

Tanto la intensidad de la selección como la variación genética en la población son independientes del método, el intervalo entre generaciones depende de la especie, de circunstancias prácticas y, en parte, el método de selección, lo que varía con el método o tipo de selección es la exactitud de la selección (heredabilidad), que refleja el éxito que tiene el criador al detectar animales con mayores valores de cría⁴⁰. Las decisiones de manejo y de apareamiento modifican el adelanto genético que se puede obtener de un rasgo. La ganancia genética será más rápida cuando la heredabilidad y la varianza genética del rasgo seleccionado son altas. Por lo tanto, estos factores son importantes para considerar el establecer las metas de selección. Además, una mayor ganancia genética se puede obtener al reducir los intervalos generacionales, con una mayor intensidad

³⁸ GALLEGO Fernando, Mejoramiento Genético Aplicado a la Piscicultura Comercial, Colciencias, U.D.C.A. Bogotá, 2000, p.

³⁹ MARTINEZ, C. 2005. Estadísticas y Muestreos. 12ed. Eco Ediciones.

⁴⁰ CARDELLINO Y ROVIRA , op cit, pag.122

de selección y más alta exactitud de selección (mantenimiento de registros exactos).

4.4.6 Estudios realizados en selección masal. El proyecto para "El Mejoramiento Genético de la Tilapia de Cultivo" GIFT (Genetic Improvement of Farmed Tilapia) realizado por el ICLARM (actualmente WORLD FISH CENTER) en colaboración con la National Aquatic Research Systems (NARS), The Bureau of Fisheries and Aquatic Resources (BFAR), Freshwater Aquaculture Center of the Central Luzón State University (FAC-CLSU) y Marine Science Instituto of the University of the Philippines (UPMSi) de Filipinas, WorldFish de Malasia y una Advanced Scientific Institution (ASI) de Noruega AKVAFORSK (El Instituto de Investigación en Acuicultura de Noruega) entre los años 1988 y 1997 tuvo como finalidad incrementar el porcentaje de crecimiento de la Tilapia nilótica (*O. niloticus*) por selección, trabajaron con ocho líneas, cuatro locales y cuatro importadas colectadas en ríos de Egipto, Ghana, Senegal y Kenia, y líneas comerciales de Israel, Singapur, Tailandia y Taiwán; ellas fueron sometidas a un programa de selección familiar e intra familiar presionando por crecimiento, se seleccionaron 20,000 peces desde 120 a 183 familias de hermanos completos y 50 a 100 de medio hermanos y aclimatados a diferentes medios de cultivo, la variación fenotípica en porcentaje de crecimiento fue grande y la heredabilidad se estimó en 0,15.

Durante el proyecto se realizó una selección por año por un periodo de cinco a seis generaciones, el promedio de respuesta a la selección fue del 13% y una respuesta acumulada del 85%. Cuando el porcentaje de crecimiento se duplicó, los peces lograron una talla para el mercado en 6 meses comparados con los 8 meses de la base de la población, cuando el porcentaje de crecimiento se triplicó se logró la talla del mercado en 4 meses⁴¹.

Los beneficios que aporta un trabajo como el anterior son:

- Los crecimientos más rápidos reducen el tiempo para alcanzar tallas de mercado optimizando la Tasa interna de Retorno.
- El porcentaje de supervivencia se incrementa, al aumentarse la resistencia a enfermedades, la cual es mejorada al seleccionar para crecimiento.
- El porcentaje de conversión alimenticia mejora, debido a un rápido crecimiento reduce el mantenimiento en piscinas (estanques). Los peces mejorados son muy buenos convertidores.

⁴¹ Ibid., p. 12-13

- El porcentaje de retención de energía y proteínas mejora, permitiendo recuperar mejor el recurso de alimento disponible.
- El costo de producción se reduce en forma directamente proporcional al porcentaje de incremento en peso.

Desde hace varios años se han adelantado con Tilapia Roja (*Oreochromis* sp.) estudios genéticos sobre selección masal en la Estación Piscícola del Alto Magdalena y en Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Valle del Cauca, Colombia. Piscícola La Linda, con el fin de mejorar las características fenotípicas como son el color, peso y altura. Acerca de estos trabajos de investigación Gállego, afirma que: Es factible hacer la selección a los 120 días, con esto se disminuye el intervalo generacional y se avanza rápidamente para obtener una población mejorada. La selección en contra de las manchas tuvo una eficiencia del 100% predominando el color rosado y disminuyendo la presencia de peces rojos, lo cual puede asociarse con genes dominantes para la presencia de manchas y epistémicos con los de color rojo.

La selección por color y por altura disminuyó la respuesta a la selección en peso en la primera generación, sin embargo cuando se hizo con mayor intensidad sobre el peso se obtuvieron respuestas altas y significativas en la segunda generación.

Evaluaron la efectividad de la selección masal por color y peso se analizaron dos generaciones (G1 y G2) de alevinos de tilapia roja *Oreochromis* sp. De 40.000 larvas a la sexta semana se eliminaron los alevinos manchados y blancos y a las 14 semanas se separaron por sexos. Se midió el peso (g), la longitud total (cm), la altura (cm) y el ancho (cm) de 150 individuos a las 6, 14 y 24 semanas de edad. En la semana 24 se escogieron 150 machos y 450 hembras con las coloraciones deseables y mayor peso. La selección resultó efectiva para coloración en G2, puesto que la proporción de individuos rojos se incrementó en 15% con respecto a los testigos. Entre generaciones (G1 y G2) el efecto de la selección fue positivo, debido a que la proporción de rojos se incrementó de 64% a 84% y se redujo la de manchados de 31% a 13%. En ambas generaciones los machos fueron significativamente más pesados que las hembras. Se encontraron notables diferencias entre generaciones para peso y talla, puesto que los selectos superaron al control en 27% y 8% (G1) y en 22% y 11% (G2) para el peso y la talla, respectivamente⁴².

4.4.7 Recirculación. La Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (SAGPyA)⁴³, recomienda que se debe proporcionar a los peces en cautiverio, un

⁴² GALLEGO. Op. cit, p. 23

⁴³ SAGPyA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. Sistemas de Recirculación en Acuicultura. Argentina. 2006. p. 1. Disponible en internet: URL: <http://www.produccionbovina.com/>

ambiente óptimo para su crecimiento, de forma tal que éste sea rápido, a un costo mínimo, tanto en recursos como en capital. Los sistemas intensivos de recirculación tienen la gran ventaja de poder controlar el ambiente y todos los parámetros de calidad del agua fácilmente (temperatura, oxígeno, pH, anhídrido carbónico, amoníaco, nitritos, nitratos, alcalinidad, etc.); obteniéndose así un óptimo crecimiento de los animales y una prevención en sanidad. Estos "parámetros" o "variables" de calidad de agua no actúan independientemente, sino que están interrelacionados, de tal forma que el manejo del sistema puede resultar complejo. Por ello es importante entender las interrelaciones existentes entre los parámetros o variables en la calidad de agua, para lo cual se debe efectuar con continuidad el monitoreo de los mismos.

Fitzimmons⁴⁴ afirma que desde hace más de 20 años, la tilapia se convirtió en el pez predilecto para los sistemas de recirculación. En su hábitat nativo, estos peces se han adaptado a períodos de sequía, por lo que ha desarrollado la habilidad de sobrevivir en condiciones de hacinamiento y pobre calidad de agua por largos períodos.

Puede crecer activamente en aguas que suelen ser peligrosas para otras especies de peces. Los sistemas de recirculación son más receptivos a los lotes y en los tanques se pueden cosechar parcialmente, porque son más fáciles de drenar que los estanques y más convenientes cuando solo se necesita capturar un porcentaje de la producción total.

4.4.8 Troncos de apareamiento. Es un sistema utilizado para obtener los reemplazos de los parentales y controlar la consanguinidad, a su vez permite realizar selección de caracteres diferentes en cada tronco o lote, conservando variabilidad genética.

Para establecer los troncos o lotes de apareamiento hay que dividir el total de los reproductores en varios grupos, cada uno de ellos es llamado un tronco, los hermanos seleccionados de cada tronco se aparean con los de otro tronco, constituyéndose en el reemplazo de uno de los lotes originales.

La forma para obtener un nuevo grupo de reproductores puede ser la siguiente:

Se dividen aleatoriamente en lotes A, B, C y D, de hembras y machos en relación 3:1 cada uno, se reproducen por separado y en su descendencia se realiza selección masal para diferentes caracteres en cada lote, los machos seleccionados del lote A se agrupan con las hembras seleccionadas del lote B, las hembras de A con los machos de B, los machos de C con las hembras de D y los

⁴⁴ FITZIMMONS, K. Cultivo de Tilapia en Sistemas de Recirculación. SAGPyA. Estados Unidos 1993. p. 1. Disponible en internet: URL: http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_peces/piscicultura/33-tilapia_sistemas_recirculacion_2.pdf

machos de D con las hembras de C, cada uno de estos grupos reemplazan a los reproductores originales. Para la producción de la otra generación de reproductores se aparean los machos y hembras del lote E con las hembras y machos de G y los de F con los de H.

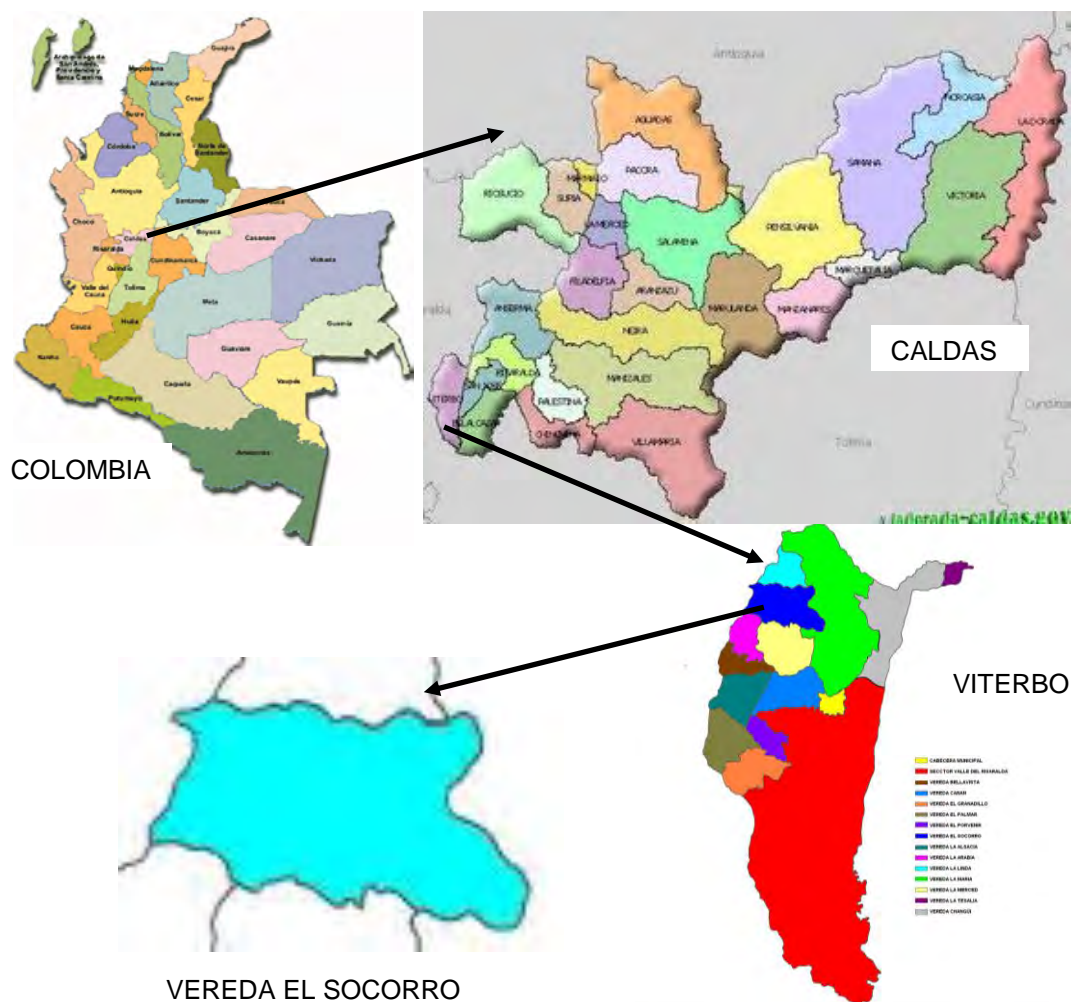
Este procedimiento puede realizarse en diferentes épocas para cada lote; entre mayor sea el número de grupos en que se dividen inicialmente los reproductores se podrán obtener mayor número de generaciones de remplazo sin consanguinidad.

5 DISEÑO METODOLÓGICO

5.1 Localización y descripción del sitio

El proyecto se realizó en la Estación Piscícola "Genipez San Mateo" (Figuras 4 y 5), ubicada en el centro occidente de Colombia, en el Departamento de Caldas, Municipio de Viterbo, vereda el Socorro, con 5°3' de latitud norte y 75°52' longitud oeste, con una temperatura promedio de 23 °C y una altura de 1040 msnm⁴⁵.

Figura 4. Localización de la Estación Piscícola Genipez-San Mateo.



Fuente. Alcaldía municipal de Viterbo

⁴⁵ GONZÁLEZ Claudia Marcela et al, Comparación de dos líneas de Tilapia Roja (*Oreochromis spp.*)

Figura 5. Estación Piscícola Genipez-San Mateo.



Fuente. Esta investigación.

5.2 Periodo de estudio

La investigación tuvo un periodo de doce meses partiendo de la adecuación de instalaciones y selección de parentales que se obtuvieron de la misma estación.

Los animales se seleccionaron por peso y longitud, para ello, se realizaron muestreos en toda la estación para poder conformar los dos grupos con sus respectivas familias, conservando la relación 3:1, escogida para llevar a cabo la reproducción; dicha conformación se hizo así: grupo testigo, animales escogidos al azar y sin caracterización fenotípica aparente y grupo selección, que fueron aquellos escogidos en un rango de peso y longitud establecidos para la investigación y con mejores características fenotípicas, animales que permanecieron durante una semana en periodo de preparación, hembras separadas de los machos; se suministró un balanceado durante la primera semana, éste contenía un 30% de proteína-energía, debido a que los animales entran a una etapa donde gastan altas cantidades de calorías y en el caso de las hembras en su fase de incubación restringen su alimentación. Luego de esta semana se procedió a formar las familias en relación 3:1, ubicando dos familias por estanque.

Se eligieron dos grupos conformados cada uno por cuatro familias, los descendientes de cada pareja (hermanos completos y/o medios hermanos paternos) se consideraron como una familia, se separaron en hapas que se

distribuyeron en un estanque, con el fin de disminuir los efectos ambientales, el promedio de cada grupo de hijos o réplicas fue el promedio familiar.

De los reproductores seleccionados se obtuvieron los huevos que se llevaron a incubación y a partir de su desarrollo embrionario el estudio comprendió la etapa de levante de los alevines (f1), que se hizo en estanques dentro de invernaderos hasta que alcanzaron los 30 días, luego se seleccionó por peso y talla al 30%.

Se seleccionaron los animales con las mejores condiciones fenotípicas dentro del grupo, se realizó sexaje para separar machos de hembras conservando cuatro repeticiones por grupo.

Se procedió a la selección y distribución de los animales, cuando alcanzaron los 60 gramos aproximadamente fueron seleccionados por peso y talla 5 a 10 % en machos y 10 a 15 % en hembras (los grupo control conservaron igual número que los de la selección).

Los machos de una familia se aparearon con las hembras de otra, siguiendo la técnica de troncos de apareamiento y se evaluó el adelanto genético entre los dos grupos.

Como se deseaba mayor ganancia genética se seleccionaron los mejores hermanos de las mejores familias y así se pudo obtener una segunda generación (f2), para ello se logró que más de una hembra sea fecundada, los hijos igualmente fueron llevados a laboratorio de incubación y levante hasta lograr un periodo de cuatro meses, con la diferencia que la progenie dos fue más amplia debido a que de cada familia se obtuvo más de una hembra fecundada. Los hijos del grupo selección se compararon con los hijos del grupo control en las edades o momentos en que se hizo la selección.

Durante toda la etapa de estudio se desarrollaron actividades de muestreo, distribución, manejo de los reproductores, selección a favor del fenotipo peso y talla, toma de parámetros fisicoquímicos del agua y evaluación del porcentaje de supervivencia.

5.3 Material biológico

Inicialmente se seleccionaron de toda la estación:

Un total de 32 reproductores, entre ellos veinticuatro hembras, con un peso promedio de 200 g y longitud total promedio de 15,0 cm, y ocho machos con un peso promedio de 250 g y longitud total promedio de 20,0 cm (Figuras 6 y 7).

Los animales que se escogieron debieron ser contemporáneos con una edad de seis meses como máximo.

Figura 6. Ejemplar macho de tilapia roja



Fuente. Esta investigación

Figura 7. Ejemplar hembra de tilapia roja



Fuente. Esta investigación

Las características que se tuvieron en cuenta para la selección de parentales fueron las siguientes:

- Animales con buena coloración.

- Cabeza pequeña y redonda.
- Cuerpo proporcionalmente ancho, comparado con su longitud lo que asegura buena altura y buen filete o ausencia de malformaciones.
- Pedúnculo caudal corto.

5.4 Instalaciones

La Estación piscícola Genipez San Mateo cuenta con un área total de 6.5 Ha de las cuales 3 Ha son dedicadas a la producción de tilapia roja. El agua que abastece a la Estación es captada de la quebrada La Julia (Tabla 4 - Figura 8), es transportada por gravedad y distribuida hacia los diferentes estanques, la sala de incubación y larvicultura, estanques de reversión sexual y las piletas de cuarentena para alevinos.

Tabla 3. Promedio de los parámetros fisicoquímicos del agua de la quebrada La Julia.

Parámetro	Datos
Temperatura del agua °C	24
O2 mg/l	7,6
Ph	7,4

Fuente. Esta investigación

Figura 8. Quebrada La Julia.



Fuente. Esta investigación

El agua de los estanques es drenada mediante tubería PVC que se coloca en forma de L y codo. Los tubos se unen con codos móviles lo cual permite el ingreso de agua a cada uno de estos. El agua de la bocatoma es transportada hacia los estanques mediante tubería de 4,0 y 5,0"; el agua llega a este invernadero por gravedad, es conducida mediante tubería de 4,0", reduciéndose a 2,0" para finalmente llegar a 1 ½".

5.4.1 Estanques para padrotes. La Granja cuenta con tres invernaderos, dos para reversión y uno para descanso de reproductores, este último se utilizó para hacer el descanso y posteriormente los grupos distribuidos en familias. Se utilizaron cuatro estanques de paredes de concreto y fondo de tierra, con un área de 9,2 m² y una columna de agua de 0,6 a 0,7 m cada uno. Cada estanque se dividió en dos compartimientos con malla para establecer los grupos con los que se desarrolló la investigación, cada unidad se conformó por tres hembras y un macho (Figura 9).

Figura 9. Estanques para reproductores



Fuente. Esta investigación

5.4.2 Sala de incubación y larvicultura. Tiene un área de 90 m² (Figura 10). En el interior del laboratorio existe una mesa recubierta en fibra de vidrio, dotada de doce incubadoras tipo Mc Donald con capacidad de seis litros (Lt), 0,15 metros de diámetro y 0,30 m de profundidad (Figura 11). Cada incubadora se complementa con una bandeja receptora de larvas con capacidad de seis litros, 0,40 m de diámetro y 0,15 m de profundidad. En esta sala se maneja un sistema de recirculación, contando con un tanque de almacenamiento, con capacidad de 5000 litros, un blower de 220 V, y una electrobomba con capacidad de 1,0 HP. Un área de 11.5 m² utilizada para el sistema de filtración, además de contar con un área

de desinfección y profilaxis de todos los materiales que entran en contacto con material biológico.

Figura 10. Laboratorio de incubación y larvicultura.



Fuente. Esta investigación

Figura 11. Incubadoras tipo Mc Donald.



Fuente. Esta investigación

Para la larvicultura fue necesario utilizar ocho bandejas de plástico con capacidad de seis litros, 0,40 m de diámetro y 0,15 m de profundidad (Figura 12). En esta etapa las larvas se mantuvieron hasta la completa reabsorción del saco vitelino con un caudal de 1,5 litros por minuto, para que se mantengan en continuo

movimiento y así evitar posibles mortalidades que se presentan por las bajas de oxígeno que pueden darse en el fondo del recipiente.

Figura 12. Bandejas de reabsorción de saco vitelino.



Fuente. Esta investigación

5.4.3 Estanques para larvas. Se empleó un estanque de paredes en concreto y fondo de tierra con un área de 35 m² y una columna de agua de 0,4 a 0,5 m, (Figura 13) ubicado en el invernadero en donde se colocaran las hapas de 1.80 m² y protegido con malla anti pájaros.

Figura 13. Estanque para el levante de tilapia roja.



Fuente. Esta investigación

5.4.4 Materiales, equipos e insumos. A continuación se describen los materiales equipos e insumos que se utilizaron para realizar la investigación y se describen a continuación.

Tabla 4. Materiales utilizados en el ensayo.

Cantidad	Material	Uso
1	Termómetro	Medir temperatura
1	Ictiómetro	Medir longitud animales
3	Coladores	Colectar alevinos
2	Chinchorro	Captura reproductores
4	Tanques plásticos	Traslado de animales
2	Beacker	Conteo de huevos
1	Mangueras	Sifonear tanques
2	Bandejas rectangulares	Traslado de huevos
16	Bandejas capacidad 6 lt.	Larvicultura
12	Incubadoras Mc Donald	Incubación artificial
16	Hapas	Levante de larvas
1	Pie de rey	Medir Long de alevinos
1	Pipeta de Pasteur	Volumetría de larvas
1	Pipeta de titular	Retirar huevos muertos
1	Pera	Retirar huevos muertos
1	Cinta de mascarar	Rotular incubadoras
1	Esponja	Lavado de recipientes

Fuente. Esta investigación

Tabla 5. Equipos utilizados en el ensayo.

Cantidad	Equipo	Uso
1	Balanza digital	Pesar animales
1	Equipo de análisis fisicoquímico HACH HA-71-A	Análisis físico-químico del agua
1	Cámara de fotografías marca Sony	Registro fotográfico
1	Blower	Airear filtro biológico
1	Calentador automático	Para subir T° del agua
2	Electrobomba	Recirculación en sistema de incubación
1	Motobomba	Auxiliar del sistema de recirculación

Fuente. Esta investigación

Tabla 6. Insumos utilizados en este ensayo.

Cantidad	Insumo	Uso
20 kg	Sal marina	Profilaxis
1 kg	Cloro granulado	Desinfección
1 bul y 5 kg	Balanceado de 30 y 40%de proteína	Alimentación reproductores y larvas
50 ml	Yodo solución al 10%	Profilaxis de huevos
4 kg	Sulfato de cobre	Eliminar algas

Fuente. Esta investigación

5.5 Plan de manejo

5.5.1 Adecuación de instalaciones. En esta investigación fue necesario utilizar instalaciones para tres ciclos que son: ciclo de reproducción, ciclo de laboratorio, que incluye incubación y larvicultura, y ciclo de levante de los nuevos reproductores.

5.5.1.1 Adecuación de estanques. Para esto fue necesario desocupar los estanques para los reproductores, fue preciso eliminar gran cantidad de lodos y se procedió nivelar el fondo (Figura 14) con la ayuda de material extraído de la quebrada La Julia (Figura 8), luego de esto se procedió a dividir cada uno de los cuatro estanques con malla (Figura 15), con el fin de hacer la distribución de las familias, asegurándose que no haya un posible paso de animales de un compartimento al otro, luego de esto se procedió a llenar los estanques (Figura 16).

Figura 14. Remoción de lodos y nivelación del fondo del estanque.



Fuente. Esta investigación

Figura 15. División de los estanques para unidades experimentales



Fuente. Esta investigación

Figura 16. Unidades experimentales



Fuente. Esta investigación

5.5.1.2 Selección de parentales. Para la selección de los reproductores se realizó una selección cerrada dentro de los lotes de la estación (Figura 17), los cuales fueron adquiridos por la finca de otras estaciones y son de líneas diferentes, para evitar así consanguinidad en las progenies siguientes.

Para el grupo testigo no se realizará ninguna selección, mientras que para el grupo de selección se obtuvieron animales con un peso mayor a 150 g y longitud

total mayor a 15,0 cm (Figura 18), para las hembras y para los machos con un peso mayor de 200 g y longitud total promedio de 20,0 cm.

Una vez establecido el lote de parentales para desarrollo de la investigación se llevaron a un periodo de nueve días de descanso, separando machos de hembras por muros en concreto con las medidas: 3,4 m de largo, 2,8 m de ancho y 0,7 m de profundidad. Se manejó una densidad de siembra de 1,2 animales/m².

Figura 17. Selección cerrada de los parentales.



Fuente. Esta investigación

Figura 18. Ejemplar seleccionado.



Fuente. Esta investigación

5.5.1.3 Siembra de parentales. Posterior a la etapa de descanso, se procedió a conformar las familias; para el grupo testigo se tomaron los animales que aleatoriamente se obtuvieron de las diferentes cosechas sin hacer una previa selección, teniendo únicamente en cuenta que al momento de formar las familias las hembras debían tener menor tamaño que el macho.

Para el grupo selección se dispusieron familias a partir de los animales que se seleccionaron de los diferentes lotes de la finca, teniendo en cuenta sus mejores características fenotípicas (Figura 19).

Para que el efecto ambiental no influyera se ubicaron las familias en los estanques de manera homogénea, de tal forma que los dos grupos experimentales no tuvieran diferencias en los parámetros fisicoquímicos y ambientales, así cada estanque que se dividió, contenía dos familias una del grupo selección y otra del grupo testigo en relación 3:1 y así para los cuatro estanques para un total de 32 animales. Previo a esto todos los animales fueron medidos y pesados.

Figura 19. Siembra de los parentales del grupo testigo y grupo selección.



Fuente. Esta investigación

Luego de que las familias estén en periodo de reproducción durante nueve días y bajo el método de reproducción natural aleatoria, se obtuvo a través de recolección manual los huevos de las hembras reproductoras, realizando un arrastre en el estanque de padrotes (Figura 20).

Figura 20. Cosecha de primeros reproductores



Fuente. Esta investigación

5.5.1.4 Obtención de larvas de la primera generación (F1). Una vez obtenidos los huevos de las hembras, se volvió a tomar los datos morfométricos y de peso para registrar los datos de los padres y madres (Figura 21).

Figura 21. Toma de morfometría y de peso de los padres y madres.



Fuente. Esta investigación

Pronto procedió a llevarlos al sistema de incubación artificial, en donde se hizo un previo lavado para eliminar bacterias y exceso de sedimento que viene consigo en la cosecha (Figura 22), para el lavado se utilizó una solución de yodopovidona al 10% y agua en una cantidad de 4 gotas por litro, el agua que se utilizó fue del

sistema de incubación, que además sirve para aclimatar los huevos a su nuevo ambiente de incubación.

Figura 22. Lavado de huevos en laboratorio de incubación.



Fuente. Esta investigación

Luego de esto se situaron los huevos en un beaker para determinar la cantidad de huevos cosechados por familia, tomando como equivalencia un aproximado de 90 huevos por mililitro, ya determinada la cantidad se llevaron a la incubadora (Figura 23) en donde permanecieron durante tres días entre eclosión y reabsorción, período en el que alcanzaron su desarrollo embrionario.

Figura 23. Siembra de huevos en la incubadora.



Fuente. Esta investigación

5.5.1.5 Levante de larvas. Una vez obtenidas las larvas que fueron contemporáneas, se llevaron a estanques en invernaderos para hacer el levante.

El estanque receptor de los animales fue previamente preparado, para dicha labor fue necesario lavarlo eliminando lodos y retirando restos de algas filamentosas y apropiando ocho hapas en donde se distribuyó la F1 (Figura 24), las larvas se contaron volumétricamente y se distribuyeron al azar en las hapas pero sin que se crucen entre los hijos de cada familia en donde alcanzaron un peso aproximado de 60 a 70 gramos para su reproducción, y posteriormente conformaron las unidades experimentales de la investigación, consecutivo a esta etapa se utilizó el modelo de troncos de apareamiento para así obtener la nueva generación (F2).

Figura 24. Levante de alevinos en hapas.



Fuente. Esta investigación

5.5.1.6 Selección del 30% de los reproductores. Sembrados los animales se hizo un muestreo de la población teniendo en cuenta el tamaño de la muestra, cada quince días, cuando los animales cumplieron con una etapa de treinta días se seleccionaron el 30% de los animales de cada hapa para el grupo selección y del 30% de la población para el grupo testigo sin seleccionar estos animales se escogieron al azar, el 70% de los animales restantes (colas) se llevaron a levante en distintos estanques como lotes diferenciados sin embargo de esta cantidad sobrante no se llevo registro.

El lote de animales que fue seleccionado por morfometría y al azar se llevo a levante durante tres meses, tiempo en el cual se muestreo quincenalmente para el suministro de la alimentación, en esta etapa se llevo además un registro de mortalidad diaria.

En el periodo de levante, según los registros de longitud y peso fue necesario incrementar el tiempo de levante de los animales debido a que no tenían aun el tamaño necesario para llevarlos a reproducción porque la densidad que se manejo para la especie fue muy alta.

5.5.1.7 Distribución de los grupos de reproductores para la F2. Una vez los animales llegaron al peso deseado y luego de un muestreo se dio inicio a la selección de las familias para la conformación de los dos grupos, se tuvo en cuenta para el grupo selección animales con el mayor peso y talla, para el grupo testigo se escogieron al azar, en relación tres hembras por macho para los dos grupos, conformando así las ocho familias con 24 hembras y 8 machos, posterior a este proceso los animales dan inicio a su cortejo durante nueve días tiempo en el cual el macho fecunda a las hembras de la familia, pasado este tiempo se procedió a realizar la cosecha de los huevos fecundados extrayéndolos de la cavidad bucal de las hembras, con la diferencia de que en este cortejo se logro que más de una hembra fuese fecundada por el macho (Figura 25).

Figura 25. Cosecha de los huevos de la F2.



Fuente. Esta investigación

5.5.1.8 Obtención de larvas de la segunda generación (F2). Una vez realizada la obtención de los huevos que conformaron la nueva generación (F2), se llevaron a laboratorio de incubación donde se llevo a cabo el proceso de desarrollo larval como en la primera generación con la diferencia de que fue necesario utilizar más incubadoras y mas hapas por cada progenie y posterior a ello se los llevo a levante durante un periodo de 30 días, posterior a esto se elimino el 70% de los animales, todo esto con el objetivo de disminuir la densidad por hapa, luego se

llevo al levante de la nueva progenie durante dos meses más, tiempo en el cual se cerró la etapa de investigación en todo este periodo se tomaron quincenalmente los registros morfo métricos para las dieciséis unidades experimentales.

5.5.1.9 Sistema de incubación. Se utilizo incubadoras tipo Mc Donald con un diámetro de 15 cm y 30 cm de alto, con una capacidad de seis litros. Se manejo un flujo de agua constante con un caudal de 1,5 L/min, la cual recircula con el propósito de mantener movimiento de los huevos además de brindar una mejor calidad de agua y estabilidad en los parámetros fisicoquímicos.

5.5.1.10 Sistema de recirculación. Este sistema lo componen un filtro que es un reactor de pantallas seguido de un filtro biológico que contiene bacterias aerobias nitrosomonas sp y nitrobacter sp. Las Nitrosomonas oxidan el nitrito a nitrato, la desnitrificación es el tercer y último estado de la filtración biológica (Figura 26). En este proceso, el nitrito o el nitrato es convertido por bacterias anaeróbicas facultativas a nitroso y nitrógeno libre. Esta última etapa se emplea solamente cuando se cultivan especies muy sensibles al nitrato, en este caso larvas de tilapia roja.

Figura 26. Reactor de pantalla y filtro biológico.



Fuente. Esta investigación

El agua que pasa por el filtro biológico pasa a un tanque de almacenamiento en donde está ubicado un flotador que esta calibrado a una determinada columna de agua y es aquí donde se acciona la electrobomba que absorbe el agua por medio de tubería de succión y pasa a la tubería de aducción que deposita el agua en un tanque de calentamiento que tiene una capacidad de 5000 lt.

Por la ubicación de la zona y por los cambios climáticos se tuvo la necesidad de adaptar un calentador a gas (Figura 27), que se empleaba en horas de la noche y la madrugada ya que la temperatura llegaba a sus picos más bajos produciendo gran mortalidad en incubación.

Figura 27. Tanque de calentamiento.



Fuente. Esta investigación

La entrada de agua se ubicaba en la parte anterior del tanque y en la misma zona se ubica la entrada del agua caliente esto con el fin de transportarla por toda la zona de almacenamiento y así regular la temperatura.

Posteriormente se producía una caída por gravedad mediante un tubo de 3", llegando a la sala de incubación y distribuyéndose por la tubería del mismo diámetro que se encuentra provista de accesorios tipo "Y", los cuales poseen una reducción a 1/2", seguida de dos tubos de PVC de 1/2" unidos por una llave de registro de bola para ajustar la cantidad de agua necesaria, el tubo de 1/2" tenía al final una llave tipo universal que unía al tubo que descendía a la incubadora, esto producía un flujo de agua ascendente con el objetivo de mantener los huevos en constante movimiento tratando de asemejar la cavidad bucal de la hembra en etapa de incubación.

El agua que es transportada por la tubería que pasa a la incubadora se transporta por la mesa en donde hay un tubo de 4" que se encarga de recibir toda el agua y es transportada nuevamente al reactor de pantallas (Figura 28), logrando así cumplir con la recirculación.

Figura 28. Mesa de incubación.



Fuente. Esta investigación

5.5.1.11 Recolección de datos. Los datos se registraron quincenalmente, a partir de la obtención de larvas y su posterior reabsorción de saco vitelino. Inicialmente se consignaron las cifras correspondientes a porcentaje de eclosión (PE) para las dos generaciones en ambos grupos, posteriormente el peso (P), longitud (L) de las larvas 15 días post eclosión y finalmente la supervivencia (S) cada quince días.

5.5.1.12 Alimentación. En cuanto a los reproductores se inicio su alimentación, utilizando balanceado comercial con un contenido del 30% de proteína (Tabla 8).

Tabla 7. Parámetros nutricionales del balanceado para reproductores.

Alimento balanceado	%
Proteína mínimo	30
Grasa mínimo	6
Fibra máxima	8
Humedad máxima	12
Ceniza máximo	12

ITALCOL. Manejo industrial de las tilapias. Palmira: ITALCOL, 2007. p. 16

Se procedió a moler el balanceado para suministrarlo a orillas de los estanques. Los alevinos fueron alimentados con un concentrado comercial en polvo con un contenido de proteína de 40% (Tabla 9).

Tabla 8. Parámetros nutricionales del balanceado para larvas y alevinos.

Alimento balanceado	%
Proteína mínimo	40.0
Grasa mínimo	6.0
Fibra máxima	6.0
Humedad máxima	12.0
Ceniza máximo	12.0

ITALCOL. Manejo industrial de las tilapias. Palmira: ITALCOL, 2007. p. 14

La cantidad de concentrado a suministrar se hizo de acuerdo a las tablas de alimentación según el peso corporal, (biomasa) se utilizo el método al voleo. (Figura 29). Se alimentó seis veces al día, tres veces en horas de la mañana y tres en la tarde en alevinos y cuatro raciones para reproductores.

Figura 29. Alimentación al voleo en alevinaje.



Fuente. Esta investigación

5.5.1.13 Muestreos. Se realizaron muestreos cada 15 días para llevar un control sobre incremento de peso y talla, además ajustar el porcentaje de alimentación y el concentrado a suministrar de acuerdo a tablas de alimentación, es decir las etapas de alevinaje y pre engorde se realizaron bajo condiciones comerciales, además la supervivencia se maneja diariamente en registros para este parámetro.

5.5.1.14 Selección de los animales por peso y longitud. Se procedió a pesar y medir cada animal (Figura 30), posteriormente se eligió los que presentaron mayor peso y tamaño, el cual fue para machos 1,5 de desviación estándar por encima de la media y para hembras 0,5 de desviación estándar por encima de la media, el porcentaje de selección para este carácter fue del 30%.

Figura 30. Toma de parámetros morfométricos.



Fuente. Esta investigación

Se realizó igual procedimiento para esta variable en las dos generaciones, donde el porcentaje de selección fue del 15% y se comparó entre grupos y además se evaluó el adelanto genético (AG). Así entonces se trabajó una presión de selección cercana para hembras del 5 al 15% y para machos de 5 a 7,5%. Este factor se adecuó de acuerdo a los resultados parciales obtenidos.

5.5.1.15 Seguimiento de los parámetros fisicoquímicos del agua. Se llevó un monitoreo quincenal de la calidad fisicoquímica del agua en las fases de reproducción, inducción, incubación, Larvicultura y alevinaje (Figura 31), se utilizó un multiparámetro y se evaluó oxígeno disuelto, pH y temperatura (Anexo 1). Se tomó estos parámetros a la entrada y salida de agua, durante todo el periodo de investigación (Figura 32).

Figura 31. Toma de parámetros en etapa de incubación.



Fuente. Esta investigación

Figura 32. Toma de parámetros fisicoquímicos en estanque e incubación.



Fuente. Esta investigación

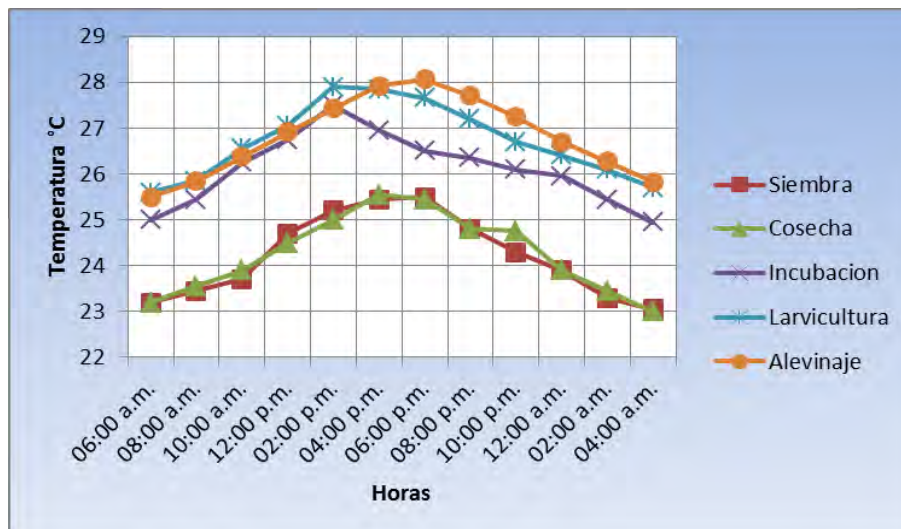
• **Temperatura, Oxígeno, pH.** Al realizar el monitoreo continuo durante el día se determinó que los picos más altos de temperatura se presentaron en horas de la tarde llegando a 25.5 °C, en la época de descanso, siembra y cosecha, este parámetro tiene nivel bajo de variación debido a que estas tres etapas tuvieron su

desarrollo en el mismo espacio físico, por ende los picos más bajos para este parámetro se presentaron en horas de la madrugada, alcanzando los 23 °C. Lo mismo ocurrió para los otros parámetros monitoreados, así: el Oxígeno logro picos entre 4,57 mg/l como tope máximo y 3,21 mg/l como mínimo, el pH mantuvo un rango entre 6 y 7,7.

La temperatura en la etapa de incubación no tuvo una variación muy baja debido a que en esta fase no se puede permitir, ya que una baja sería mortal para la producción incubada, la temperatura día alcanzo como tope máximo 27,5°C y en la noche como pico menor 25°C, el oxígeno registro valores entre 5,2 y 5,7 mg/l, esto debido al estricto control que se maneja en el laboratorio de incubación y una variación de pH de 6,8 a 7,3, valores tolerables en esta etapa de desarrollo.

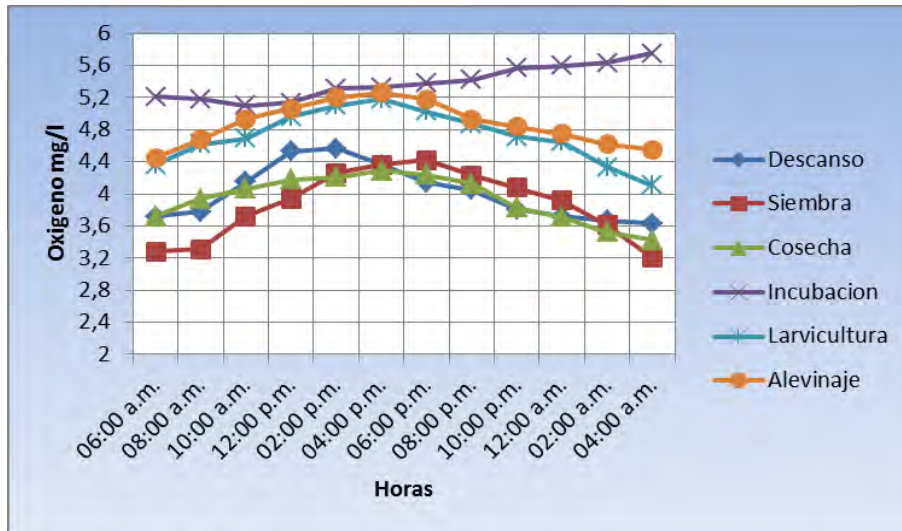
La fase de larvicultura y alevinaje se manejan en el mismo espacio físico, por ende no presentaron mayor variación, registrando temperaturas mucho más altas en horas de la tarde con 28 °C y topes mínimos en horas de la madrugada con 27,7°C, esta baja diferencia se presenta gracias a que el levante de la especie se llevo a cabo en estanques con invernadero. En cuanto al oxígeno no se reporto mayor diferencia logrando así un rango entre 4,1 a 5,1 mg/l y para pH de 6,3 a 7,5. La secuencia y la variación de estos parámetros para todas las etapas de desarrollo se pueden observar en las graficas 1, 2 y 3.

Grafica 1. Comportamiento de la Temperatura en las diferentes etapas de desarrollo.



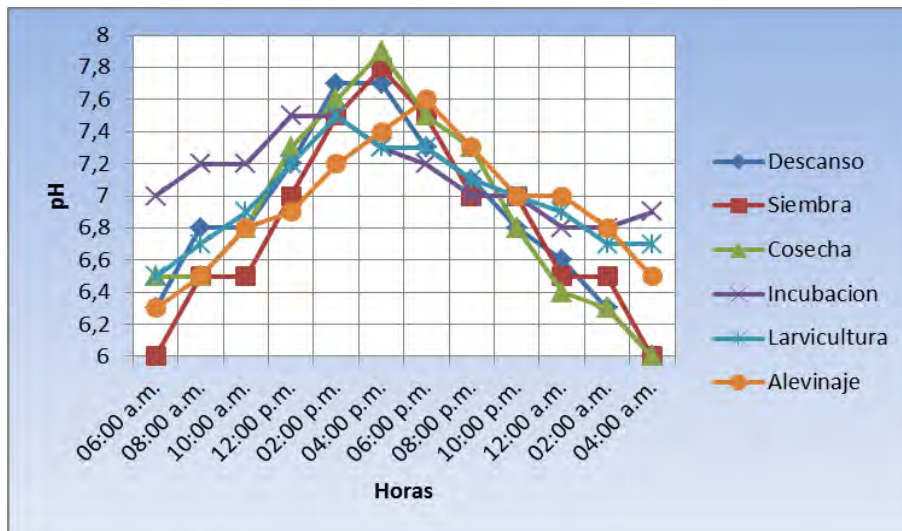
Fuente. Esta investigación

Grafica 2. Comportamiento del Oxígeno en las diferentes etapas de desarrollo.



Fuente. Esta investigación

Grafica 3. Comportamiento de la pH en las diferentes etapas de desarrollo.



Fuente. Esta investigación

5.5.1.16 Tamaño de la muestra. El total de la población fue de 1896 animales para el grupo testigo en la progenie uno y 1824 para el grupo selección en la misma generación y 4036 animales para el grupo testigo y 4264 para selección en la generación dos. La distribución según los muestreos y el tamaño de la muestra se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1. Distribución del tamaño de muestra para cada muestreo.

Grupos	Progenie 1		Progenie 2			
	Testigo	Selección	Testigo ♀1	Testigo ♀2	Selección ♀1	Selección ♀2
Muestreo 1	210	219	280	280	256	256
Muestreo 2	210	219	280	280	256	256
Muestreo 3	246	231	243	243	270	270
Muestreo 4	246	231	243	243	270	270
Muestreo 5	246	231	243	243	270	270
Muestreo 6	246	231	243	243	270	270
Muestreo 7	246	231	243	243	270	270
Muestreo 8	246	231	243	243	270	270
			2018	2018	2132	2132
Total	1896	1824	4036		4264	

Fuente. Esta investigación

5.6 Diseño experimental y análisis estadístico.

5.6.1 Diseño experimental. Esta investigación utilizó un diseño completamente al azar con dos grupos experimentales, cada uno tuvo cuatro replicas conformadas por un macho y tres hembras, para un total de ocho padres y veinticuatro madres. El modelo matemático propuesto es el siguiente:

$$Y_{IJK} = \mu + \tau_j + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

μ = Media común de la población

τ_j = Efecto aleatorio del padre

ϵ_{ij} = Error, variación atribuida a factores de origen genético y no genético incluidos en el modelo.

5.6.1.1 Grupos experimentales. Se evaluaron dos grupos, el primero no se sometió a ninguna selección y en el segundo se utilizó el método de selección masal para las variables peso y talla, las unidades experimentales fueron estanques homogéneos, los grupos se conformaron de la siguiente manera:

G1: Grupo Testigo o control.

G2: Grupo de selección.

Para el análisis conjunto de las características y estimar las componentes de (co) varianza para las variables peso y talla analizadas individualmente se aplicó un análisis de varianza ANOVA y covarianza ANCOVA.

Para las diferencias significativas entre las variables se realizó la prueba de Tukey para determinar el mejor tratamiento, con una confiabilidad del 95%. La información obtenida es presentada mediante técnicas de estadística descriptiva, además se aplicaron pruebas de correlación.

5.6.1.2 Comparación de los grupos. Para hacer la relativa comparación la muestra se utilizó la siguiente expresión:

- **Tamaño de muestra**

$$N = \frac{NZ_{\infty/2}^2 * \delta^2 / (N-1)e^2 + Z_{\infty/2}^2 * \delta^2}{n/(1 + n/N)}$$

Dónde:

n : varianza de la muestra / varianza de la población

N: es el tamaño de la población.

δ^2 : Varianza de muestra.

e: Error máximo admitido

Con el 95% de confianza, un margen de error de varianza en la muestra de 0.05, esto resulta de $(100-95)/100$. Ajuste de la varianza de la población a $(0.015)^2 = 0.000225$

Para establecer las diferencias estadísticas entre las variables peso y talla se realizó mediante el software de aplicación estadística SAS (Statistical Analysis System) con el fin de establecer la existencia de diferencias significativas entre los grupos.

5.6.1.3 Variables a evaluar.

- **Incremento de peso.** Se define como la ganancia de peso del individuo o la población en un determinado periodo de tiempo, se obtuvo restando los pesos vivos de los peces con respecto al anterior muestreo, se realizó con una balanza y se calcularon de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Ip = Pf - Pi$$

Dónde:

I_p = Incremento de peso

P_f =Peso final

P_i =Peso inicial

- **Incremento de talla.** Es el incremento periódico de talla estimado en quince días, se calculó mediante las diferencias de longitud, esta medida se la obtuvo mediante muestreos quincenales con un ictiómetro, que igualmente se consignaron en registros para evaluar el rendimiento de cada tratamiento y se calculo de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$I_t = T_f - T_i$$

Dónde:

I_t = Incremento de talla

T_f = Talla final

T_i = Talla inicial

- **Porcentaje de eclosión.** Variable que determina la cantidad de embriones que eclosionan en toda la población de huevos sembrados. Se determino mediante la siguiente fórmula:

$$\%E = \frac{(1 - \#TEM)}{\#TEI} * 100$$

Dónde:

%E: Porcentaje de eclosión

TEM: Número total de embriones no eclosionados

TEI: Número total de embriones iniciales.

- **Supervivencia.** Variable expresada en porcentaje que indica el número de individuos vivos en un periodo de tiempo y se calculo de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$S = \frac{1 - (\#TAM)}{\#TAI} * 100$$

Dónde:

S: supervivencia

TAM: número inicial de animales

TAI: número final de animales

5.6.2 Análisis genético evaluado.

5.6.2.1 Heredabilidad. Para estimar los índices de herencia, se utilizó la siguiente expresión:

$$h^2 = \frac{4\sigma^2_s}{\sigma^2_s + \sigma^2_e}$$

Dónde:

h^2 = Heredabilidad
 σ^2_s = Varianza del padre
 σ^2_e = Varianza del error

5.6.2.2 Varianza y covarianza

$$\sigma^2(P_1) = \frac{(QM(P_2) - QM(R_1))}{k}$$

$$\sigma^2(P_2) = \frac{(QM(P_2) - QM(R_2))}{k}$$

$$Cov(P_1, P_2) = \frac{(PM(P) - PM(R))}{k}$$

$$\sigma^2(R_1) = QM(R_1)$$

$$\sigma^2(R_2) = QM(R_2)$$

$$Cov(R_1, R_2) = PM(R)$$

Dónde:

QM = Cuadrado medio

PM = Producto medio

$\sigma^2(P_1)$ = Varianza del padre (característica uno)

$\sigma^2(P_2)$ = Varianza del padre (característica dos)

$Cov(P_1, P_2)$ = Covarianza de los padres

$\sigma^2(R_1)$ = Varianza del error (característica uno)

$\sigma^2(R_2)$ = Varianza del error (característica dos)

$Cov(R_1, R_2)$ = Covarianza del error

k = Promedio ponderado de la progenie de cada padre

5.6.2.3 Correlación genética. Es la interdependencia entre datos cuantitativos o cualitativos, logrando ser extendida a más de dos variables aleatorias. Frecuentemente se refiere a la relación entre variables aleatorias o entre rangos y se calculó así:

$$\sigma^2(G_1) = 4\sigma^2(P_1)$$

$$\sigma^2(G_2) = 4\sigma^2(P_2)$$

$$Cov(G_1, G_2) = 4Cov(P_1, P_2)$$

$$r_{G_1 G_2} = \frac{Cov(G_1, G_2)}{\sqrt{\sigma^2(G_1)\sigma^2(G_2)}}$$

Dónde:

$r_{G_1 G_2}$ = Correlación genética

$\sigma^2(G_1)$ = Varianza genética (característica uno)

$\sigma^2(G_2)$ = Varianza genética (característica dos)

$Cov(G_1, G_2)$ = covarianza genética

5.6.2.4 Correlación fenotípica. Está definida como la razón de correlación entre dos caracteres métricos, medidos en un mismo elemento, estimado directamente con el producto-momento de la correlación estadística.

$$\sigma^2(F_1) = \sigma^2(P_1) + \sigma^2(R_1)$$

$$\sigma^2(F_2) = \sigma^2(P_2) + \sigma^2(R_2)$$

$$Cov(F_1, F_2) = Cov(P_1, P_2) + Cov(R_1, R_2)$$

$$r_{F_1 F_2} = \frac{Cov(F_1, F_2)}{\sqrt{\sigma^2(F_1)\sigma^2(F_2)}}$$

Dónde:

$r_{F_1 F_2}$ = Correlación fenotípica

$\sigma^2(F_1)$ = Varianza fenotípica (característica uno)

$\sigma^2(F_2)$ = Varianza fenotípica (característica dos)

$Cov(F_1, F_2)$ = covarianza fenotípica

5.6.2.5 Correlación ambiental. Es el efecto de todos los factores que varían, algunos de los cuales pueden causar correlación positiva y otros negativa, aquí se consideraron las correlaciones de las desviaciones ambientales junto con las desviaciones genéticas no aditivas. Su grado de asociación entre ellas permite medir la variación existente, se calcula así:

$$\sigma^2(E_1) = \sigma^2(R_1) - 3\sigma^2(P_1)$$

$$\sigma^2(E_2) = \sigma^2(R_2) - 3\sigma^2(P_2)$$

$$Cov(E_1, E_2) = Cov(R_1, R_2) - 3Cov(P_1, P_2)$$

$$r_{E_1 E_2} = \frac{Cov(E_1, E_2)}{\sqrt{\sigma^2(E_1)\sigma^2(E_2)}}$$

Dónde:

$r_{E_1 E_2}$ = Correlación ambiental

$\sigma^2(E_1)$ = Varianza ambiental (característica uno)

$\sigma^2(E_2)$ = Varianza ambiental (característica dos)

$Cov(E_1, E_2)$ = covarianza ambiental

5.6.3 Adelanto genético. Es el efecto de la selección hacia una característica en particular y su cambio en el promedio en la dirección deseada de la población depende de: intensidad, exactitud (Heredabilidad), variación genética e intervalo generacional, datos que se pueden aplicar a cualquier tipo de selección. Se calcula así:

$$\Delta G_a = \frac{(r_{ac})(i)(\delta_a)}{IG}$$

Donde:

r_{ac} : exactitud de la selección.

(i) : Intensidad de Selección.

(δ_a) : Variación Genética.

IG: Intervalo generacional

6 PRESENTACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Estadística descriptiva para peso (P) y longitud (L).

Las cifras de la estadística descriptiva correspondientes a las variables peso (P) y longitud (L), en los muestreos uno, cuatro y ocho se presentan en los cuadros 2 y 3. Esta información se obtuvo para las dos generaciones evaluadas (Anexo 1 y 2).

Cuadro 2. Estadística descriptiva de las variables fenotípicas peso (P) y longitud (L), en los muestreos 1, 4 y 8 en la generación uno.

Grupo	Variable	Muestreo	N	Media	Desviación Estándar	Máx.	Mín.
Testigo	Peso	1	210	0.042	0.029	0.45	0.02
		4	246	4.926	0.829	6.3	3.6
		8	246	80.529	14.083	114.3	64
Selección	Peso	1	219	0.044	0.003	0.050	0.035
		4	231	6.475	0.712	7.5	4.8
		8	231	98.910	12.066	140	60
Testigo	Longitud	1	210	1.3	0.08	1.8	0.8
		4	246	4.07	0.866	5.8	2.4
		8	246	20.340	1.948	28.3	1.7
Selección	Longitud	1	219	1.324	610.091	1.47	0.45
		4	231	12.778	2.091	15.6	8.5
		8	231	20.583	0.106	17	17.359

Fuente. Esta investigación

Cuadro 3. Estadística descriptiva de las variables fenotípicas peso (P) y longitud (L), en los muestreos 1, 4 y 8, para la generación dos.

Grupo	Variable	Muestreo	N	Media	Desviación Estándar	Máx.	Mín.
Testigo	Peso	1	280	0.066	0.01	0.087	0.042
		4	243	5.771	0.838	7.29	4.45
		8	243	50.846	2.596	58.4	42.1
Selección	Peso	1	256	0.071	0.037	0.48	0.045
		4	270	8.12	0.696	9.17	6.47
		8	270	63.356	2.454	68.4	57.4
Testigo	Longitud	1	280	1.901	0.195	2.80	1.310
		4	243	5.14	0.880	6.98	3.6
		8	243	23.68	1.859	27.83	16.73

Fuente. Esta investigación

Continuación cuadro 3. Estadística descriptiva de las variables fenotípicas peso (P) y longitud (L), en los muestreos 1, 4 y 8, para la generación dos.

Grupo	Variable	Muestreo	N	Media	Desviación Estándar	Máx.	Mín.
Selección	Longitud	1	256	1.435	0.091	1.570	0.543
		4	270	6.117	0.743	7.4	4.2
		8	270	22.93	0.902	24.7	19.5

Fuente. Esta investigación

El incremento de (P) y (L), representó un valor de 0,65 gr/día y 0,19 cm/día, respectivamente, para el grupo selección en la primera generación y de 0,90 gr/día y 0,18 cm/día en la segunda generación, promedios similares a los calculados por Pachón⁴⁶ en la misma estación.

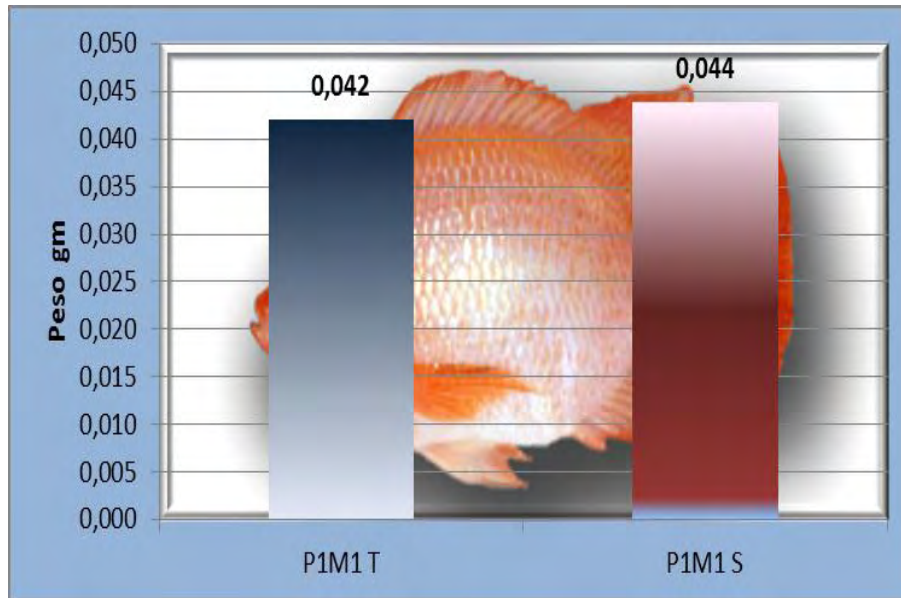
6.1.1 Análisis de varianza para las variables peso (P) y longitud (L). El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre el grupo testigo (GT) y el grupo selección (GS) en (P) y (L) en cada generación, los animales del grupo selección presentaron mejor comportamiento a partir de los sesenta días en relación a los animales del grupo testigo en las dos generaciones (G1 y G2) diferencias expresadas en las graficas 1 a 18; resultados similares fueron encontrados por Henao y Montero.⁴⁷

6.1.2 Análisis de varianza para las variables peso (P) y longitud (L) en la generación uno. El análisis de varianza para las variables (P) y (L) entre los grupos testigo (GT) y selección (GS), permitió concluir que en el muestreo uno a los 15 días no existen diferencias significativas ($p > 0.05$) (Anexo 3 y 4).

⁴⁶ PACHON, D. caracterización fenotípica de una población de tilapia roja. (*Oreochromis sp*) universidad de ciencias aplicadas y ambientales UDCA, ciencias agropecuarias, facultad de zootecnia, Bogotá d.c.2009.

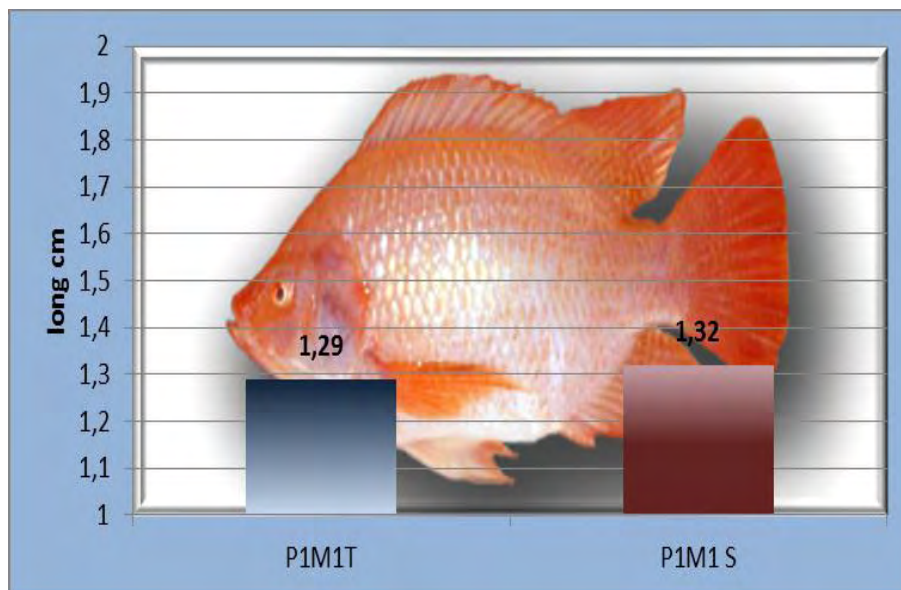
⁴⁷ HENAO, M.; MONTERO, J. 1994 Comparación técnico-económica de la producción de Tilapia roja manchada y de la Tilapia roja cereza. Trabajo de grado (Médico Veterinario y Zootecnista). Manizales (Colombia): Universidad de Caldas, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. 64 p.

Grafica 4. Progenie uno, peso para el muestreo uno en los dos grupos.



Fuente. Esta investigación.

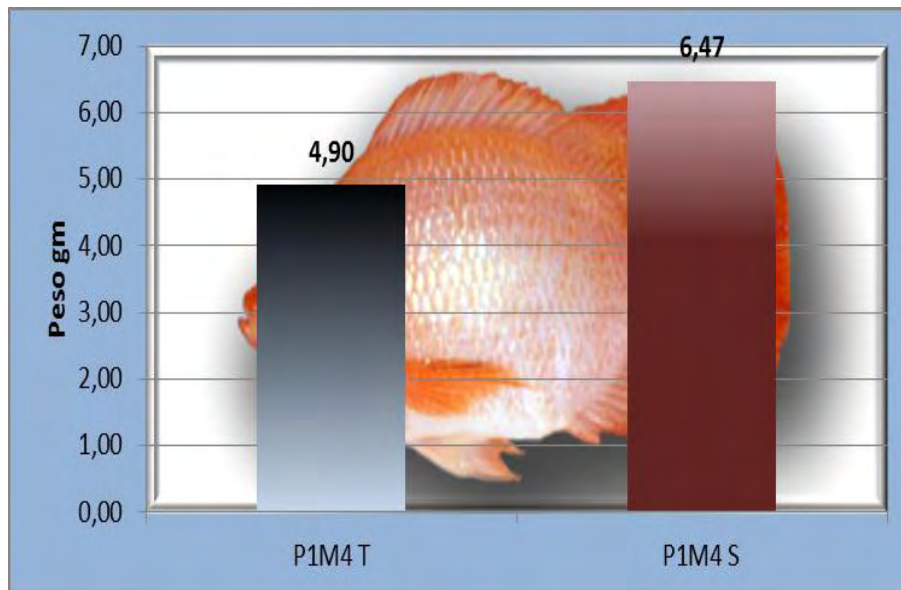
Grafica 5. Progenie uno, longitud para el muestreo uno en los dos grupos.



Fuente. Esta investigación.

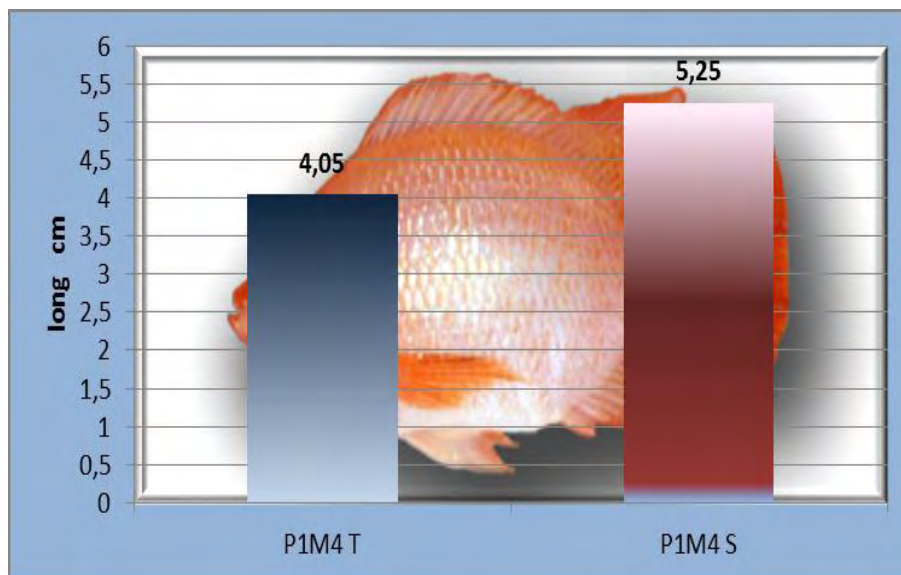
En el muestreo cuatro a los 60 días el análisis de varianza mostró que entre (GT) Y (GS) no existen diferencias significativas para (P) ($p > 0.05$) y (L) ($p > 0.022$) (Anexo 7 y 8).

Grafica 6. Progenie uno, peso para el muestreo cuatro en los dos grupos.



Fuente. Esta investigación.

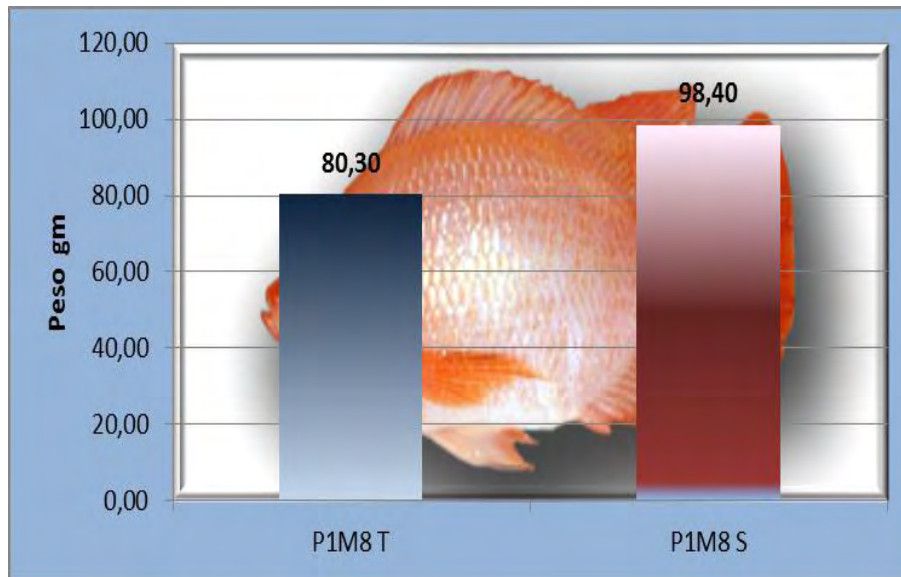
Grafica 7. Progenie uno longitud para el muestreo cuatro en los dos grupos.



Fuente. Esta investigación.

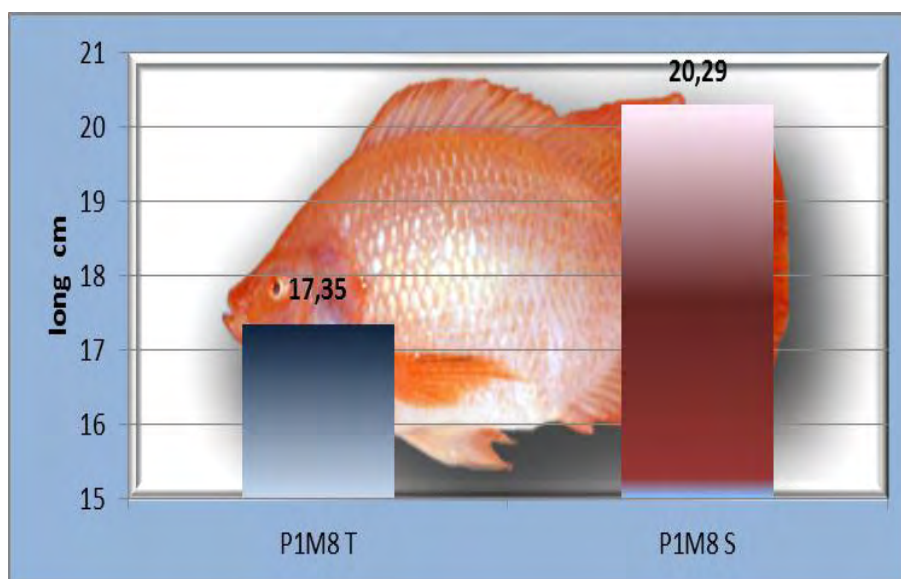
Por último el análisis de varianza para el muestreo 8 a los 120 días muestra diferencias significativas entre GT y GS ($p < 0.0093$) para (P) (Anexo 11) y para (L) ($p < 0.054$) (Anexo 12). El análisis realizado mediante la prueba de Tukey permitió concluir que la media de GS $98,910 \pm 12,066$ gr fue mejor que la de GT de $80,529 \pm 14,083$ g y GS y (L) de GT $24,776 \pm 0,069$ cm y GS $21,33 \pm 0,807$ cm (Anexos 13 y 14).

Grafica 8. Progenie uno, peso para el muestreo ocho en los dos grupos.



Fuente. Esta investigación.

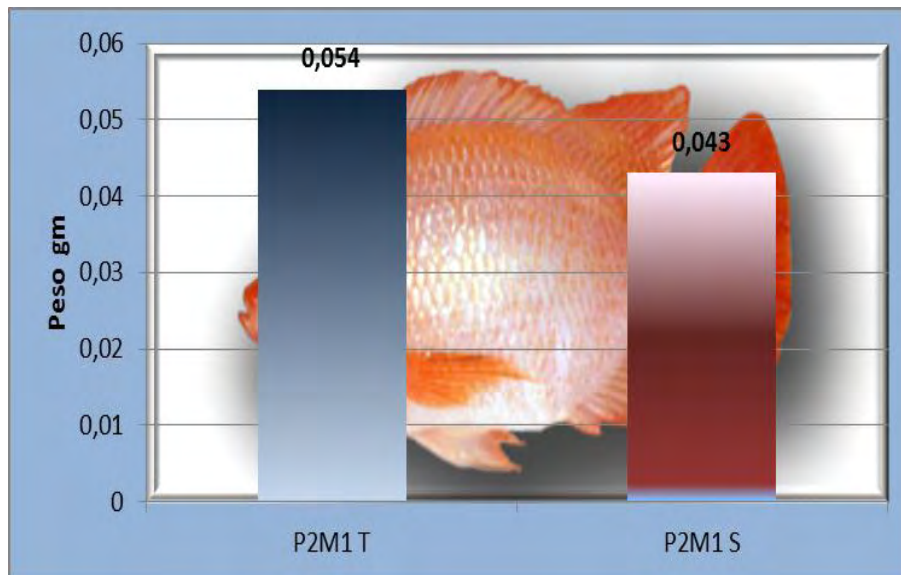
Grafica 9. Progenie uno, longitud para el muestreo ocho en los dos grupos.



Fuente. Esta investigación.

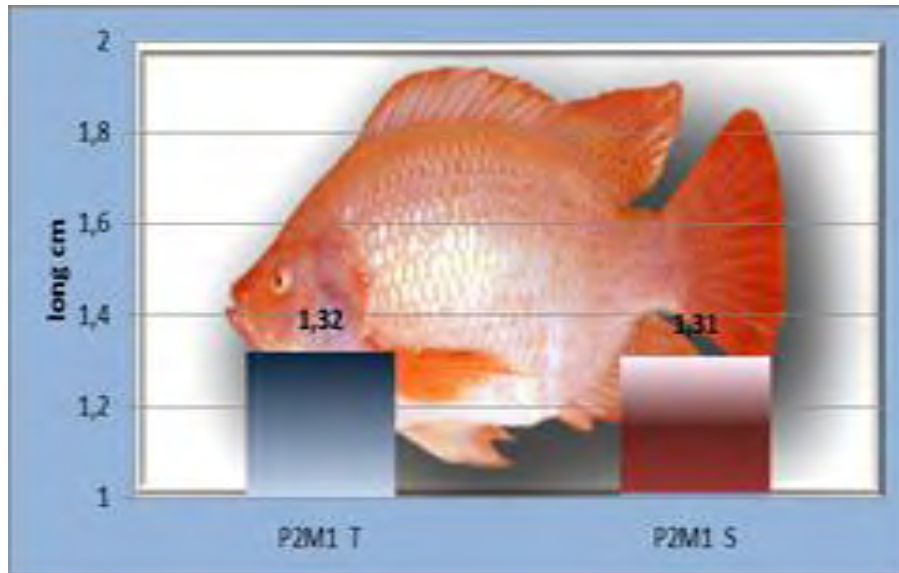
6.1.3 Análisis de varianza para las variables peso (P) y longitud (L), generación dos. El análisis de varianza para (P) y (L) entre los grupos testigo (GT) y selección (GS) de las dos progenies, permitió concluir que en el muestreo uno a los 15 días no existen diferencias significativas ($p > 0.05$).

Grafica 10. Progenie dos, madre uno, peso para el muestreo uno en los dos grupos.



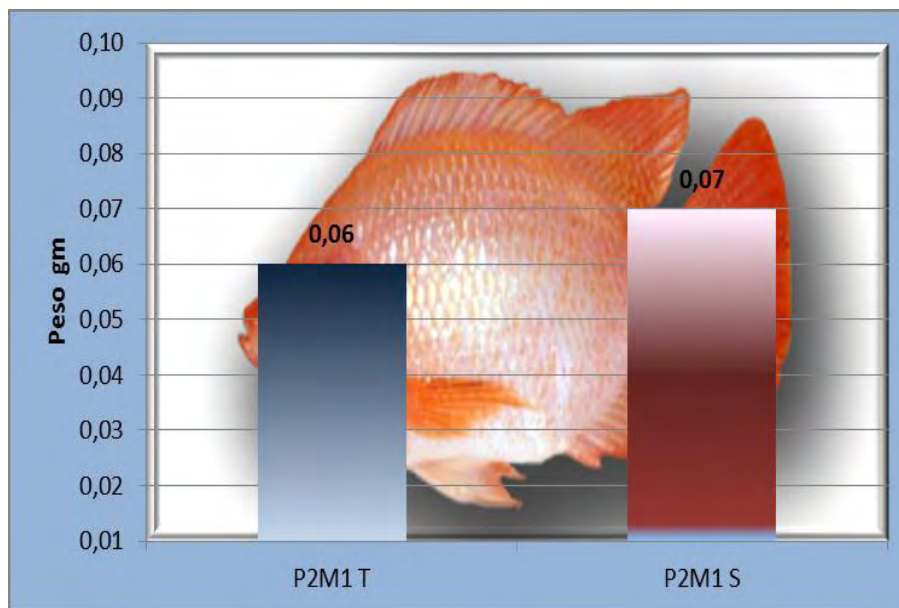
Fuente. Esta investigación.

Grafica 11. Progenie dos, madre uno longitud, para el muestreo uno en los dos grupos.



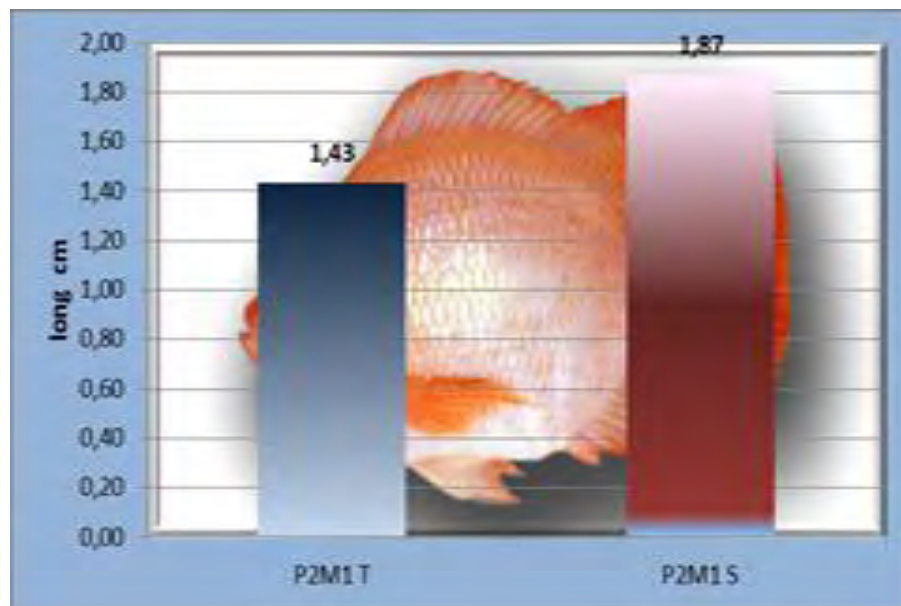
Fuente. Esta investigación.

Grafica 12. Progenie dos, madre dos peso para el muestreo uno en los dos grupos.



Fuente. Esta investigación.

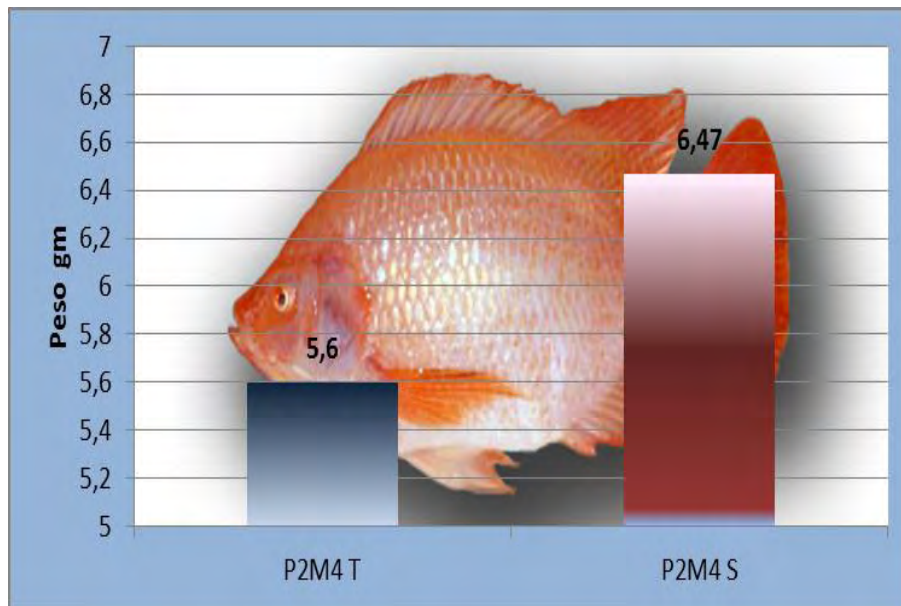
Grafica 13. Progenie dos, madre dos longitud para el muestreo uno en los dos grupos.



Fuente. Esta investigación.

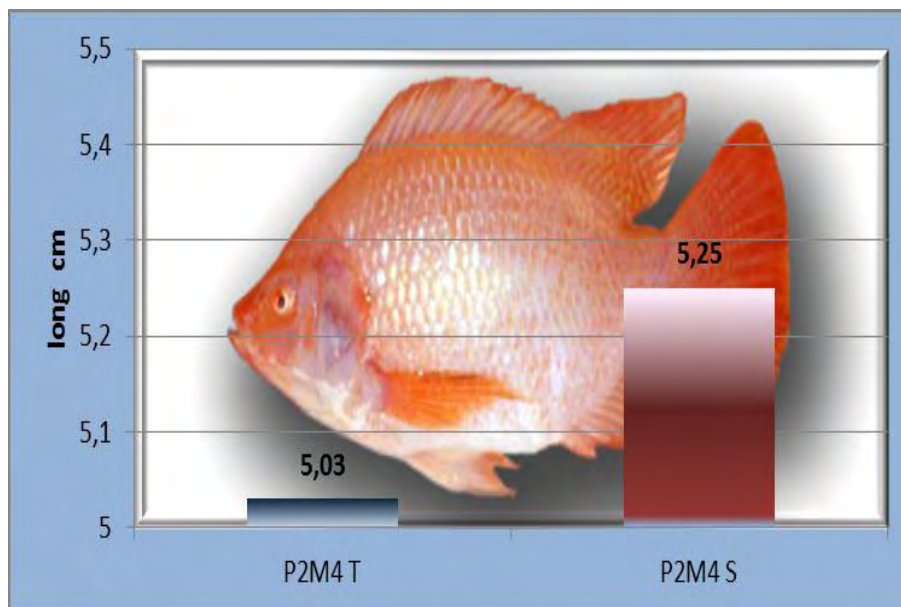
- El análisis de varianza para el muestreo cuatro a los 60 días presenta diferencias significativas entre los grupos (GT) y (GS) para:
 - La progenie de la madre uno las variables (P) ($p < 0.01$) y (L) ($p < 0.064$). Anexos (21 y 22)
 - Mientras que para la progenie de la madre dos los resultados fueron; (P) ($p < 0.0395$) y (L) ($p < 0.00$) (Anexos 23 y 24).
- La prueba de Tukey para la progenie de la madre uno permitió concluir que:
 - Las medias del GS fueron mejores que las de GT, tal como se indica en las figuras 7 a 10, GT $5,58 \pm 0,834$ g y GS $7,96 \pm 0,648$ g y (L) de GT $1,319 \pm 0,074$ g y GS $1,35 \pm 0,104$ cm (Anexos 25 y 26).
 - Para la progenie de la madre dos (P) $5,771 \pm 0,838$ g, para GT y $8,12 \pm 0,696$ g para GS y (L) GT de $5,14 \pm 0,88$ cm y GS $6,11 \pm 0,743$ cm (Anexos 27 y 28).

Grafica 14. Progenie dos, madre uno, peso para el muestreo cuatro en los dos grupos.



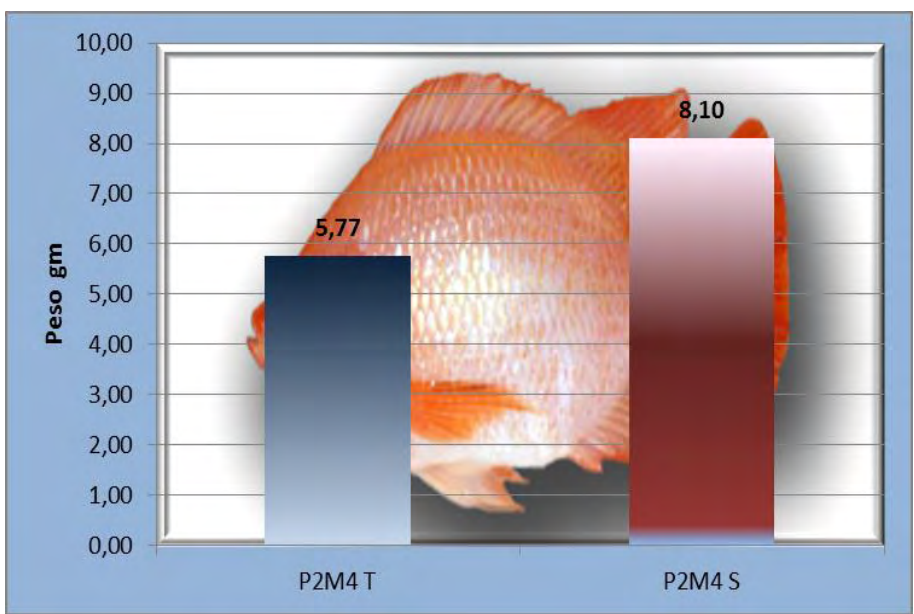
Fuente. Esta investigación.

Grafica 15. Progenie dos, madre uno longitud para el muestreo cuatro en los dos grupos.



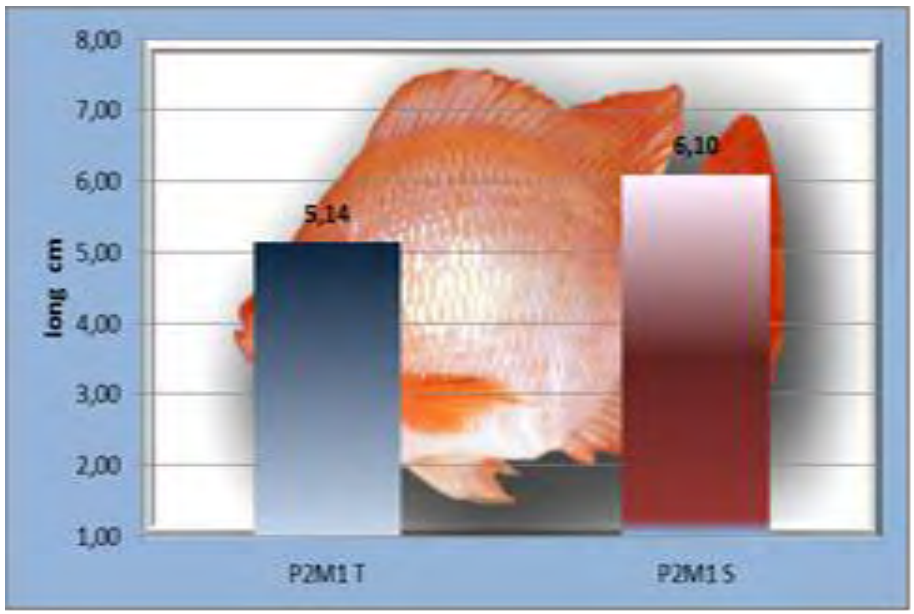
Fuente. Esta investigación.

Grafica 16. Progenie dos, madre dos peso, para el muestreo cuatro en los dos grupos.



Fuente. Esta investigación.

Grafica 17. Progenie dos, madre dos longitud para el muestreo cuatro en los dos grupos.



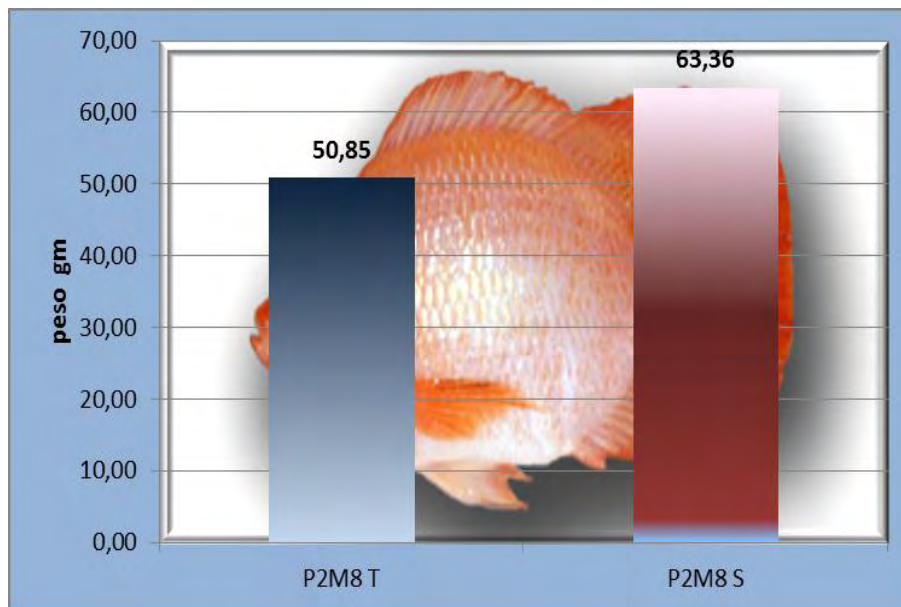
Fuente. Esta investigación.

- Por último el análisis de varianza para el muestreo ocho a los 120 días mostró que:

Entre (GT) y (GS) existen diferencias significativas entre las variables (P) ($p < 0.05$) y (L) ($p < 0.029$), en la progenie de la madre uno (Anexos 3 y 4) y ($p < 0.0008$) para (P); ($p < 0.0001$) para (L), en la progenie de la madre dos (anexos 29 y 30).

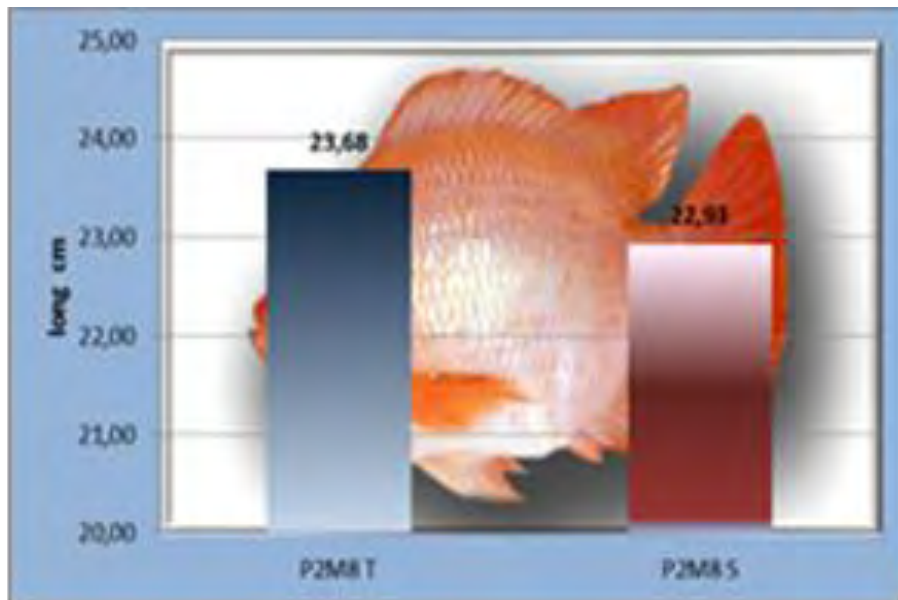
El análisis realizado mediante la prueba de Tukey permitió concluir que las medias del GS fueron mejores que las de GT, (Figuras 10 a 14), (P) $28,2 \pm 1,232$ g en GT y GS $39,232 \pm 2,232$ g y (L) $24,776 \pm 0,069$ cm en GT y en GS de $21,33 \pm 0,807$ cm (Anexos 31 y 32) y (P) $50,846 \pm 2,596$ g para GT y en GS $63,356 \pm 2,494$ g y (L) $23,68 \pm 1,858$ cm para GT y en GS de $22,93 \pm 0,902$ cm, respectivamente.

Grafica 18. Progenie dos, madre uno peso para el muestreo ocho en los dos grupos.



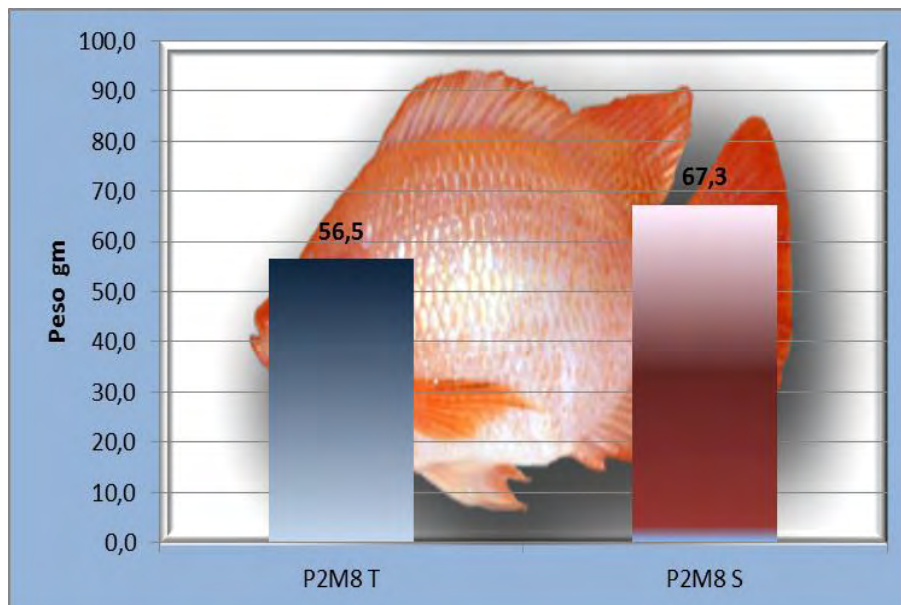
Fuente. Esta investigación.

Grafica 19. Progenie dos, madre uno longitud para el muestreo ocho en los dos grupos.



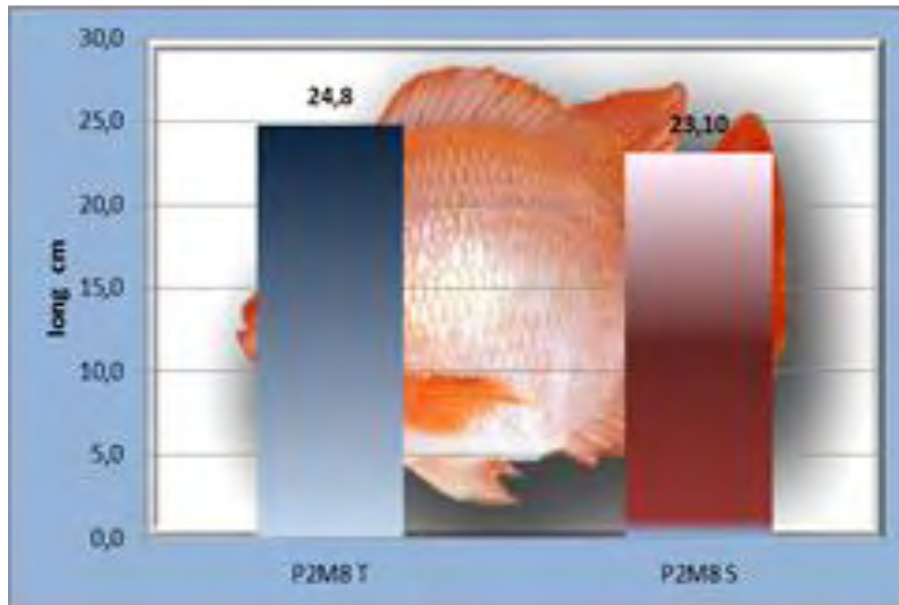
Fuente. Esta investigación.

Grafica 20. Progenie dos, madre dos peso para el muestreo ocho en los dos grupos.



Fuente. Esta investigación.

Grafica 21. Progenie dos, madre dos longitud para el muestreo en los dos grupos.



Fuente. Esta investigación.

En ambas generaciones se registraron diferencias significativas entre las varianzas de las poblaciones testigo y selección en periodos similares; debido a que en esta etapa comúnmente el peso empieza a diferir en función de la expresión del genotipo, potencial individual y su interacción con el ambiente⁴⁸. Sin embargo, las diferencias para la variable longitud no fueron altamente significativas, en las dos generaciones para el grupo selección resultados coincidentes con los descritos por Ruiz Peña; Montoya; Franco y Constaín⁴⁹. Por último se puede analizar que si bien los animales del grupo selección fueron 6,4 % más pesados y 6,3% más largos que los del grupo testigo, en las dos generaciones; estos resultados son menores a los reportados por Jarimopas y Veerasidh⁵⁰, quienes encontraron que la línea selecta fue 15,7% más pesada que el testigo.

A partir del muestreo seis y en conclusión en el muestreo ocho las variables de respuesta de los animales selectos fueron significativamente superiores a las del testigo. En la progenie dos los selectos fueron 23% más pesados y 8 % más

⁴⁸ GALMAN, O., MOREAU, J., y R. AVTALION. 1987. Breeding characteristics and growth performance of philippine Red Tilapia. The second International Symposium on Tilapia in aquaculture. Bangkok Thailand.

⁴⁹ RUIZ P y MONTOYA P; Facultad Selección masal por peso y coloración en tilapia roja, Mass selection by weight and coloration in red tilapia, de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, AA 237. Palmira, Valle del Cauca, Colombia. Piscícola La Linda.

⁵⁰ JARIMOPAS, P.; VEERASIDH, P. 1988. Realized Response Thai Red Tilapia to weight-specific selection for growth (3rd-5th generations). *In: Asian Fisheries Forum*, 1, Manila (Philippines). Memories.

largos que el testigo, resultados similares a una de las replicas de la investigación de Martínez y Velásquez⁵¹.

La diferencia entre la media de la población seleccionada y el control fue de 22,6 g, 3,4 cm, para peso y longitud, respectivamente. Este resultado fue superior al hallado por Remolina⁵², quien mejoró el peso en un 17% a los 180 días en el peso promedio de la población seleccionada.

La efectividad de la selección masal en las diferentes edades puede deberse a la alta diversidad genética Torres⁵³ presentadas en esta estación debido a la selección de los mejores reproductores en diversas estaciones del país y de Sur América principalmente de Brasil. Hurtado,⁵⁴ manifiesta que el crecimiento de la tilapia roja es isométrico en todas las etapas de su desarrollo a partir de alevino y depende de varios factores como son temperatura, densidad de individuos en el ambiente y tipo de alimento disponible principalmente. Pero niveles de desarrollo genético-ambiental afecta directamente el incremento de variables productivas cuando se emplea un programa de selección dentro de una estación piscícola.

6.2 Porcentaje de eclosión.

Los resultados promedios obtenidos para la primera generación; 91,23% en GT y 90,25% en GS; en la segunda generación los resultados fueron y 94,53% en GT y 95,49% en GS, para la progenie de la madre uno y para la progenie de la madre dos; 94,88% en GT y 94,08% en GS, como se indica en la Figura 23. Periodo en el cual no se encontraron diferencias significativas entre GT y GS ($P > 0,05$) (Anexo 31), en las dos generaciones.

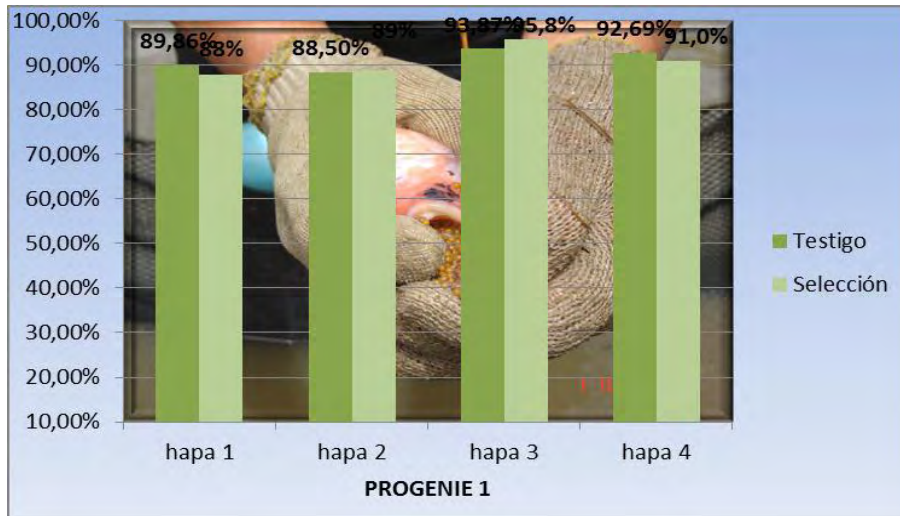
⁵¹ MARTÍNEZ, J.; VELÁZQUEZ, C. 1998. Estudio del crecimiento en cinco coloraciones de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) bajo condiciones del Valle del Cauca. Trabajo de grado (Zootecnista). Palmira (Colombia): Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias. 82 p.

⁵² REMOLINA, E. 1997. Respuesta a la selección masal para crecimiento y conformación en *O. niloticus* (Egipcia). Trabajo de grado (Zootecnista). Bogotá (Colombia): Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales -UDCA. 107 p.

⁵³ TORRES J. 2004. Caracterización molecular de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) en el Valle del Cauca, utilizando marcadores moleculares RAPD. Trabajo de Grado (Zootecnia). Palmira: Universidad Nacional de Colombia. Sede 109 p.

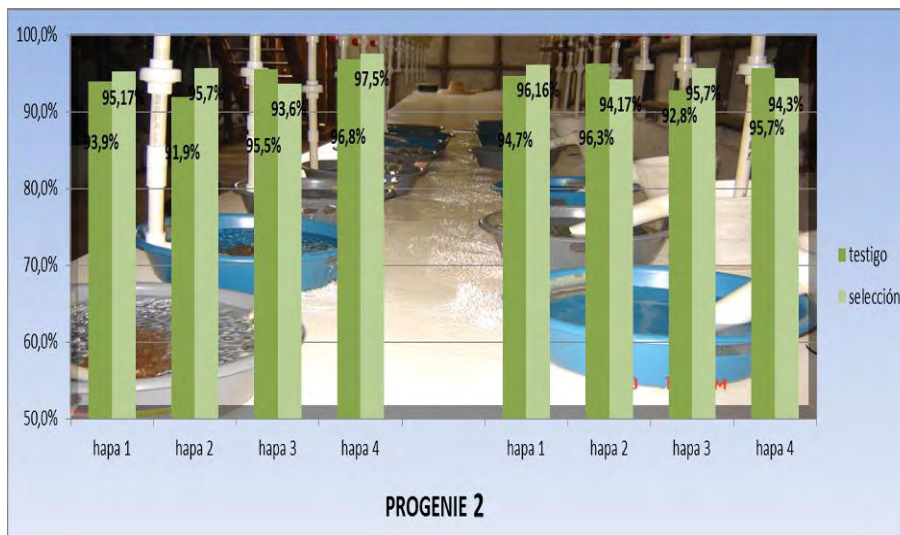
⁵⁴HURTADO. Op. cit.,p. 13.

Grafica 22. Porcentaje de eclosión para la progenie uno en los dos grupos.



Fuente. Esta investigación.

Grafica 23. Porcentaje de eclosión de los tratamientos progenie dos.



Fuente. Esta investigación.

Esta variable se determinó cuantificando el número de huevos eclosionados por hembra, durante los cuatro días que tardó en desarrollarse esta fase; sin presentar diferencias significativas entre GT y GS en las dos generaciones ($p < 0,05$), (Anexo 32).

Woynarovich y Horváth⁵⁵ afirma que el tiempo que los huevos tardan en desarrollarse varía en general según las especies y depende además de la

⁵⁵WOYNAROVICH Y HORVÁTH. Op. cit., p. 1.

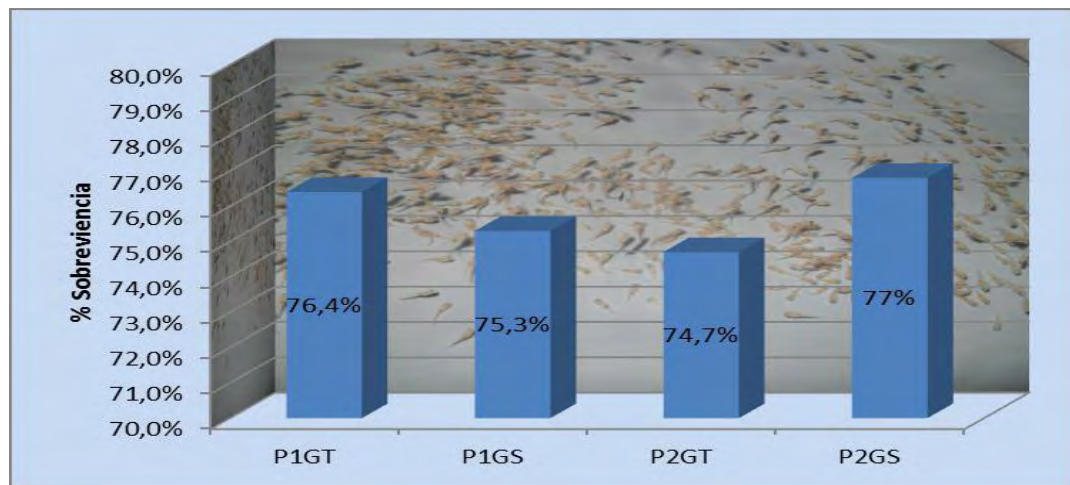
temperatura durante la incubación y del oxígeno, que el huevo puede disponer al principio. En temperaturas bajas, el desarrollo del embrión y la acción de las enzimas que disuelven la cubierta del huevo se retrasan, por lo que el embrión puede permanecer dentro del huevo durante más tiempo. Pero como el desarrollo del embrión no se interrumpe, las larvas que nazcan estarán más desarrolladas. Por otro lado, si las temperaturas son superiores se produce una eclosión prematura de embriones inmaduros, que la mayoría de las veces no sobreviven.

Por lo tanto es fundamental mantener en las incubadoras la temperatura óptima (28°C) durante todo el período de desarrollo embrionario.

6.3 Supervivencia.

Para esta variable se toman en cuenta los datos reportados durante los 120 días, para cada generación en los dos grupos testigo y selección, como se indica en la Figura 24. Periodo en el cual no se encontraron diferencias significativas entre GT y GS, en las dos generaciones.

Grafica 24. Porcentaje de sobrevivencia en toda la etapa de investigación.



Fuente. Esta investigación.

De acuerdo con el INPA, citado por López, Carvajal y Botero⁵⁶, para la tilapia roja se reportan valores del 75% de sobrevivencia durante los primeros meses de vida, estos resultados son similares obtenidos para esta investigación.

⁵⁶ LÓPEZ, CARVAJAL Y BOTERO. Op. cit., p. 8.

6.4 Análisis genético.

6.4.1 Parámetros genéticos.

6.4.1.1 Heredabilidad. Los resultados obtenidos para este parámetro en la progenie dos para el grupo testigo (GT) y grupo selección (GS) se presentan en los cuadros 4 y 5.

Cuadro 4. Valores de heredabilidad y error estándar para las características evaluadas en padres para el grupo testigo en Tilapia Roja (*oreochromis sp.*).

Característica	Heredabilidad	Error Estándar
Peso	0,7	±0,48
Longitud	0,8	±0,61

Fuente: Esta investigación.

Cuadro 5. Valores de heredabilidad y error estándar para las características evaluadas en padres para el grupo selección en Tilapia Roja (*oreochromis sp.*).

Característica	Heredabilidad	Error Estándar
Peso	0,6	±0,012
Longitud	0,75	±0,015

Fuente: Esta investigación.

Para la variable peso en el grupo testigo el valor de heredabilidad fue $0,7 \pm 0,48$ y de $0,6 \pm 0,012$ para el grupo selección, mientras que para la variable longitud se muestran valores para el grupo testigo de $0,8 \pm 0,61$ y $0,75 \pm 0,015$ valores que se consideran altos,⁵⁷ y sus principales diferencias se encuentran en los valores de error estándar (e. e) que indican que son altos para el grupo testigo, a diferencia del grupo selección que presenta (e. e) que se consideran buenos, lo que indica que los parámetros fueron correctamente estimados para este grupo y que por su valor menor a 1, se recomienda la selección para estos rasgos.

Estos valores se encuentran por encima de los reportados por Gallego⁵⁸ $0,34 \pm 0,08$, Basiao y Doyle⁵⁹ realizando selección masal en tilapia nilótica para peso y longitud a los tres meses de edad, encontraron una respuesta positiva del 3%, la heredabilidad realizada fue de 0.16. Pero estos resultados son similares a los reportados por Harrison, Karisa, Komen, Rezk, W. Ponzoni, Arendonk, Bovenhuis⁶⁰, quienes presentaron heredabilidades para peso y longitud, las

⁵⁷ CARDELINO y ROVIRA. Op.Cit,p.65.

⁵⁸ Op. cit,p. 13.

⁵⁹ BASIAO y DOYLE, SEAFDEC Aquaculture Department, Binangonan Freshwater Station, Binangonan, Rizal, Philippines Department of Biology, Dalhousie University, Halifax, N.S., Canada.

⁶⁰ HARRISON CHARO-KARISA; Heritability estimates and response to selection for growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in low-input earthen ponds

estimaciones fueron 0.60 y 0.51, respectivamente en el grupo testigo y 0,60 y 0,55 para las mismas variables en el grupo 2 selección. No obstante, Bolívar citado por Gallego⁶¹, aseguran que estos valores altos de heredabilidad se deben a que este parámetro es un valor relativo y no absoluto, en el sentido de que se aplica a una población en particular (la que sirvió para su estimación) y a una característica en particular.

En el caso específico de la especie (*oreochromis sp.*), deben tenerse en cuenta que los factores ambientales no varían para este tipo de investigación puesto que se mantienen constantes ya que están influenciados por quienes realizan la selección.⁶² Si la población cambia en su composición genética con la selección, la heredabilidad también sufrirá cambios, en concordancia McAndrew⁶³ que afirma que al disminuir la variancia ambiental, ya sea por un mejor control de las condiciones del medio o por métodos biométricos, la heredabilidad aumentará. Se debe tener en cuenta que la heredabilidad y las correlaciones son parámetros de la población y sus valores no son constantes; si no que dependen de la composición genética y el medio ambiente al cual pertenecen los animales. Por esta razón es necesario realizar estimaciones de selección para evaluar los parámetros productivos y además repetirlos con cierta frecuencia a medida que la población evoluciona.

6.4.1.2 Correlaciones genéticas. Los valores correspondientes a los coeficientes de correlación en la generación dos para los grupos testigo (GT) y selección (GS) se presentan en las tablas 6 a 11.

Cuadro 6. Análisis de covarianza para determinar la correlación entre peso y longitud, padres grupo testigo.

Fuente de Variación	Análisis de Covarianza			P.M esperado
	G.L	S.P	P.M	
Entre padres	3	6,56	2,18	0,02
Dentro de padres	396	65,81	0,16	
Total	399	72,37		

Fuente. Esta investigación.

⁶¹ Op. cit., p. 35.

⁶² CORDOBA y DELGADO, Op. cit, p. 564.

⁶³ Mc ANDREW, B.J., The Genetics and Histology of red, blond and associated color variants in *Oreochromis Niloticus*. Genética, 76: 127-137 p.1988.

Cuadro 7. Análisis de varianza para determinar la correlación entre peso y longitud, padres grupo testigo.

Fuente de variación	Análisis de Varianza peso			P.M esperado
	G.L	S.P	P.M	
Entre padres	3	316,198	105,399	0,99
Dentro de padres	396	2146,57	5,42	
Total	399	2462,768		

Fuente. Esta investigación.

Cuadro 8. Análisis de varianza para determinar la correlación entre peso y longitud, padres grupo testigo.

Fuente de variación	Análisis de Varianza longitud			P.M esperado
	G.L	S.P	P.M	
Entre padres	3	88	29,4	0,28
Dentro de padres	396	475,2	1,2	
Total	399	563,2		

Fuente. Esta investigación.

- Correlación genética

$$(r_{G_1G_2})$$

El valor de $r_{G_1G_2}$ fue de $0,037 \pm 0,0003$, significa que en este grupo la probabilidad de que se presente mejoramiento en los dos rasgos evaluados es muy bajo.

- Correlación fenotípica

$$(r_{F_1F_2})$$

El valor de $r_{F_1F_2}$ de $0,01 \pm 0,00089$, baja asociación simultanea por acción conjunta de los genes y el ambiente.

- Correlación ambiental

$$(r_{E_1E_2})$$

El efecto ambiental para los dos rasgos es muy bajo y no presento asociación de los efectos ambientales, $r_{E_1E_2} = 0,03 \pm 0,0003$.

Los valores de correlación para los padres (GT) son bajos y están por debajo de los rangos establecidos por Lutz⁶⁴ valores de 0 a 15% presentan intensidad es baja o poco diferenciable y se puede presentar porque la respuesta a la selección en una característica no conlleva a un cambio en otra de acuerdo a la intensidad de su correlación entre una de las dos características que no presento una variabilidad genética de diferencia significativa. Si bien en este trabajo se establecen algunas diferencias entre generaciones y entre grupos, estas al parecer no representan un valor genético que influya en la investigación.

Mientras tanto en los padres (GS), los resultados obtenidos se presentan en las tablas (1,2 y 3)

Cuadro 9. Análisis de covarianza para determinar la correlación entre peso y longitud, padres grupo selección.

Fuente de variación	Análisis de Covarianza			P.M esperado
	G.L	S.P	P.M	
Entre padres	3	421,84	140,61	1,39
Dentro de padres	396	453,91	1,146	
Total	399	875,75		

Fuente. Esta investigación.

Cuadro 10. Análisis de varianza para determinar la correlación entre peso y longitud, padres grupo selección.

Fuente de variación	Análisis de Varianza peso			P.M esperado
	G.L	S.P	P.M	
Entre padres	3	360,95	120,315	1,15
Dentro de padres	396	2013,47	5,1	
Total	399	2374,42		

Fuente. Esta investigación.

Cuadro 11. Análisis de varianza para determinar la correlación entre peso y longitud, padres grupo selección.

Fuente de variación	Análisis de Varianza longitud			P.M esperado
	G.L	S.P	P.M	
Entre padres	3	541,402	1180,403	1,7
Dentro de padres	396	2494,8	6,3	
Total	399	3036,202		

Fuente. Esta investigación.

⁶⁴ LUTZ, GREG. 1996 Heretability Attems and Applications from the real world. Aquaculture Magazine. Vol. 22 No 5. 1996.

- Correlación genética

$$(r_{G_1G_2})$$

El valor de $r_{G_1G_2}$ fue de $0,9 \pm 0,0086$, la probabilidad en este grupo de presentar mejoramiento en los dos rasgos evaluados, indica que, el 90% de los genes aditivos que intervienen en la característica peso y además influyen en forma pleiotrópica y directamente proporcional en la característica longitud.

- Correlación fenotípica

$$(r_{F_1F_2}).$$

El valor de $r_{F_1F_2}$ de $0,4 \pm 0,0075$, corresponde al 40% de los factores genéticos y ambientales que actúan en la primera y la segunda característica en forma directamente proporcional.

- Correlación ambiental

$$(r_{E_1E_2}).$$

El efecto ambiental para los dos rasgos es muy bajo y no presento asociación de los efectos ambientales, $r_{E_1E_2} = 0,023 \pm 0,0029$, quiere decir que el 2% de los efectos genéticos no aditivos, ambientales y de interacción genotipo ambiente participan de forma muy baja en las dos características en forma directamente proporcional. Esto se puede estar sujeto a que algunas de las variables ambientales (parámetros físico-químicos, etc.) permanecen estables. Los valores de correlación genética y fenotípica se consideran altos y se encuentran dentro del rango establecido anteriormente por Lutz⁶⁵ cuando está entre 15 al 40% se puede predecir un ligero cambio y si es mayor al 40% los cambios que conlleva se consideran importantes o fuertes.

La variación presente en peso fue de 99.6%. Según el coeficiente de correlación del 98%, se puede afirmar que peso y longitud total se encuentran asociadas de una forma directa muy fuerte y que la longitud total puede ser explicada por el peso, resultados similares a los reportados por Pachón⁶⁶ y Peña,⁶⁷ quienes encontraron resultados estimados en las dos generaciones que fueron altos y significativos. Se destacaron peso-longitud ($r_A=0.91$; $P(\leq 0.01)$).

⁶⁵ LUTZ, GREG, op cit. P.84.

⁶⁶ PACHON. C, op cit. P.35.

⁶⁷ RUIZ PEÑA MONTOYA PALACIOS, Mass selection by weight and coloration in red tilapia; Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, AA 237. Palmira, Valle del Cauca, Colombia. Piscícola La Linda.

Palada y Eknath ⁶⁸ en su estudio sobre predicción de tasas de crecimiento individual en tilapias, encontraron correlaciones positivas y negativas entre medidas de peso a diferentes edades e indicaron que el desarrollo del crecimiento relativo de los individuos en el comienzo del ciclo de producción (peso corporal menor a 10 gr), presentaba una pobre predicción de su posterior desarrollo o talla 25 potencial de cosecha; sin embargo, estas correlaciones se vieron altamente incrementadas cuando los machos y las hembras alcanzaron 33 y 25 g. respectivamente, hacia los 150 días de edad. Por otra parte encontraron que el crecimiento no fue afectado por las diferencias en la talla inicial, mostrando que los individuos de las tallas más pequeñas después de un periodo de bajo crecimiento, alcanzaron a los grupos de mayor tamaño.

Los resultados presentados en esta investigación están dentro de los rangos establecidos por Cardelino y Rovira ⁶⁹ quienes afirman que los valores de correlación son de -1 a 1. Las correlaciones fenotípicas, genéticas y ambientales entre peso y longitud fueron positivas para las variables analizadas.

Es importante destacar que los resultados calculados en esta investigación y los reportados por otros autores, no discrepan en forma considerable; pero la mínima diferencia se debe principalmente a la metodología y en especial a la escogencia y construcción del modelo matemático. Otra causa de diferencia en los estimativos son; el tamaño de la muestra y la población en la cual se llevo a cabo los análisis, estas razones se evidencian para el grupo testigo donde el grado de correlación es bajo.

6.4.2 Adelanto genético. Los resultados para esta investigación se presentan en el cuadro 12.

Cuadro 12. Adelanto genético para las variables peso (P) y longitud (L)

Grupo	Variable	Adelanto genético
Testigo	Peso	0,45
	Longitud	0,13
Selección	Peso	0,51
	Longitud	0,85

Fuente. Esta investigación.

El adelanto genético para la variable peso (P) fue del 0,45 gr, para el grupo testigo (GT), a diferencia del grupo selección para el cual el resultado representa el 0,51

⁶⁸ PALADA DE VERA, M.S. and EKNATH, A.E. 1993. Predictability of Individual growth rates in tilapia. *Acuaculture*, 111:147-158. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam.

⁶⁹ Op. cit.,p. 13.

gr, lo que significa que las próximas generaciones presentarían este incremento con respecto a la media de crecimiento, mientras tanto en la variable longitud (L), los resultados obtenidos en la investigación fueron del 0,13 cm para el grupo testigo (GT), valor significativamente diferente al presentado en el grupo selección (GS) que fue de 0,85 cm, índice de crecimiento al que deberían estar expuestas las próximas generaciones. Las diferencias presentadas entre los dos grupos se pueden deber discrepancias entre los factores que intervienen en el cálculo del adelanto genético como; Intensidad, heredabilidad, variación genética, Intervalo generacional.

Además se puede afirmar que los contrastes se presentan principalmente por las diferencias presentadas en la variación genética presentada entre los dos grupos.

Banco de reproductores. Al finalizar la investigación dentro de la estación piscícola quedo establecido el banco de reproductores que pertenecieron al grupo selección debido que presentaron mejores resultados a nivel productivo, este lote de animales fue diferenciado de acuerdo a sus progenitores, determinando así un lote de reproductores mejorados genéticamente que se podrán cruzar aplicando el método de troncos de apareamiento y llevando un debido registro para evitar consanguinidades.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

7.1 Conclusiones

La técnica de selección masal, empleada en esta investigación, resultó adecuada para la especie (*oreochromis sp.*), ya que, en las dos generaciones se encontraron diferencias significativas a favor de los animales seleccionados para el peso y longitud y los animales obtenidos sirven como material genético el cual podrá ser utilizado en trabajos posteriores.

La selección masal para esta investigación resultó efectiva para peso (P), la superioridad de la selección en G₁ fue de 27% en peso y 8% en longitud (L) con respecto al grupo control. En G₂ la respuesta fue similar puesto que la selección supero al control en 21.5% y 11.3% para el peso y longitud.

Las estimaciones para los parámetros físico químicos, no variaron durante el periodo de estudio, lo que significa que estas variables afectaron en forma poco significativa las correlaciones analizadas para la investigación.

Los estimativos de heredabilidad calculados para este estudio para peso (P) y longitud (L), en la segunda generación para los dos grupos testigo (GT) y selección (GS), son considerados altos en comparación a otros estudio realizados para la especie (*oreochromis sp.*).

Las correlaciones genéticas para las variables evaluadas, fueron positivas en los dos grupos, lo que significa que para GT si bien son positivos se encuentran expresados de forma muy baja lo que quiere decir que los dos rasgos no varían juntos, en realidad son independientes entre sí a diferencia de GS.

Las decisiones de manejo y de apareamiento modifican la ganancia genética que se puede obtener de un rasgo y así esta será más rápida cuando la heredabilidad y la varianza genética del rasgo seleccionado son altas. Por lo tanto, estos factores son importantes para considerar el establecer las metas de selección.

7.2 Recomendaciones.

Continuar con el programa de mejoramiento genético para la especie de estudio en la estación donde se llevo a cabo la investigación, a partir de los parámetros genéticos establecidos en esta investigación.

Con base en el banco de reproductores que presentaron adelanto genético, se recomienda continuar con planes de mejoramiento, puesto que presentan características que sirven como base en este tipo de programas para acuicultura.

Es necesario disponer de un amplio espacio físico para lograr mejores resultados al momento de realizar un programa de mejoramiento genético, ya que permite tener mayor tamaño de la muestra a estudiar y así obtener mayores índices de evaluación, analizando los datos con programas que presenten resultados con mayor exactitud.

Estimar los parámetros genéticos de heredabilidad y correlaciones con mayor frecuencia y con un mayor tamaño de muestra para incrementar la confiabilidad en la estimación de estos parámetros.

BIBLIOGRAFÍA

ALAMILLA, Hugo. Cultivo de tilapia. Buenos Aires, Argentina: (Disponible en internet), URL: <http://www.zoetecnocampo.com/Documentos/tilapia/tilapia.htm#3>.

BARBADILLA Antonio. Departamento de Genética y Microbiología. Universidad Autónoma de Barcelona, 08193 Bellaterra (Barcelona). Disponible en internet, URL: // <http://bioinformatica.uab.es/divulgacio/genpob.html>.

BOSCOLO, W. R. 1999. Desempenho de machos revertidos de tilapia do *Nilo* (*O. niloticus*, L.) linha *Gens* tailandesa e Comun, nas fases inicial e de crescimento. v1, p. 84-91. *In*: Acuicultura en Armonía con el Ambiente.

BASIAO y DOYLE , SEAFDEC Aquaculture Department, Binangonan Freshwater Station, Binangonan, Rizal, Philippines Department of Biology, Dalhousie University, Halifax, N.S., Canada.

CASTILLO, Fernando. TILAPIA ROJA 2006. Una evolución de 25 años, de la incertidumbre al éxito. Alevinos del valle Cali, valle. Colombia. Aquatic depot s.a. de .c.v. Zapopan, Jalisco. México. 124. p. Disponible en Internet. URL: <http://ag.arizona.edu/azaqua/ista/Colombia/TILAPIAROJA2006.pdf>

CARDELINO, Ricardo y ROVIRA, Jaime. Mejoramiento genético animal. Montevideo, Uruguay; Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur.

ESPEJO, C y TORRES, E. 2001. Fundamentos de Acuicultura Comercial. Cap XIII. Cultivo de las Tilapias Rojas (*oreochromis spp*) y Plateada (*oreochromis niloticus*).

ESPEJO, Carlos. Manejo industrial de las tilapias. American Soybean Assoclatlon. GENIPEZ. San Mateo. Monterrey, Marzo 2001. 23. p. Disponible en Internet. URL: http://carlosespejo.com.co/articulos/Manejo_industrial_de_las_tilapias.pdf

FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA AGROPECUARIA (FIAGRO). Manual de Crianza de Tilapia. FIAGRO. 2006: (disponible en internet), www.fiagro.org.sv/archivos/0/356.doc. 15 p.

FITZIMMONS, K. Cultivo de tilapia en sistemas de recirculación. SAGPyA. Estados Unidos 1993. 3. p. Disponible en internet: URL: http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_peces/piscicultura/33-tilapia_sistemas_recirculacion_2.pdf

FITZPATRICK, MS, CONTRERAS-SÁNCHEZ, WM, MILSTON RH, LUCERO, M, FEIST, GW. Steroid immersion for masculinization of tilapia: immersion of tilapia fry in MDT. CRSP Sixteenth Annual Technical Report 1999; 73-74.

GALLEGO Fernando, Mejoramiento Genético Aplicado a la Piscicultura Comercial, Colciencias, U.D.C.A. Bogotá, 2000.

GALMAN, O., MOREAU, J., y R. AVTALION. 1987. Breeding characteristics and growth performance of philippine Red Tilapia. The second International Symposium on Tilapia in aquaculture. Bangkok Thailand.

Gobierno En Línea del orden Territorial (GELT). Viterbo, Caldas. Disponible en Internet. URL: <http://www.Viterbo-Caldas.gov.co/nuestromunicipio.shtml?apc=m-y1--&m=f>

GONZÁLEZ Claudia Marcela et al, Comparación de dos líneas de Tilapia Roja (*Oreochromis sp.*), en dos Sistemas Intensivos de Producción. Tesis, Bogotá, 1998.

GRIFFITHS, ANTHONY J.F.; MILLER, JEFFREY H.; SUZUKI, DAVID T., LEWONTIN, RICHARD C. y GELBART, WILLIAN M. En: Genetica. Séptima edición. Mc GRAW-HILL / Interamericana de España, S.A.U. 2002. P. 728.

HARRISON CHARO-KARISA; Heritability estimates and response to selection for growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in low-input earthen ponds.

HENAO, M.; MONTERO, J. 1994 Comparación técnico-económica de la producción de Tilapia roja manchada y de la Tilapia roja cereza. Trabajo de grado (Médico Veterinario y Zootecnista). Manizales (Colombia): Universidad de Caldas, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. 64 p.

HURTADO, Nicolás., Inversión sexual en tilapias. nH ingenieros consultores. Lima, Perú. 2005. 43. p. Disponible en Internet. URL: http://www.revistaaquatic.com/documentos/docs/nh_invsextilapia.pdf

JARIMOPAS, P.; VEERASIDITH, P. 1988. Realized Response Thai Red Tilapia to weight-specific selection for growth (3rd-5th generations). *In*: Asian Fisheries Forum, Manila (Philippines). Memories.

LUTZ, GREG. 1996 Heretability Attems and Applications from the real world. Aquaculture Magazine. Vol. 22 No 5. 1996.

MARTINEZ, C. 2005. Estadísticas y Muestreos.12ed. Eco Ediciones.

MARTINEZ, Freddy. Curso sobre granjas integrales. Cali, Colombia. Universidad del Valle. 2008. Disponible en Internet. URL:

<http://eidenar.univalle.edu.co/docentes/catedra/docs/fmartinez/CULTIVO%20DE%20LA%20TILAPIA.pps>.

MARTÍNEZ, J.; VELÁZQUEZ, C. 1998. Estudio del crecimiento en cinco coloraciones de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) bajo condiciones del Valle del Cauca. Trabajo de grado (Zootecnista). Palmira (Colombia): Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias. 82 p.

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y COMERCIO (SIC). Consideraciones para el cultivo de tilapia, (Disponible en internet) URL:<http://www.sic.gov.hn/portai/agro^nfaoagro/Acuacultura/Consideraciones.>, (Enero de 2011).

MORALES, Q.; MORALES, R. 2006. Síntesis regional del desarrollo de la acuicultura. América Latina y el Caribe. Roma: FAO 177 p. (Circular de Pesca No. 1017/1).

Mc ANDREW, B.J., The Genetics and Histology of red, blond and associated color variants in *Oreochromis Niloticus*. Genetic, 76: 127-137 p.1988.

NEI, M. Molecular Evolutionary genetics. Columbia University Press, New York, NY. 1987.

PACHON. C, Caracterización fenotípica de una población de tilapia roja. (*oreochromis spp*). Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales UDCA. Ciencias agropecuarias, acultad de zootecnia, Bogotá D.C.2009

PALADA DE VERA, M.S. and EKNATH, A.E. 1993. Predictability of Individual growth rates in tilapia. *Acuaculture*, 111:147-158. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam.

PRIETO, Camilo y OLIVERA, Martha. Incubación artificial de huevos embrionados de Tilapia Roja *Oreochromis sp*. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad de Antioquia, Grupo de Fisiología y Biotecnología de la Reproducción – Biogénesis. Medellín, Colombia. 2002. 6. p. Disponible en Internet. URL: <http://rccp.udea.edu.co/index.php/ojs/article/viewFile/78/77>

REMOLINA, E. 1997. Respuesta a la selección masal para crecimiento y conformación en *O. niloticus* (Egipcia). Trabajo de grado (Zootecnista). Bogotá (Colombia): Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales -UDCA. 107 p.

RUIZ P y MONTOYA P; Facultad Selección masal por peso y coloración en tilapia roja, Mass selection by weight and coloration in red tilapia, de Ciencias

Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, AA 237. Palmira, Valle del Cauca, Colombia. Piscícola La Linda.

SAGPyA. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. Sistemas de recirculación en acuicultura. Argentina. 2006. 4. p. Disponible en internet: URL: <http://www.produccionbovina.com/>

SOLE-CAVA, AM. Biodiversidad molecular e genética de conservacao. In: MATIOLI, S. R. biología Molecular e Evolucao. Ribeirao Preto: Brazil., 2001.p. 192.

SOLARTE GUEVARA, Ana. Evaluación de diferentes densidades de incubación de huevos de tilapia roja (*Oreochromis sp*), mediante un sistema de incubación artificial. Huila, Colombia. 2008. 144. p. Trabajo de grado (Ingeniero en producción acuícola). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Pecuarias. Departamento de Recursos Hidrobiológicos.

TORRES J. 2004. Caracterización molecular de tilapia roja (*Oreochromis sp*) en el Valle del Cauca, utilizando marcadores moleculares RAPD. Trabajo de Grado (Zootecnia). Palmira: Universidad Nacional de Colombia. Sede 109 p.

WOYNAROVICH, E Y HORVÁTH, L. Propagación artificial de peces de aguas templadas: Propagación artificial de los peces. Manual para extensionistas. Desarrollo e incubación de los huevos de peces.FAO, Doc.Téc.Pesca, (201): Roma 1981. p 187. Disponible en Internet. URL: <http://www.fao.org/docrep/005/ac908s/AC908S00.htm#TOC>

ANEXOS

Anexo 1. Registro de parámetros físico químicos, en las fases Descanso, Siembra, Cosecha, Incubación, Larvicultura, Alevinaje.

TEMPERATURA °C												
	06:00 a.m.	08:00 a.m.	10:00 a.m.	12:00 p.m.	02:00 p.m.	04:00 p.m.	06:00 p.m.	08:00 p.m.	10:00 p.m.	12:00 a.m.	02:00 a.m.	04:00 a.m.
Descanso	22,8	23,1	23,8	24,5	24,9	25,3	25,5	24,8	24,1	23,2	22,7	22,1
Siembra	23,2	23,45	23,7	24,7	25,2	25,45	25,5	24,8	24,3	23,9	23,3	23,05
Cosecha	23,2	23,55	23,9	24,5	25	25,55	25,45	24,8	24,75	23,9	23,45	23
Incubacion	25	25,45	26,25	26,75	27,5	26,95	26,5	26,35	26,1	25,95	25,45	24,95
Larvicultura	25,6	25,85	26,55	27,05	27,9	27,85	27,65	27,2	26,7	26,4	26,1	25,7
Alevinaje	25,49	25,84	26,38	26,92	27,43	27,92	28,06	27,70	27,24	26,70	26,28	25,83
OXIGENO mg/l												
	06:00 a.m.	08:00 a.m.	10:00 a.m.	12:00 p.m.	02:00 p.m.	04:00 p.m.	06:00 p.m.	08:00 p.m.	10:00 p.m.	12:00 a.m.	02:00 a.m.	04:00 a.m.
Descanso	3,72	3,78	4,15	4,53	4,57	4,36	4,14	4,05	3,81	3,72	3,67	3,63
Siembra	3,28	3,31	3,72	3,94	4,26	4,36	4,42	4,23	4,08	3,92	3,61	3,21
Cosecha	3,72	3,94	4,06	4,18	4,21	4,29	4,24	4,13	3,83	3,71	3,52	3,43
Incubacion	5,21	5,18	5,1	5,14	5,31	5,33	5,38	5,42	5,57	5,6	5,63	5,75
Larvicultura	4,36	4,62	4,69	4,96	5,1	5,18	5,03	4,87	4,71	4,65	4,33	4,11
Alevinaje	4,45	4,68	4,93	5,06	5,2	5,26	5,18	4,93	4,84	4,75	4,62	4,55
PH												
	06:00 a.m.	08:00 a.m.	10:00 a.m.	12:00 p.m.	02:00 p.m.	04:00 p.m.	06:00 p.m.	08:00 p.m.	10:00 p.m.	12:00 a.m.	02:00 a.m.	04:00 a.m.
Descanso	6,2	6,7	6,9	7,3	7,5	7,7	7,4	7,1	6,9	6,6	6,1	6,1
Siembra	6	6,5	6,5	7	7,5	7,8	7,5	7	7	6,5	6,5	6
Cosecha	6,5	6,5	6,8	7,3	7,6	7,9	7,5	7,3	6,8	6,4	6,3	6
Incubacion	7	7,2	7,2	7,5	7,5	7,3	7,2	7	7	6,8	6,8	6,9
Larvicultura	6,5	6,7	6,9	7,2	7,5	7,3	7,3	7,1	7	6,9	6,7	6,7
Alevinaje	6,3	6,5	6,8	6,9	7,2	7,4	7,6	7,3	7	7	6,8	6,5

Anexo 2. Mortalidad durante la investigación

MUESTREOS	P1GT	P1GS	P2GT	P2GS
3	43	39	64	56
4	32	42	53	44
5	38	30	48	58
6	49	24	71	41
7	26	33	59	60
8	19	17	42	42
TOTAL MUERTOS	207	185	337	301

Anexo 3. Estadística descriptiva para la variable fenotípica peso (P) en la progenie uno grupo testigo.

	N	Maximum	Minimum	Mean	Variance	Std Dev	Std Error	Median
Muestreo 1	219	0.45	0.02	0.042	0.001	0.029	0.002	0.041
Muestreo 2	219	1.8	0.17	0.786	0.297	0.545	0.026	1.1
Muestreo 3	231	1.6	0.9	1.252	0.023	0.152	0.010	1.3
Muestreo 4	231	6.3	3.6	4.926	0.687	0.829	0.053	4.6
Muestreo 5	231	13.6	8	10.538	2.228	1.493	0.095	10.3
Muestreo 6	231	30.3	24	26.919	1.771	1.331	0.085	26.7
Muestreo 7	231	43	36.6	39.526	2.26	1.503	0.096	39.4
Muestreo 8	231	114.3	64	80.529	198.323	14.083	0.898	76.5

Fuente. Esta investigación.

Anexo 4. Estadística descriptiva para la variable fenotípica longitud (L) en la progenie uno grupo testigo.

	N	Maximum	Minimum	Mean	Variance	Std Dev	Std Error	Median
Muestreo 1	219	1.8	0.8	1.3	0.08	0.08	0.06	1.3
Muestreo 2	219	4.7	1.6	3.06	1.318	1.148	0.054	3.6
Muestreo 3	231	4.6	3.4	4.09	0.113	0.335	0.021	4.18
Muestreo 4	231	5.8	2.4	4.07	0.749	0.866	0.05	3.9
Muestreo 5	231	12.7	7.2	9.7	2.19	1.48	0.094	9.5
Muestreo 6	231	15.2	8.8	11.872	1.819	1.349	0.086	11.7
Muestreo 7	231	22.3	9.7	18.5	5.3	2.3	0.09	18.5
Muestreo 8	231	28.3	1.7	20.340	3.794	1.948	0.121	19.7

Fuente. Esta investigación.

Anexo 5. Estadística descriptiva para la variable fenotípica peso (P) en la progenie uno grupo selección.

	N	Maximum	Minimum	Mean	Variance	Std Dev	Std Error	Median
Muestreo 1	219	0.050	0.035	0.044	0	0.003	0	0.045
Muestreo 2	219	0.28	0.17	0.218	0.001	0.026	0.002	0.220
Muestreo 3	231	1.9	1.4	1.665	0.016	0.125	0.008	1.7
Muestreo 4	231	7.5	4.8	6.475	0.507	0.712	0.047	6.7
Muestreo 5	231	15.6	8.5	12.778	4.371	2.091	0.138	13.4
Muestreo 6	231	31.7	22.8	27.936	3.38	1.841	0.121	27.7
Muestreo 7	231	44	35.5	40.6	4.298	2.073	0.136	41.5
Muestreo 8	231	140	60	98.910	145.589	12.066	0.794	97.3

Fuente. Esta investigación.

Anexo 6. Estadística descriptiva para la variable fenotípica longitud (L) en la progenie uno, grupo selección.

	N	Maximum	Minimum	Mean	Variance	Std Dev	Std Error	Median
Muestreo 1	219	1.47	0.45	1.324	0.008	0.091	0.006	1.335
Muestreo 2	219	2.71	1.76	2.131	0.048	0.22	0.015	2.2
Muestreo 3	231	4.3	3.3	3.696	0.078	0.279	0.018	3.6
Muestreo 4	231	15.6	8.5	12.778	4.371	2.091	0.138	13.4
Muestreo 5	231	14.7	7.3	11.374	4.362	2.089	0.137	11.9
Muestreo 6	231	15.6	7.3	12.303	2.909	1.705	0.12	11.3
Muestreo 7	231	18.6	8.8	14.3	4.415	12.066	0.794	97.3
Muestreo 8	231	17	17.359	2.583	1.607	0.106	16.5	17.5

Fuente. Esta investigación.

Anexo 7. Estadística descriptiva de las variables fenotípica peso (P) en la progenie dos, grupo testigo madre uno.

	N	Maximum	Minimum	Mean	Variance	Std Dev	Std Error	Median
Muestreo 1	280	0.46	0.035	0.054	0.001	0.035	0.002	0.053
Muestreo 2	280	3.40	0.19	0.308	0.188	0.433	0.026	0.220
Muestreo 3	248	4.5	3.1	3.3	0.040	0.199	0.013	3.37
Muestreo 4	248	7	4.3	5.58	0.679	0.834	0.033	5.3
Muestreo 5	248	25	7	14.8	0.7	2.6	0.166	14.8
Muestreo 6	248	27	7	16.4	9.561	3.092	0.149	16.2
Muestreo 7	248	31.9	15.4	23.4	4.7	2.169	0.138	23.2
Muestreo 8	248	31	24.2	28.2	1.5	1.232	0.174	28.2

Fuente. Esta investigación.

Anexo 8. Estadística descriptiva de la variable fenotípica longitud (L) en la progenie dos, grupo testigo madre uno.

	N	Maximum	Minimum	Mean	Variance	Std Dev	Std Error	Median
Muestreo 1	280	1.81	1.01	1.319	0.065	0.074	0.004	1.310
Muestreo 2	280	3.27	1.670	1.875	0.032	0.178	0.011	1.87
Muestreo 3	248	3.7	2.1	2.982	0.07	0.264	0.017	2.9
Muestreo 4	248	6.7	3.6	5.020	0.755	0.869	0.05	4.8
Muestreo 5	248	11.7	5.2	7.8	1.312	1.146	0.073	7.7
Muestreo 6	248	18.3	5.2	10.521	11.461	3.384	0.164	8.7
Muestreo 7	248	22.6	11.5	18.584	2.929	1.711	0.109	18.9
Muestreo 8	248	26.6	23.6	24.776	0.477	0.69	0.098	24.8

Fuente. Esta investigación.

Anexo 9. Estadística descriptiva de la variable fenotípica peso (P) en la progenie dos, grupo selección, madre uno.

	N	Maximum	Minimum	Mean	Variance	Std Dev	Std Error	Median
Muestreo 1	256	0.08	0.035	0.064	0	0.010	0.001	0.066
Muestreo 2	256	0.33	0.22	0.268	0.01	0.026	0.002	0.270
Muestreo 3	270	4.5	3.2	4.253	0.033	0.181	0.011	4.370
Muestreo 4	270	9	6.3	7.96	0.487	0.648	0.042	8.05
Muestreo 5	270	27.6	17	23.66	6.163	2.483	0.151	23.25
Muestreo 6	270	32.2	21.2	28.478	5.610	2.369	0.139	28.4
Muestreo 7	270	37.7	28.7	33.9	5.589	2.364	0.139	34.1
Muestreo 8	270	42.9	34	39.232	5.409	2.325	0.137	39.1

Fuente. Esta investigación.

Anexo 10. Estadística descriptiva de la variable fenotípica longitud (L) en la progenie dos, grupo selección, madre uno.

	N	Maximum	Minimum	Mean	Variance	Std Dev	Std Error	Median
Muestreo 1	256	1.5	0.47	1.35	0.011	0.104	0.007	1.369
Muestreo 2	256	2.7	1.79	2.163	0.049	0.220	0.014	2.2
Muestreo 3	270	3.4	2.4	2.819	0.081	0.284	0.017	2.76
Muestreo 4	270	7.2	4	5.942	0.561	0.749	0.046	6
Muestreo 5	270	12	3.4	8.22	1.01	1.006	0.061	8.3
Muestreo 6	270	16	7.4	12.279	1.120	1	0.062	12.5
Muestreo 7	270	18.3	12	16.7	0.893	0.945	0.056	16.93
Muestreo 8	270	22.7	18.6	21.33	0.651	0.807	0.047	21.5

Fuente. Esta investigación.

Anexo 11. Estadística descriptiva de la variable fenotípica peso (P) en la progenie dos, grupo testigo, madre dos.

	N	Maximum	Minimum	Mean	Variance	Std Dev	Std Error	Median
Muestreo 1	280	0.087	0.042	0.066	0	0.01	0.001	0,068
Muestreo 2	280	1.26	0.21	0.271	0.014	0.120	0.007	0,25
Muestreo 3	248	4.590	3.11	3.456	0.044	0.204	0.013	3,45
Muestreo 4	248	7.29	4.45	5.771	0.702	0.838	0.053	5.49
Muestreo 5	248	25.3	7.3	15.165	6.847	2.617	0.166	15,17
Muestreo 6	248	39.8	23.3	31.203	7.011	2.648	0.168	31.2
Muestreo 7	248	48.1	32.1	38.221	6.393	2.528	0.161	38
Muestreo 8	248	58.4	42.1	50.846	6.74	2.596	0.165	51.1

Fuente. Esta investigación.

Anexo 12. Estadística descriptiva de la variable fenotípica longitud (L) en la progenie dos, grupo testigo, madre dos.

	N	Maximum	Minimum	Mean	Variance	Std Dev	Std Error	Median
Muestreo 1	280	2.80	1.310	1.901	0.038	0.195	0.012	1.93
Muestreo 2	280	2.610	1.870	2.15	0.018	0.132	0.008	2.16
Muestreo 3	248	4.050	2.3	3.243	0.083	0.289	0.018	3.22
Muestreo 4	248	6.98	3.6	5.14	0.774	0.880	0.056	4.98
Muestreo 5	248	11.98	5.48	8.092	1.304	1.140	0.072	7.45
Muestreo 6	248	18.5	9.2	13.917	2.55	1.597	0.101	19.1
Muestreo 7	248	20.8	12.1	126.54	1.387	1.178	0.075	16.4
Muestreo 8	248	27.83	16.73	23.68	3.456	1.859	0.118	24.13

Fuente. Esta investigación.

Anexo 13. Estadística descriptiva de la variable fenotípica peso (P) en la progenie dos, grupo selección, madre dos.

	N	Maximum	Minimum	Mean	Variance	Std Dev	Std Error	Median
Muestreo 1	256	0.48	0.045	0.071	0.001	0.037	0.002	0.068
Muestreo 2	256	1.270	0.210	0.284	0.020	0.141	0.009	0.260
Muestreo 3	270	4.64	3.30	4.309	0.033	0.181	0.011	4.3
Muestreo 4	270	9.17	6.47	8.12	0.484	0.696	0.042	8.27
Muestreo 5	270	27.87	17.2	23.939	6.144	2.479	0.151	23.435
Muestreo 6	270	38.8	27.2	34.134	6.068	2.463	0.145	34.1
Muestreo 7	270	47.2	36.93	43.175	5.912	2.431	0.143	43.115
Muestreo 8	270	68.4	57.4	63.356	6.023	2.454	0.145	63.3

Fuente. Esta investigación.

Anexo 14. Estadística descriptiva de la variable fenotípica longitud (L) en la progenie dos, grupo selección, madre dos.

	N	Maximum	Minimum	Mean	Variance	Std Dev	Std Error	Median
Muestreo 1	256	1.570	0.543	1.435	0.008	0.091	0.006	1.44
Muestreo 2	256	2.80	1.860	2.233	0.047	0.216	0.013	2.13
Muestreo 3	270	3.61	2.5	2.917	0.087	0.296	0.018	2.81
Muestreo 4	270	7.4	4.2	6.117	0.551	0.743	0.045	6.2
Muestreo 5	270	12.2	3.6	8.356	1.025	1.012	0.062	8.45
Muestreo 6	270	18.2	9.8	14.863	1.181	1.087	0.064	14.9
Muestreo 7	270	20.6	14.3	18.422	1.226	1.107	0.065	18.4
Muestreo 8	270	24.7	19.5	22.93	0.1813	0.902	0.053	23

Anexo 15. Análisis de varianza para peso (P) en la generación uno, muestreo uno.

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	0,000237498	21	0,0000113094	1,13	0,3157
Intra grupos	0,0018741	188	0,00000996863		
Total (Corr.)	0,0021116	209			

Anexo 15. Análisis de varianza para longitud (L) en la generación uno, muestreo uno.

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	0,105297	26	0,00404987	0,44	0,9921
Intra grupos	1,68206	183	0,00919156		
Total (Corr.)	1,78735	209			

Anexo 16. Análisis de varianza para peso (P) en la generación uno, muestreo cuatro.

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	7,00482	22	0,318401	0,60	0,9186
Intra grupos	109,67	208	0,527257		
Total (Corr.)	116,674	230			

Anexo 17. Análisis de varianza para longitud (L) en la generación uno, muestreo cuatro.

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	27,065	31	0,873064	1,65	0,0227
Intra grupos	105,471	199	0,530003		
Total (Corr.)	132,536	230			

Anexo 17. Análisis de varianza para peso (P) en la generación uno, muestreo ocho.

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	16601,2	89	186,53	1,56	0,0093
Intra grupos	16884,2	141	119,746		
Total (Corr.)	33485,4	230			

Anexo 18. Comparaciones múltiples para la variable peso entre GT y GS, generación uno: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

Peso T	Frec.	Media	Grupos homogéneos
78,8	2	90,6	XX
82,4	2	91,05	XX
86,6	3	91,3667	XX
76,7	6	91,6667	XX
98,6	2	92,65	XX
68,7	7	93,4	XX
79,2	1	110,4	XX
69,6	5	110,54	XX
64,6	1	110,6	XX
109,6	1	111,5	XX
113,8	1	112,0	XX
108,8	1	112,8	XX
74,4	1	113,7	XX
94,8	1	115,0	XX
97,5	1	116,0	XX
112,8	1	140,0	X

Anexo 19. Análisis de varianza para longitud (L) en la generación uno, muestreo ocho.

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	160,975	44	3,65853	0,96	0,5421
Intra grupos	706,081	186	3,79613		
Total (Corr.)	867,056	230			

Anexo 20. Comparaciones múltiples para la variable Longitud (L) entre GT y GS, generación uno: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey			
Longitud T	Frec.	Media	Grupos homogéneos

19,4	2	18,1	X
20	1	18,1	X
18,5	3	18,3333	X
1,7	1	18,5	X
14,3	1	18,7	X
16,6	1	18,9	X
14,7	4	18,925	X
16,4	2	19,05	X
16,2	5	19,22	X
16,7	5	19,38	X
15,8	2	19,4	X
15,3	1	19,4	X

Anexo 21. Análisis de varianza para peso (P) en la generación dos, muestreo uno, progenie madre uno.

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor

Entre grupos	0,000174079	16	0,0000108799	1,08	0,3729
Intra grupos	0,00193752	193	0,000010039		

Total (Corr.)	0,0021116	209			

Anexo 22. Análisis de varianza para longitud (L) en la generación dos, muestreo uno, progenie madre uno.

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor

Entre grupos	0,395158	19	0,0207978	2,84	0,0002
Intra grupos	1,39219	190	0,00732734		

Total (Corr.)	1,78735	209			

Anexo 23. Análisis de varianza para peso (P) en la generación dos, muestreo cuatro, progenie madre uno.

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	17,839	20	0,891952	1,90	0,0142
Intra grupos	98,8353	210	0,470644		
Total (Corr.)	116,674	230			

Anexo 24. Comparaciones múltiples para la variable peso entre GT y GS, generación dos: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

Peso T	Frec.	Media	Grupos homogéneos
4,7	7	5,82857	X
4,3	10	6,05	X
6	2	6,1	X
4,8	8	6,1625	X
6,4	20	6,195	X
5,9	5	6,22	X
5,3	24	6,32083	X
6,2	12	6,33333	X
5	28	6,41786	X
4,9	4	6,475	X
5,5	6	6,48333	X
4,6	18	6,51111	X
5,7	6	6,55	X

Anexo 25. Análisis de varianza para longitud (L) en la generación dos, muestreo cuatro, progenie madre uno.

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	13,7885	27	0,510685	0,87	0,06499
Intra grupos	118,747	203	0,584961		
Total (Corr.)	132,536	230			

Anexo 26. Comparaciones múltiples para la variable Longitud (L) entre GT y GS, generación dos: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

Longitud T	Frec.	Media	Grupos homogéneos
4,3	1	4,2	X
4,4	8	4,775	X
5,3	5	4,78	X
3,6	4	4,85	X
6,5	3	4,9	X
3,7	4	4,95	X
5,6	16	4,95	X
3,8	4	5,125	X
4,9	5	5,16	X
4,2	15	5,18	X
4,8	20	5,195	X
5,4	4	5,2	X

Anexo 27. Análisis de varianza para peso (P) en la generación dos, muestreo ocho, progenie madre uno.

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	578,898	94	6,15849	1,36	0,0500
Intra grupos	584,762	129	4,53304		
Total (Corr.)	1163,66	223			

Anexo 28. Comparaciones múltiples para la variable peso entre GT y GS, generación dos: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

Peso T	Frec.	Media	Grupos homogéneos
33,6	2	76,2	X
24,6	1	79,9	X
26	7	86,5	X
24,3	1	89,8	X
24,7	3	91,0	X
34,5	1	91,2	X
30,5	4	92,35	X
30,6	1	117,2	X
34,8	1	118,2	X
28,5	1	131,2	X

Anexo 29. Análisis de varianza para longitud (L) en la generación dos, muestreo ocho, progenie madre uno.

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	178,075	44	4,04717	1,12	0,02925
Intra grupos	644,169	179	3,59871		
Total (Corr.)	822,244	223			

Anexo 30. Comparaciones múltiples para la variable Longitud (L) entre GT y GS, generación dos: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

Longitud T	Frec.	Media	Grupos homogéneos
22,9	4	14,85	X
17,2	1	16,4	XX
17,1	1	16,6	XX
22,3	2	16,7	XX
22	4	16,7	XX
15,6	1	17,2	XX
16,8	1	17,4	XX
16,3	1	17,5	XX
20,5	6	17,7333	XX
23,8	6	17,8333	XX
23	7	17,9	XX
20,6	2	17,95	XX
19,5	1	18,0	XX
16,1	1	18,0	XX
24,6	2	18,05	XX
25,9	2	18,05	XX
23,6	13	18,1385	XX
24,4	2	18,3	XX
23,4	5	18,34	XX

Anexo 31. Análisis de varianza para peso (P) en la generación dos, muestreo uno, progenie madre dos.

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	0,0590927	48	0,0012311	0,88	0,6985
Intra grupos	0,290386	207	0,00140283		
Total (Corr.)	0,349479	255			

Anexo 32. Análisis de varianza para longitud (L) en la generación dos, muestreo uno, progenie madre dos.

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	3,46009	52	0,0665401	3,14	0,0000
Intra grupos	4,30367	203	0,0212004		
Total (Corr.)	7,76376	255			

Anexo 33. Análisis de varianza para peso (P) en la generación dos, muestreo cuatro, progenie madre dos.

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	63,6509	110	0,578644	1,37	0,0395
Intra grupos	57,7824	137	0,421769		
Total (Corr.)	121,433	247			

Anexo 34. Comparaciones múltiples para la variable peso entre GT y GS, generación dos: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey			
Peso T	Frec.	Media	Grupos homogéneos
4,97	2	8,4	X
7,15	3	8,40333	X
7,05	2	8,42	X
5,71	1	8,47	X
7,17	4	8,475	X
4,71	4	8,495	X
4,79	5	8,496	X
5,9	1	8,5	X
4,49	5	8,522	X
5,39	2	8,535	X
4,75	1	8,57	X
4,93	1	8,57	X
6,35	3	8,57	X
6,67	2	8,6	X
5,19	5	8,602	X
5,23	3	8,60333	X
4,68	1	8,67	X
5,69	1	8,67	X
7,13	3	8,67	X
6,64	1	8,67	X

Continuación. ANEXO 36. Comparaciones múltiples para la variable peso entre GT y GS, generación dos: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey			
Peso T	Frec.	Media	Grupos homogéneos
5,35	2	8,67	X
6,13	1	8,67	X
4,53	1	8,67	X
4,8	2	8,7	X

Anexo 35. Análisis de varianza para longitud (L) en la generación dos, muestreo cuatro, progenie madre dos.

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	191,173	67	2,85333*****		0,0000
Intra grupos	0,0	180	0,0		
Total (Corr.)	191,173	247			

Anexo 36. Comparaciones múltiples para la variable longitud (L) entre GT y GS, generación dos: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey			
Longitud T	Frec.	Media	Grupos homogéneos
6,4	1	4,9	X
4,3	1	5,1	X
4,08	1	5,1	X
5,92	2	5,25	X
5,72	1	5,3	X
6,98	3	5,46667	X
4,72	2	5,5	X
4,48	4	5,5	X
5,88	4	5,525	X
5,42	1	5,6	X
5,02	3	5,66333	X
4,8	12	5,66667	X
5,2	6	5,75	X
5,1	2	5,75	X

Anexo 37. Análisis de varianza para peso (P) en la generación dos, muestreo ocho, progenie madre dos.

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	610,788	75	8,14384	1,81	0,0008
Intra grupos	774,147	172	4,50085		
Total (Corr.)	1384,93	247			

Anexo 38. Comparaciones múltiples para la variable peso entre GT y GS, generación dos: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

Peso T	Frec.	Media	Grupos homogéneos
49,7	1	57,8	XX
56,4	1	58,3	XX
46,1	1	58,3	XX
45,6	1	58,4	XX
55,1	3	59,6667	X
50,5	2	59,75	XX
42,6	1	60,4	XX
44,4	3	60,4	XX
50,6	3	60,8667	XX
49,5	2	61,15	XX
53,8	3	61,3	XX
55,5	1	61,3	XX
55,4	3	61,4667	XX
47,1	3	61,7667	XX
42,4	1	61,8	XX
49,1	4	61,925	XX
48,4	7	61,9286	XX

Anexo 39. Análisis de varianza para longitud (L) en la generación dos, muestreo ocho, progenie madre dos.

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	100,093	85	1,17756	2,00	0,0001
Intra grupos	95,1911	162	0,5876		
Total (Corr.)	195,284	247			

Anexo 40. Comparaciones múltiples para la variable longitud (L) entre GT y GS, generación dos: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

Longitud T	Frec.	Media	Grupos homogéneos
22,63	2	20,6	XX
24,83	5	21,232	X
22,93	1	21,4	XXX
23,73	3	21,7433	XXX
23,23	1	21,8	XXX
16,73	1	21,8	XXX
21,63	1	21,9	XXX
25,83	3	21,9867	XXX
27,83	2	22,05	XXX
26,13	2	22,1	XXX
25,13	7	22,1129	XXX
24,3	1	22,2	XXX
23,4	2	22,25	XXX
25,73	3	22,31	XXX
24,33	5	22,312	XXX
22,03	2	22,35	XXX
23,3	4	22,35	XXX
23,7	1	22,4	XXX

Anexo 41. Análisis de varianza para porcentaje de eclosión generación uno.

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	610,788	75	7,14384	1,81	0,08
Intra grupos	774,147	172	3,52285		
Total (Corr.)	1384,93	247			

Anexo 42. Análisis de varianza para porcentaje de eclosión generación dos.

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	610,788	75	6,14384	1,75	0,065
Intra grupos	774,147	172	4,50085		
Total (Corr.)	1384,93	247			

Anexo 43. Análisis de varianza para supervivencia generación uno.

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	610,788	75	7,14384	1,81	0,137
Intra grupos	774,147	172	3,52285		
Total (Corr.)	1384,93	247			

Anexo 44. Análisis de varianza para supervivencia generación dos.

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	610,788	75	6,14384	1,75	0,10004
Intra grupos	774,147	172	4,50085		
Total (Corr.)	1384,93	247			