	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16 PAGINA: 9 de 96

**DISEÑO Y EVALUACIÓN DE TRES PROTOTIPOS DE INCUBADORAS
ARTESANALES PARA INCUBACIÓN DE HUEVOS EMBRIONADOS DE
TILAPIA ROJA (*Oreochromis sp.*)**




Palacio Sierra Sebastián
Rico Arias Gabriel Steven

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de
ZOOTECNISTA

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE ZOOTECNIA
Fusagasugá, Cundinamarca, Colombia

2018

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16 PAGINA: 10 de 96

**DISEÑO Y EVALUACIÓN DE TRES PROTOTIPOS DE INCUBADORAS
ARTESANALES PARA INCUBACIÓN DE HUEVOS EMBRIONADOS DE
TILAPIA ROJA (*Oreochromis sp.*)**

Palacio Sierra Sebastián
Rico Arias Gabriel Steven

DIRECTORA

Nury Beatriz Sánchez Lozano

Ing Pesquera, Lic. En ciencias del mar, Esp. En ciencias ambientales, Doct. En acuicultura

Línea de investigación:

Reproducción animal

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de
ZOOTECNISTA

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA

Facultad de ciencias agropecuarias

Programa académico:

ZOOTECNIA

Fusagasugá, Cundinamarca, Colombia

2018



NOTA DE ACEPTACIÓN

FIRMA DE EVALUADORES

Nombre:

Nombre:

Fusagasugá, Cundinamarca, 2018

Dedicatoria

Sebastián Palacio Sierra

Inicialmente, deseo dedicarles este trabajo a todas las personas que siempre creyeron en mi capacidad, a mi familia, en especial a mi madre Mariela Sierra, no hay un día en el que no le agradezca a Dios, la fortuna más grande de tenerla conmigo y ser el tesoro más valioso en mi vida, como también el resto de mi familia, por cada uno de los valores que me inculcaron, a mi padre, William Palacio tengo aun el dolor por su partida, no puede remediarse, pero más allá de este mundo, mi amor seguirá eternamente. Si algo me enseñó esta carrera es que existen personas valiosas, mi novia Darly Guzmán, le agradezco por su amor y apoyo, a mis compañeros Steven Rico, Julieth Rodríguez, Luis Regino, Harold Torres, y demás, valió la pena luchar juntos por una meta, si bien, al terminar esta etapa, me queda la satisfacción de haber compartido con personas tan valiosas como ustedes, les doy las gracias por su apoyo y afecto.

Gabriel Steven Rico Arias

Son muchas las personas especiales a las que me gustaría agradecer su apoyo, ánimo y compañía en las diferentes etapas de mi vida, algunos están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar donde estén quiero darles gracias por ser parte de mí y por todas sus bendiciones. Le agradezco a Dios por darme la oportunidad de vivir, por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza y por bríndame una vida llena aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad. Le doy gracias a mi madre Jaqueline Arias Aldana, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos sus valores, los cuales, me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada por su amor incondicional y no me equivoco al decir que eres la mejor mamá del mundo. A mi padre Juan Gabriel Rico Herrera, gracias por creer en mí, por ser ese gran ejemplo de perseverancia, constancia, por su gran valor de salir adelante, por el gran amor que lo caracteriza, y que día

tras día a inculcado en mí. Gracias a mis hermanos Juan Esteban y Karen Tatiana, por ser parte importante de mi vida y representar mi unidad familiar. A todos mis compañeros Sebastián, Julieth, Luis, Harold, Daniel y demás, mil gracias por todos los momentos que hemos pasado juntos y por qué han estado conmigo siempre, solo me queda decir mil gracias a cada una de las personas que compartieron conmigo esta hermosa etapa, les agradezco por su apoyo y afecto incondicional.

“...Se requiere de muchos estudios para ser profesional, pero se requiere de toda una vida para aprender a ser persona...”

Julio C. Dávila

Agradecimientos

Agradecemos a Dios, por habernos permitido terminar nuestra carrera profesional en los mejores términos, con salud y esperanza de poder lograr muchos éxitos más.

A nuestras familias por darnos amor, cariño, apoyo, confianza y sobre todo por darnos la oportunidad de estudiar y llegar a ser profesionales.

A la Profesora Nury Beatriz Sánchez, quien fue parte fundamental en nuestro desarrollo profesional, gracias por su dedicación y esfuerzo, ante tantos grupos, supo cómo guiarnos en tan arduo trabajo, por su apoyo, consejos, regaños, risas y aprendizajes, le queremos expresar nuestra gratitud, deseándole el éxito y el mayor de los augurios en su trayectoria profesional.

A la Universidad de Cundinamarca, por permitirnos realizar el proceso de aprendizaje en sus instalaciones, adquiriendo grandes conocimientos para nuestro desarrollo profesional y por su formación como personas.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	22
ABSTRACT	23
1. INTRODUCCIÓN	24
2. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO	25
3. JUSTIFICACIÓN	27
4. OBJETIVOS	28
4.1. OBJETIVO GENERAL	28
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	28
5. MARCO REFERENCIAL	29
5.1. Distribución geográfica de la tilapia roja (<i>Oreochromis sp.</i>) en el mundo	29
5.2. Distribución geográfica de la tilapia roja (<i>Oreochromis sp.</i>) en Colombia.....	30
5.3. Importancia económica de la producción de tilapia roja.....	32
5.4. Aspectos básicos de la tilapia roja	32
5.5. Morfología externa	32
5.6. Hábitos alimenticios	33
5.7. Hábitos reproductivos.....	33
5.8. Requerimientos ambientales	33
5.9. Biología de la especie	34
5.9.1. <i>Oreochromis aureus</i> - Tilapia azul.....	34
5.9.2. <i>Oreochromis niloticus</i> -Tilapia Plateada	34
5.9.3. <i>Oreochromis sp</i> - Tilapia roja	35
5.10. Aspectos básicos de la tilapia roja	35
5.11. Análisis de producción de larvas de tilapia roja	36
5.12. Selección de Reproductores.....	39
5.13. Producción Convencional.....	39
5.14. Incubación Artificial.....	40



5.14.1. Obtención de huevos para incubación artificial	41
5.14.2. Incubación.....	41
5.15. Reversión de Sexo	44
6. MARCO LEGAL	44
7. METODOLOGIA	46
7.1. Ubicación geográfica del estudio	46
7.2. Selección de pie de cría	46
7.3. Extracción de huevos fertilizados	47
7.3.1. Transporte de huevos fertilizados	47
7.4. Prototipos de incubadoras.....	49
7.5. Incubadora Comercial	49
7.6. Prototipo - Botellones de Agua.....	50
7.6.1. Elaboración del Prototipo	51
7.6.2. Características	51
7.6.3. Características Físicas del prototipo.....	52
7.7. Prototipo - Guadua recubierta con Geomembrana.....	52
7.7.1. Elaboración del prototipo	53
7.7.2. Características	53
7.7.3. Características Físicas del prototipo.....	54
7.8. Prototipo – Vidrio	55
7.8.1. Elaboración del prototipo	56
7.8.2. Características	56
7.8.3. Características Físicas del prototipo.....	57
7.9. Evaluación de la fase de incubación	57
7.10. Evaluación de la calidad de agua	59
8. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	60
8.1. Descripción de unidades experimentales	60



9.	ANALISIS DE DATOS	61
9.1.	Tasa de huevos embrionados	61
9.2.	Tasa de huevos no embrionados	61
9.3.	Tasa de huevos eclosionados	61
9.4.	Tasa de huevos no eclosionados	62
9.5.	Tasa de supervivencia de larvas.....	62
10.	RESULTADOS.....	63
10.1.	CALIDAD DE AGUA	63
10.1.1.	Temperatura del agua	63
10.1.2.	Oxígeno disuelto (OD) del agua en los prototipos.....	66
10.1.3.	pH.....	68
10.1.4.	Amonio	70
10.2.	PARAMETROS PRODUCTIVOS DE LOS PROTOTIPOS	70
10.3.	PRESUPUESTO	75
10.3.1.	Costo por cada prototipo.....	76
10.3.2.	Costo por cada incubadora.....	79
11.	DISCUSIÓN	81
11.1.	SELECCIÓN DE PIE DE CRÍA	81
11.2.	PARÁMETROS FÍSICO – QUÍMICOS DEL AGUA DE INCUBACIÓN	82
11.2.1.	TEMPERATURA (°C).....	82
11.2.2.	POTENCIAL DE HIDROGENO (PH)	83
11.2.3.	OXÍGENO DISUELTO (O2).....	83
11.2.4.	AMONIO (NH3).....	83
11.3.	TASA DE ECLOSIÓN.....	84
11.4.	SUPERVIVENCIA DE LARVAS.....	85
11.5.	COSTOS DE ELABORACIÓN DE PROTOTIPOS	86
12.	CONCLUSIONES.....	87



UDEC
UNIVERSIDAD DE
CUNDINAMARCA

13.	RECOMENDACIONES	88
14.	BIBLIOGRAFIA	89
15.	ANEXOS.....	94

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribución geográfica de <i>Oreochromis</i> sp. en el mundo.	29
Figura 2: Distribución geográfica de <i>Oreochromis</i> sp. En los Colombia.	31
Figura 3. Incubadoras comerciales de <i>Oreochromis</i> sp. con renovación de agua.	42
Figura 4. Mapa de ubicación geográfica de la investigación.	46
Figura 5. Huevos fertilizados	47
Figura 6. Procedimiento del proyecto a la obtención de semilla del híbrido de tilapia roja.	48
Figura 7. Incubadora comercial para <i>Oreochromis</i> sp. con recirculación de agua.....	49
Figura 8. Plano del prototipo de botellón.....	50
Figura 9. Elaboración del prototipo botellón.	51
Figura 10. Plano del prototipo de Guadua con geomembrana.	52
Figura 11. Elaboración del prototipo Guadua con geomembrana.	53
Figura 12. Plano del prototipo de Vidrio	55
Figura 13. Elaboración del prototipo vidrio.	56
Figura 14. Huevos de <i>Oreochromis</i> sp.....	58
Figura 15. Kit de Hach - Universidad de Cundinamarca.....	59
Figura 16. Temperatura entre horas de muestreo	65
Figura 17. Temperatura (°C) entre prototipos.....	65
Figura 18. Oxígeno disuelto entre los prototipos	67
Figura 19. Oxígeno disuelto entre días de muestreo.....	67
Figura 20. pH entre los prototipos	69
Figura 21. pH entre días de muestreo	69
Figura 22. %Huevos embrionados de los tres prototipos.....	72
Figura 23. Promedio de huevos embrionados de los prototipos.....	72
Figura 24. % Huevos eclosionados de los tres prototipos.....	73
Figura 25. Promedio de huevos eclosionados de los prototipos.....	74
Figura 26. % supervivencia de larvas de los tres prototipos	74
Figura 27. Promedio de supervivencia de larvas de los tres prototipos.....	75

Figura 28. Análisis de varianza de Temperatura entre los prototipos	94
Figura 29. Análisis de varianza de oxígeno disuelto entre los prototipos.....	94
Figura 30. Análisis de varianza de pH entre los prototipos	95
Figura 31. Análisis de varianza de huevos embrionados	95
Figura 32. Análisis de varianza de huevos eclosionados	95
Figura 33. Análisis de varianza de supervivencia de larvas.....	96

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía de la Oreochromis.	35
Tabla 2. Ventajas y desventajas de la incubación artificial.	41
Tabla 3. Parámetros de calidad de agua de los reproductores.	63
Tabla 4. Registro de temperatura en los prototipos	64
Tabla 5. Registro de Oxígeno disuelto del agua en los prototipos	66
Tabla 6. Registro de pH de cada prototipo	68
Tabla 7. Parámetro productivo del prototipo de botellón (P1)	70
Tabla 8. Parámetro productivo del prototipo de Guadua con Geomembrana (P2)	71
Tabla 9. Parámetro productivo del prototipo de Vidrio (P3)	71
Tabla 10. Costo total de los prototipos elaborados y sus repeticiones.	76
Tabla 11. Costo total del prototipo de botellón.	77
Tabla 12. Costo total del Prototipo de guadua con Geomembrana.	78
Tabla 13. Costo total del prototipo de vidrio.	79
Tabla 14. Costo por cada incubadora elaborada.	80

RESUMEN

La incubación de peces, es una actividad que podría ser un determinante en la efectividad de una producción piscícola. Este estudio fue realizado en las instalaciones del laboratorio de acuicultura de la universidad de Cundinamarca. Nuestro objetivo, fue diseñar y evaluar tres prototipos de incubadoras artesanales, para probar la productividad piscícola en el momento de la eclosión de los huevos. Se utilizaron recipientes en plástico y guadua recubiertos con geomembrana y vidrio. Los modelos se diseñaron en forma cónica con una capacidad de 18 L de agua en tres unidades por prototipo. Para los especímenes a evaluar, se utilizaron 15 peces parentales (10 hembras y 5 machos), que fueron ubicados en un tanque de 2.000 L de agua fertilizada para reproducción de ovas de tilapia roja levantadas en tanques circulares. Las tilapias se desovaron manualmente y el volumen de huevos desovados fue medido por el método gravimétrico. Los huevos fueron repartidos en cada una de las incubadoras. Se monitorearon variables como temperatura, pH, oxígeno disuelto y amonio en el agua. De otro modo, durante la incubación se consideró la tasa de huevos embrionados, eclosionados y finalizando la incubación; supervivencia y mortalidad de larvas entre los tres prototipos de incubadoras. Se realizó un análisis de varianza con la prueba de significación (Tukey). Los resultados indicaron diferencias significativas entre los tres prototipos ($p > 0,05$) y la mayor tasa de supervivencia de larvas en el prototipo de guadua y geomembrana. Con respecto a los costos de elaboración por incubadora, el prototipo de plástico con geomembrana fue el más económico. Este estudio, muestra la posibilidad de producir huevos viables en producciones piscícolas de tilapia a través de la elaboración de incubadoras artesanales.

Palabras claves: Incubadoras, tilapia roja, peces parentales, supervivencia, larvas.

ABSTRACT

Fish incubation is an activity that could be a determinant in the effectiveness of fish production. This study was conducted in the aquaculture laboratory at Universidad de Cundinamarca. Our aim was to design and evaluate three prototypes of handcrafted incubators to test fish productivity at the time of egg hatching. Plastic and bamboo containers covered with geomembrane and glass were used as materials. Prototypes were designed in a conical shape with a capacity of 18 L of water in three units per model. Specimens were evaluated including 15 parental fish (10 females and 5 males), which were grown in a tank of 2,000 L of fertilized water for reproduction of red tilapia eggs in circular tanks. Tilapia fish were manually spawned and egg volume spawned was measured by the gravimetric method. Eggs were distributed in each incubator. The variables monitored were temperature, pH, dissolved oxygen and ammonium in the water. Otherwise, during incubation, the rate of embryonated eggs was considered, hatched and successfully incubated; survival and mortality of larvae among the three prototypes of incubators. An analysis of variance was performed together with a significance test (Tukey). The results indicated significant differences between the three prototypes ($p > 0.05$) and the highest larval survival rate in the prototype of bamboo and geomembrane. Regarding the costs per incubator, the plastic prototype with geomembrane was the cheapest one. This study shows the possibility of producing viable eggs in tilapia fish production through the elaboration of handcrafted incubators.

Keywords: Incubators, red tilapia, parental fish, survival, larvae.

1. INTRODUCCIÓN

El híbrido de tilapia roja (*Oreochromis sp*), es un pez exótico del río Nilo en África, luego fue introducida al Cercano Oriente, habita también las zonas costeras de la India, América Central, del Sur y el Caribe, incluyendo a Cuba. Está actualmente distribuida en muchas áreas tropicales y subtropicales del mundo, (Pérez y García, 2000).

En Colombia, la producción de tilapia roja, es una de las más importantes, equivale al 58,5% de la producción total de peces, (de la Parra *et al.*, 2013), no obstante, existe una marcada disminución en la producción piscícola del 69,2% en los últimos 40 años. El híbrido de tilapia roja, es mayormente utilizado a razón de su precocidad reproductiva, resistencia a enfermedades y ciclo productivo corto. La producción de tilapia, se encuentra en auge debido a la alta demanda del mercado, sin embargo, los productores se enfrentan a diversos problemas productivos, como son la baja producción de huevos por desove, (Prieto y Olivera, 2002), la baja fertilidad de los mismos, debido a la alta variabilidad de la temperatura del agua al momento del desove, lo que afecta las larvas de tilapia, disminuyendo así, la rentabilidad del productor piscicultor.

Por las consideraciones anteriores, esta investigación, se enfocará en la evaluación de la utilización de tres prototipos de incubadoras, utilizando materiales a bajo costo, con el fin de determinar la supervivencia de huevos del híbrido de tilapia roja, que como ya se ha aclarado, es uno de los problemas para el manejo y la productividad de la eclosión de las larvas, con el diseño de los tres prototipos de incubadoras, se espera evaluar cuál de los diseños representa la mayor productividad en cuanto a la eclosión de los huevos y supervivencia de las larvas. Según (Fukushima *et al.*, 2016), las primeras investigaciones se realizaron en el siglo XIX, se estima que gracias a las favorables características y adaptabilidad que posee el híbrido de tilapia roja, se considera ideal para la producción de piscicultura rural e industrial.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

Los mayores problemas en la producción comercial de larvas de tilapia roja son: la baja producción de huevos en cada desove, alta frecuencia de desoves, temprana madurez sexual debido a la competencia de espacio, alimento, oxígeno, ocasionando alevines de diferentes tallas, tiempo invertido y desgaste energético durante el cuidado parental. La producción de tilapia roja implica algunos problemas que hay que tener en cuenta, una de ellas es su alta precocidad reproductiva, ya que puede alcanzar su madurez sexual durante la etapa de ceba de forma no controlada, haciendo que la población no crezca de forma homogénea y se genere sobrepoblación en los estanques, (Hernández *et al.*, 2016). La tilapia roja es un híbrido el cual su tejido gonadal en etapa de larva al momento de eclosionar, no está diferenciado, (Arboleda, 2005). El periodo de diferenciación sexual inicia desde el momento de la eclosión y puede ser dado al azar, o por factores químicos específicos, (López *et al.*, 2007).

La incubación se da por medio de dos métodos; la primera es de forma “natural” en el cual los huevos son almacenados en la boca de la hembra y los incuba hasta su eclosión, el segundo método es por medio de incubadoras, extrayendo los huevos de la boca de la hembra y posteriormente, colocándolos en incubadoras a una temperatura aproximada de 28°C.

Usualmente no existe un control de las variables ambientales para la incubación de la semilla de tilapia roja, no hay la certeza de tener una semilla de tilapia roja diferenciada, debido a una inadecuada o inexistente utilización de hormonas, en el primer mes de la etapa larvaria. Es fundamental, investigar en prototipos alternativos de incubadoras para la semilla de tilapia roja, para que así los piscicultores tengan más herramientas alternativas productivas, (López *et al.*, 2007).

Las variaciones climáticas extremas constantes, hace que exista una menor frecuencia de desoves y una baja extracción de huevos, sin embargo, mediante la utilización de incubadoras y temperaturas controladas, se puede asegurar una supervivencia de larvas de tilapia hasta de un 80.8%, resultando en una mejora de la productividad. El sector piscícola contribuye a la

seguridad y soberanía alimentaria, (Culiacán, 2009). Por lo anteriormente dicho, se torna de gran importancia, generar una nueva investigación in situ, basada en la elaboración de 3 prototipos de incubadoras a bajo costo y ser probadas evaluando su productividad en la obtención de larvas del híbrido de tilapia roja.

3. JUSTIFICACIÓN

El híbrido de tilapia roja, tiene la particularidad y facilidad de reproducirse en los estanques desde muy temprana edad, la alta sobre-población de los alevines, son características que hacen de la tilapia un buen ejemplar para la producción. Sin embargo, la reproducción de estos peces puede ocasionar una sobrepoblación en el estanque, resultando en una competencia por el alimento, oxígeno y espacio entre los peces liberados originalmente y las crías, esto puede resultar en una disminución de la supervivencia de larvas y el efecto de reducción del crecimiento en los peces destinados a la etapa de engorde, (Pulgarin *et al.*, 2012). Con una libre reproducción de los peces, el engorde de tilapia no es rentable, los peces tendrán un crecimiento muy lento y no alcanzarán un peso de comercialización rápidamente, (Hernández, *et al.*, 2002).

Según García y Vélez, 2015, si se compara el sistema de incubación artificial de huevos embrionados de tilapia, con el sistema de reproducción natural, el sistema de incubación artificial, resulta más efectivo para obtener una alta calidad de alevines con un mínimo grado de manipulación, control sobre las condiciones ambientales de la calidad del agua de incubación, mejor monitoreo de los reproductores en términos de producción de huevos y alevines, así como el aprovechamiento del 100% de larvas sexualmente indiferenciadas, para someter a tratamientos hormonales de reversión sexual, con resultados por encima del 95%.

En consecuencia, con el planteamiento de (García y Vélez, 2015), esta investigación se basa en la evaluación de tres tipos de incubadoras artesanales a bajo costo, para que se tenga una alternativa de reproducción y control de las larvas del híbrido de tilapia, garantizando una reversión sexual adecuada, para que así, posteriormente, no surjan problemas por competencia de espacio oxígeno y comida en la producción comercial del híbrido, controlando así, la consanguinidad de estos animales. También, se garantizaría un mejor crecimiento en menos tiempo, que es el objetivo final de los piscicultores para obtener mejores rendimientos económicos y productivos.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar y evaluar tres prototipos de incubadoras artesanales, para la incubación de huevos embrionados del híbrido de tilapia roja (*Oreochromis sp.*).

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Seleccionar pies de cría para la reproducción del híbrido de tilapia roja (*Oreochromis sp.*).
2. Diseñar tres (3) prototipos de incubadoras a bajo costo, para los huevos embrionados del híbrido de tilapia roja (*Oreochromis sp.*).
3. Evaluar la factibilidad técnica de adaptar tecnologías artesanales, en la incubación de huevos del híbrido de tilapia roja (*Oreochromis sp.*).
4. Determinar el beneficio económico y financiero de los prototipos de incubadoras.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1. Distribución geográfica de la tilapia roja (*Oreochromis sp.*) en el mundo

El cultivo de la tilapia (*Oreochromis sp.*), puede rastrearse en los antiguos tiempos egipcios que data de más de 4.000 años atrás y que muestra peces en estanques ornamentales. La tilapia roja, se introdujo a Japón y Tailandia en 1.965, y de ahí se siguió a Filipinas. La tilapia roja, se introdujo a Brasil en 1.971 y de Brasil también se pasó a Estados Unidos en 1.974. En 1.978, la (*Oreochromis sp.*) se introdujo a China, el cual actualmente es el principal productor mundial y que continuamente ha producido más de la mitad de la producción global de 1.992 a 2.003.

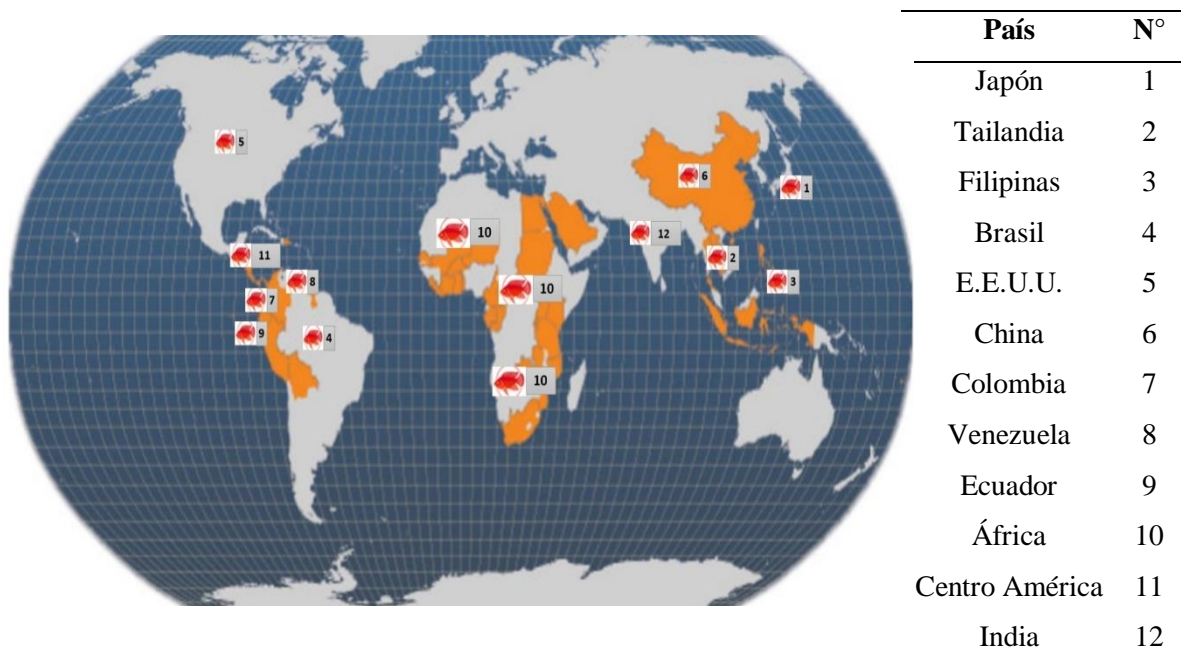


Figura 1: Distribución geográfica de *Oreochromis sp.* en el mundo.

Tomado de: estadísticas pesqueras FAO, 2018

Las tilapias, son peces endémicos originarios de África y el Cercano Oriente, en donde se inicia la investigación a comienzos del siglo XIX, la tilapia roja, contribuyó a un desarrollo acelerado de la piscicultura comercial a partir de la década de los 80'se inició la explotación,

acuícola en: Colombia 1.982, Venezuela 1.989 y Ecuador en 1.993, en forma casi simultánea, con países centroamericanos, caribeños, norteamericanos y Cuba.

5.2. Distribución geográfica de la tilapia roja (*Oreochromis sp.*) en Colombia

Colombia es un país tropical con temperaturas estables, posee todos los pisos térmicos y una vasta red fluvial que recorre todo el país. Tiene una superficie continental de 1'441.748 km² y posee costas sobre el océano Pacífico (1.300 km) y el océano Atlántico (1.600 km). Cuenta con una gran cantidad de cuencas hidrográficas. Posee una de las mayores diversidades de peces del planeta y una alta biodiversidad de organismos hidrobiológicos, al igual que aguas dulces, salobres, marinas y terrenos aptos que le otorgan un gran potencial para el desarrollo de la acuicultura.

La tilapia roja, fue introducida al país en 1.982 por productores particulares y desde esa época se está produciendo a nivel artesanal e industrial. Posteriormente, bajo la misma denominación, fueron introduciéndose otros híbridos rojos de tilapia, provenientes de diferentes países, incluyendo (*O. niloticus*). En Colombia, a partir del año 1.995, se iniciaron los trabajos de mejoramiento genético de esta especie con asesoría cubana.

Las principales zonas de producción de tilapia roja del país, se localizan en diferentes regiones, son los departamentos del Huila, Tolima, Antioquia, Santander, Meta y Valle del Cauca, los cuales aportan el 75% de la producción. La superficie aproximada es de 525 hectáreas, aunque existen proyectos en jaulas flotantes que ocupan entre 2 y 5 hectáreas en total.



Departamento	N°
Huila	1
Tolima	2
Antioquia	3
Santander	4
Meta	5
Valle del Cauca	6

Figura 2: Distribución geográfica de *Oreochromis sp.* En los Colombia.

Tomado de: estadísticas pesqueras FAO, 2018.

El alimento utilizado, es el concentrado comercial con 48%, 30% y 24% de valor proteico el cual es empleado para las diferentes fases como iniciación, levante y engorde. Este alimento, es elaborado por diferentes empresas productoras de balanceados, (INPA, 1996), también se utilizan los fertilizantes, que pueden ser de tipo orgánico (estiércol de ganado, aves o cerdos) y químicos (15-15-15; 10-30-10; urea, superfosfato, cal agrícola, dolomita entre otros). La producción por hectárea es de aproximadamente de 30 a 50 toneladas/hectáreas/año, con densidades de siembra de hasta 20 alevines/m² o 6 - 8 Kg/m² en estanques. Este híbrido, se cultiva también en jaulas flotantes en embalses artificiales, principalmente en el embalse de Betania en el departamento del Huila. En estos últimos se ha desarrollado una tecnología propia, con altas producciones por unidad de volumen, del orden de los 150 peces/m³ o 50 Kg/m³.

5.3. Importancia económica de la producción de tilapia roja

A nivel mundial, el sector piscícola es el quinto de mayor importancia pecuario. El pescado provee el 25% de la proteína de origen animal en países desarrollados y el 75% en países en vía de desarrollo, (Beltrán *et al.*, 2010). La producción de tilapia se comenzó a intensificar a partir de 1.920, desde entonces, la tilapia roja (*Oreochromis sp*), ha sido una de las especies más producidas en la acuicultura mundial. Su alto nivel proteico, su bajo costo de producción y precio de venta asequible respecto a otras especies piscícolas, la convierten en un producto de gran importancia comercial.

5.4. Aspectos básicos de la tilapia roja

De manera general, la tilapia roja presenta una serie de características que la hacen muy atractiva para el rendimiento de los piscicultores:

- Requieren condiciones especiales del medio y un completo programa de selección genética, para mantener coloración y calidad.
- Su condición genética y exigencia en rendimientos (crecimiento, carne), obliga a su alimentación con balanceados comerciales equilibrados.
- Responde en altas densidades de siembra.
- Se adapta fácilmente a altas salinidades.
- Resistente a cambios bruscos temperaturas.
- Su cosecha es muy sencilla, su coloración la hace más susceptible a pérdidas por mortalidad, (Fukushima *et al.*, 2016).

5.5. Morfología externa

Según Phelps y Popma, 2000, el cuerpo de la tilapia es generalmente comprimido y discoidal, raramente alargado. La boca es protráctil, generalmente ancha, a menudo bordeada por labios gruesos; las mandíbulas presentan dientes cónicos y en algunas ocasiones incisivos. Para su locomoción poseen aletas pares e impares. Las aletas pares las constituyen las pectorales y las ventrales; las impares están constituidas por las aletas dorsales, la caudal y la anal.

5.6. Hábitos alimenticios

Las materias primas vegetales, surgen como una posibilidad en la composición de dietas para los peces, disminuyendo los costos de producción en cultivo. Según estudios de (Pineda *et al.*, 2013), han demostrado que los animales son herbívoros con preferencia por material vegetal, posiblemente fitoplancton y micro algas. En los peces el hábito alimenticio depende, de la especie, el tamaño, la hora del día, el fotoperiodo, la profundidad del agua y la distribución geográfica.

5.7. Hábitos reproductivos

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 30-40g. en condiciones ambientales favorables, 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. Las tilapias hembras desovan en múltiples ocasiones, normalmente, una hembra realiza 8-12 puestas en un año en condiciones favorables de temperatura. Cada puesta puede contener entre 200 y 2.000 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 libre, (Novoa y Nery, 2012).

5.8. Requerimientos ambientales

Los factores ambientales de mayor importancia para el cultivo de tilapia son:

- Temperatura óptima de 22 a 26°C.
- Oxígeno disuelto mínimo de 4 ppm.
- Rango de tolerancia de pH 5,0 a 9,0.
- pH óptimo con un valor ideal de 7,5.

La turbidez del agua es un parámetro que permite establecer su calidad, dado que mayor turbidez (ocasionado por densidades de siembra muy alta o por exceso en la alimentación), aumenta la temperatura, se reduce la concentración de oxígeno, aumenta las enfermedades y

se pone en riesgo la vida de los peces. Por lo tanto, es necesario hacer mediciones mediante muestreos semanales de estos parámetros fisicoquímicos con la ayuda de un Kit portátil de Hach, (Toledo y García, 2000).

5.9. Biología de la especie

El desarrollo del híbrido de tilapia roja, permite obtener muchas ventajas sobre otras especies, como el alto porcentaje de masa muscular, filete grande, ausencia de espinas intramusculares, crecimiento rápido, adaptabilidad al ambiente, resistencia a enfermedades, excelente textura y coloración de carne, con muy buena aceptación en el mercado, dadas las condiciones que anteceden se deben tener en cuenta los siguientes parámetros, (Fukushima *et al.*, 2016).

La Tilapia, al igual que otros peces y animales, vienen en una variedad de especies. Tres de las especies de Tilapia más comunes son la *Oreochromis aureus*, *Oreochromis niloticus* y *Oreochromis sp.* Las dos especies de *Oreochromis*, varían en forma, tamaño y color al igual, que el híbrido de tilapia roja.

5.9.1. *Oreochromis aureus* - Tilapia azul

Poseen un cuerpo comprimido, una característica típica a nivel familiar tiene una línea lateral interrumpida, la parte anterior termina por lo regular como al final de la dorsal y se inicia de nuevo dos o tres filas de escamas más abajo, con aletas dorsales largas. Presentan en todo el cuerpo un color azul verde metálico, en particular en la cabeza. El vientre es claro, las aletas dorsales y parte terminal de la aleta caudal es de color roja. Su longitud es de 35 cm. con un peso aproximado algo superior a 3 Kg, (Bonilla y Odil, 2007).

5.9.2. *Oreochromis niloticus* -Tilapia Plateada

También conocida como tilapia plateada, este pez puede medir hasta 60 cm y pesar hasta 4 kg. Su cuerpo posee unas líneas verticales separadas de color oscuro y en la aleta caudal, en la época reproductiva el color de las aletas se vuelve rojizo. Esta especie es la menos tolerante al frío por lo que prefiere climas tropicales, (Hernández *et al.*, 2016).

5.9.3. *Oreochromis sp* - Tilapia roja

La Tilapia roja es un híbrido del cruce de cuatro especies de Tilapia: tres de ellas de origen africano y una cuarta israelí. Este pez se posee una reproducción característica por realizar una incubación bucal, además de que protege a sus crías. En cuanto al dimorfismo sexual los machos son más grandes y poseen mayor brillo y color.

Tabla 1. Taxonomía de la *Oreochromis*.

Familia	Nombre científico	Nombre común	Hábitat
	<i>Oreochromis aureus</i>	tilapia azul	Aguas Cálidas
<i>Cichlidae</i>	<i>Oreochromis niloticus</i>	tilapia plateada	25 °C - 34 °C
	<i>Oreochromis sp</i>	tilapia roja	Aguas lenticas

Fuente: (Fukushima M, *et al.*, 2016).

- Rango de pesos adultos: 1.000 a 3.000g.
- Edad de madurez sexual: machos (4 a 6 meses), hembras (3 a 5 meses).
- Número de desoves: 5 a 8 veces / año.
- Temperatura de desove: rango 25°C a 31°C.
- Número de huevos/hembra/desove: en buenas condiciones mayor de 100 huevos hasta un promedio de 1.500 dependiendo de la hembra.
- Vida útil de los reproductores: 2 a 3 años.
- Tipo de incubación: bucal.
- Tiempo de incubación: 3 a 6 días.
- Proporción de siembra de reproductores: 1,5 a 2 macho por cada 3 hembras.
- Tiempo de cultivo: bajo buenas condiciones de 5 a 7 meses, cuando se alcanza un peso comercial de 300g (depende de la temperatura del agua, variación de temperatura día vs noche, densidad de siembra y técnica de manejo, (Culiacán, 2009).

5.10. Aspectos básicos de la tilapia roja

Dentro de las principales características que se deben tener en cuenta para la elección del híbrido de tilapia roja a producir tenemos:

- Curva de crecimiento rápida.
- Hábitos alimenticios adaptados a dietas suplementarias que aumenten los rendimientos (facilidad de administrar alimentos balanceados).
- Tolerancia a altas densidades de siembra, debido a los altos costos de adecuación de terrenos e insumos.
- Tolerancia a condiciones extremas: resistencia a concentraciones bajas de oxígeno, niveles altos de amonio, valores bajos de pH.
- Fácil manejo: resistencia al manipuleo en siembra, transferencias, cosechas, manejo de reproductores.
- Capacidad de alcanzar tamaños de venta antes de la madurez sexual: la cosecha se hace a los 6 meses y la madurez sexual se alcanza dependiendo de la pureza de la línea (luego de los 3 meses).
- Facilidad de reproducción, levante de reproductores y disponibilidad de alevinos.
- Buen fenotipo y de fácil aceptación en el mercado.
- Buenos parámetros de producción (conversión alimenticia, ganancia de peso, supervivencia), (Hernández *et al.*, 2016).

5.11. Análisis de producción de larvas de tilapia roja

En las unidades piscícolas, la eficiencia reproductiva es de gran importancia para maximizar la producción de peces comerciales y la rentabilidad de los sistemas de producción. El incremento de la tasa de desove en el plantel de reproductores, garantizaría mayor oferta de alevinos y ejemplares de talla comercial. Sin embargo, en estas especies existen numerosos factores que afectan su eficiencia reproductiva o causan desoves no sincronizados, lo cual afecta la producción comercial de huevos, causa variaciones en el tamaño de los mismos y canibalismo entre larvas, (Suresh y La Cruz, 1995).

El híbrido de tilapia roja, es mayormente utilizada a razón de su precocidad reproductiva, resistencia a enfermedades y ciclo productivo corto. La producción de tilapia se encuentra en

auge debido a la alta demanda del mercado, sin embargo, los productores se enfrentan a diversos problemas productivos como son la baja producción de huevos por desove y la baja fertilidad de los mismos debido a los cambios de temperatura del agua al momento del desove lo que afecta la semilla de tilapia disminuyendo así la rentabilidad del productor piscicultor, (Villarreal *et al.*, 2013).

Las características aparentemente positivas de las tilapias como la maduración precoz, la facilidad de reproducción, la realización de puestas frecuentes, múltiples y el elevado nivel de cuidados parentales, pueden formar también parte de la base de muchos desafíos que se presentan en los sistemas tradicionales de producción de semilla de tilapia.

La reproducción incontrolada que conduce a sobrepoblación, que frena el crecimiento en los tanques de engorde y reproducción. En los sistemas de estanques de reproducción, la cantidad producida de larvas normalmente aumenta rápidamente después que los reproductores son introducidos y luego disminuye gradualmente, (Suresh y La Cruz, 1995). A este fenómeno, se le atribuyen dos razones principales:

La primera, es imposible recolectar todas las larvas liberadas, de forma que el estanque pronto estará superpoblado con los animales resultantes de las puestas precoces. Esto conlleva a un aumento en la competencia por el alimento y el espacio, que redundará en una disminución de la producción de semilla. También, se produce un considerable número de casos de canibalismo en larvas jóvenes por parte de larvas mayores que producen un descenso en la producción de semilla.

La segunda razón, es que la puesta de las hembras no ocurre de forma sincronizada justo después que los nuevos reproductores introducidos completen su primera puesta. Como resultado, la producción de larvas se produce de forma continua, pero a un ritmo bajo. Debido a este comportamiento de puesta asincrónica también se aumentan las probabilidades de que se produzca canibalismos entre las larvas, (Mantilla *et al.*, 2016).

En los planteles de reproducción se pueden recolectar, según el estado de desarrollo embrionario, al menos tres tipos de semilla, (huevos y larvas), con características bien definidas, que permiten su incubación y manejo post-larval. El primer estadio corresponde al de los huevos fertilizados, cuando el embrión aún está dentro del huevo y no ha eclosionado (fase 1). El segundo, corresponde al estadio cuando la larva está parcialmente fuera del huevo o en proceso de eclosión, y hay presencia visible del saco vitelino (fase 2); y la tercera, cuando se ha completado la eclosión, ha ocurrido la absorción parcial o total del saco vitelino y las larvas nadan libremente (fase 3), (Prieto y Olivera, 2002).

De las mencionadas, la fase larval puede presentar dificultad para su recolección, así como una baja cantidad de ellas sexualmente indiferenciadas, que podría limitar el proceso de reversión sexual al que son sometidas para evitar la proliferación masiva de alevines no deseados y que aumentaría la competencia por el alimento y el espacio, incrementando el canibalismo, de esta manera reduciendo la producción de semilla. La práctica de remover los huevos y las larvas, aún con saco vitelino, de la cavidad bucal de las hembras para continuar la incubación artificialmente, resulta en una mejora de la productividad, (Suresh y La Cruz, 1995).

Los sistemas de estanques exhiben mayor dificultad al momento de recolectar las semillas en los diferentes estadios de desarrollo, aunque los reproductores experimentan un comportamiento más natural construyendo sus nidos para desovar dentro de estos recintos, condición que puede provocar una proliferación masiva de larvas; particularmente cuando las hembras exhiben una maduración temprana. Por otra parte, los tanques de concreto tienen la particularidad, que hacen posible un control más homogéneo en la producción de huevos y larvas, a la vez que permite establecer jornadas frecuentes de desove manual de semillas, (López *et al.*, 2007).

A medida que se van intensificando los sistemas de producción de tilapia, se intensifican la creciente producción de larvas y alevines mono sexo (machos), este método de producción se da, con la administración de la hormona 17α metil testosterona, mezclada con el alimento

en el momento en que se realice la eclosión de los huevos, se suministra durante 30 días, también es importante, que los alimentos formulados con hormonas sean la principal fuente de alimento de las larvas, estas condiciones exigen que las larvas sean separadas de sus madres tan pronto como sea posible, lo que supone un considerable desafío en los sistemas tradicionales de producción de larvas de tilapia, (Phelps y Popma, 2000). La técnica más utilizada de reversión sexual en tilapias es por vía oral, en donde la hormona masculinizante es mezclada con el alimento, con esta técnica se obtienen valores de 98% de masculinización.

5.12. Selección de Reproductores

Es de vital importancia seleccionar reproductores (hembras y machos), que cumplan con las características fenotípicas adecuadas, para así, garantizar una buena línea genética en la reproducción de alevines y, en consecuencia, obtener buenos resultados de crecimiento. Según Ruáles, 2014, se debe tener en cuenta para la selección de los reproductores las siguientes características:

- Peso de 250 a 500g.
- Talla de 12 a 17cm.
- Edad de 6 a 12 meses.
- Poseer un cuerpo proporcionalmente ancho comparado con su longitud, es decir que la cabeza quepa más de 1,5 veces el ancho de su cuerpo.
- Tener cabeza pequeña y redonda.
- Poseer buena conformación corporal (buen filete, cabeza pequeña, pedúnculo caudal corto).
- Libre de toda malformación.
- Ser cabeza de lote y estar sexualmente maduro.
- Poseer buena coloración y estar libre de manchas.

5.13. Producción Convencional

En el sistema convencional de producción, los animales se aparean asincrónicamente en el mismo estanque donde se incuban los huevos, las larvas eclosionan y posterior se hace su respectiva cosecha, los reproductores se reacondicionan para el siguiente ciclo sin

intervención por parte del productor, (Campos *et al.*, 2004). En este sistema es imposible recolectar todas las larvas, de forma que el estanque pronto estará superpoblado lo que aumenta la competencia por el alimento y espacio reduciendo la producción de semilla. La incubación natural de las hembras de *Oreochromis sp.* Ocasiona un periodo de ayuno de 10 días, tiempo en el que no consumen alimento. Finalizada esta etapa, requieren dos semanas para reacondicionarse antes de volver a desovar, (Bhujel, 2000). Esto conduce a que los intervalos entre los desoves sean muy largos y se disminuye la vida reproductiva de las hembras. Uno de los limitantes en el proceso de reversión sexual, es obtener una adecuada cantidad de post-larvas sexualmente indiferenciadas para iniciar el tratamiento hormonal correspondiente, (Pineda *et al.*, 2013).

Los problemas resultantes para el operario de una *hatchery* de tilapia, son la baja productividad de semilla, las poblaciones de individuos de tamaño no uniformes y el bajo éxito en la producción de poblaciones de un solo sexo, (Campos *et al.*, 2004).

5.14. Incubación Artificial

El sistema de incubación artificial de huevos de tilapia, (Prieto y Olivera, 2002), es muy efectivo para producir una alta calidad de alevinos, con un mínimo grado de manipulación, (Moreno *et al.*, 2007), control sobre las condiciones fisicoquímicas del agua de incubación, (Ramírez *et al.*, 2009), mejor monitoreo de los reproductores en términos de producción de huevos y alevinos, (Novoa y Nery, 2012), 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%, (Marengoni y Wild, 2014). 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, (Beltrán *et al.*, 2010), además la técnica de incubación artificial, permite un programa de selección eficiente por familias, y así, se evita la disminución de la introgresión genética, (López *et al.*, 2007). En la tabla 2 se puede observar algunas ventajas y desventajas que proporciona la incubación artificial de huevos embrionados de tilapia roja.

Tabla 2. Ventajas y desventajas de la incubación artificial.

Ventajas de la incubación artificial	Desventajas de la incubación artificial
<ul style="list-style-type: none"> - Control individual que se tiene sobre los lotes de huevos recolectados de cada hembra. - Cada ovoposición de una hembra puede ser incubada separadamente del resto de los huevos. - Se produce una alta calidad de alevinos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Demanda de tiempo. - Los reproductores serán manejados periódicamente. - Aumento de mano de obra.

Fuente: López C.A, *et al.*, 2007

5.14.1. Obtención de huevos para incubación artificial

Al seleccionar los reproductores, las hembras son mantenidas en estanques circulares, durante 10 a 14 días donde recibirán alimento balanceado, aproximadamente una proporción de 2-3% de la biomasa, (Mantilla *et al.*, 2016). Posteriormente se trasladan a los estanques de reproducción, de mayor tamaño, donde permanecen de 5 a 7 días con los machos, con una relación de 1 macho por cada 2 hembras, en relación con este último, una vez que se han recogido los huevos, en el día 5 o 7, las hembras regresan nuevamente a sus estanques para su descanso durante unos 10 a 14 días, se establece que el destete, práctica de retirar los huevos de la boca de los reproductores de tilapia, esto arroja como resultado el aumento de semillas en medios controlados en el laboratorio, (Gil *et al.*, 2012).

5.14.2. Incubación

Una vez revisadas las hembras, al día 5 a 7, sus huevos fecundados son retirados de la cavidad bucal (Figura 4), son divididos en lotes dependiendo del estadio de desarrollo, (Campos *et al.*, 2004). Los huevos se desinfectan con soluciones yodadas, formalina, verde de malaquita

o acriflavina, para evitar infecciones bacterianas, principalmente *Aeromona hydrophyla* y *Pseudomona fluorescens*, o de hongos como *Saprolegnia sp.*, *Fusarium sp.* y *Trichoderma sp.*, lo que puede disminuir los porcentajes de eclosión considerablemente, (Carrillo *et al.*, 2007), (Pérez y Serrano, 2014).

Los huevos de las especies de *Oreochromis sp.* se incuban en recipientes con fondo cónico, lo cual permite la continua rotación de los huevos, (Fukushima *et al.*, 2016). Debido a su gran tamaño (1,4 – 2,2 mm), (Pulgarin *et al* 2012), y peso (3,8 – 7,8 mg), (Beltrán *et al.*, 2010), tienden a caer rápidamente al fondo del recipiente por lo cual se debe mantener un flujo de agua constante (figura 4), simulando el movimiento de rotación que los huevos sufren en la boca de la hembra, (López *et al.*, 2007). Las principales pérdidas son debidas a daños físicos causado al corion de los huevos y algunas veces por stress debido a un imbalance osmótico y contaminación bacterial o por hongos, (Beltrán *et al.*, 2010).

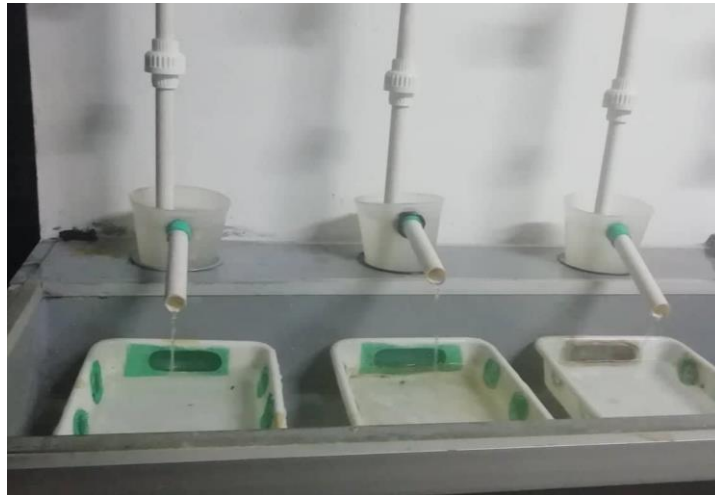


Figura 3. Incubadoras comerciales de *Oreochromis sp.* con renovación de agua.

Tomado del CINPIC-Universidad de Córdoba.

El número de huevos que deposita una hembra es en relación al cuadrado de su longitud en centímetros, como se logra observar en la siguiente formula.

$$\left[\frac{\# \text{Huevos}}{\text{Postura}} = (\text{Largo de la Hembra en cm})^2 \right]$$

Así, una hembra de 20cm de largo pondría aproximadamente 400 huevos en cada postura. Una de 30 cm de largo total pondría cerca de 900 huevos.

La incubación bucal de los huevos, es una adaptación que asegura una buena supervivencia de los embriones y de los peces-larvas que nacen después. Una hembra puede poner huevos a intervalos de 4 a 5 semanas, mientras la temperatura del agua está arriba de 22 °C bajo condiciones óptimas, la hembra puede poner a intervalos más breves aún, (Alvarez y Muñoz, 2000).

Villarreal *et al.*, 2013, indican que los sistemas de producción de tilapia tienen como factores limitantes, la estrategia de maduración de tipo asincrónico y su baja fecundidad, por lo que se requiere de la aplicación de técnicas de manejo orientadas a la producción sostenida de semilla, para atender la demanda del mercado.

Similarmente, Prieto y Olivera 2002, señalaron que los mayores problemas en la producción comercial de semilla de tilapia son, baja producción de huevos en cada desove, alta frecuencia de desoves, temprana madurez sexual, obtención de larvas y alevinos de diferentes tallas, baja fecundidad, tiempo invertido y desgaste energético durante el cuidado parental; sin embargo, indicaron también, que removiendo los huevos y las larvas, aun con saco vitelínico, de la cavidad oral de las hembras para continuar la incubación artificialmente, resulta en una mejora de la productividad, la producción de ovas, la incubación y producción consecuente de larvas y su supervivencia en condiciones de incubación artificial, en incubadoras artesanales. En este contexto, la presente investigación, fue ejecutada con el objetivo de determinar la factibilidad técnica de adaptar tecnologías en la producción de larvas de tilapia *Oreochromis sp*, consistentes en la captura de ovas fecundadas y/o embrionadas en fase de incubación bucal, para continuar su desarrollo en incubadoras

artesanales, y evaluar cuál de los tres prototipos diseñados nos genera una mejor y mayor productividad de larvas frente a las incubadoras comerciales.

5.15. Reversión de Sexo

Es el período de tratamiento de los alevines con hormonas, para lograr producir poblaciones de peces 98% del sexo masculino. La reversión del sexo se logra en un período de aproximadamente 28 a 30 días. Al finalizar el tratamiento de hormona, los pececillos tendrán una longitud de 25 a 35 mm y un peso promedio de 0,15g a 0,50g. Las tilapias recién nacidas son susceptibles al tratamiento con hormonas masculinizantes, las cuales inducen una inversión del sexo en los peces hembras. Las hembras tratadas con la hormona desarrollarán todas las características de un macho normal y pueden funcionar perfectamente en la reproducción, (Alvarado, 2015). A continuación, se detallan los pasos importantes para usar la 17 - alfa - metil-testoterona en producir poblaciones de machos de tilapia. La hormona MT es sintética, tiene un precio de aproximadamente de \$5.00 por gramo. La MT es un esteroide insoluble en agua, pero soluble en alcohol, este producto es sensible al calor y a la luz solar. Ambos factores son capaces de degradar la hormona rápidamente. La hormona es administrada a los peces por vía oral mezclándola en el alimento. La concentración recomendada de MT para efectuar la inversión de sexo en tilapias en un intervalo de 30 a 60mg MT/Kg de alimento, (Pérez y García, 2000).

6. MARCO LEGAL

Las principales normas que rigen a la pesca y la acuicultura, se consignan en la ley 13/90 y el decreto reglamentario 2256/91, en los que se trata el tema de los permisos de cultivo (producción, procesamiento y comercialización) o licencias de funcionamiento que expide la autoridad competente para su ejercicio, el INCODER, a través de la subgerencia de Pesca y Acuicultura, por medio de la oficina de registro y control. En el aspecto ambiental, el permiso de concesión de aguas y la presentación de planes de manejo ambiental, son exigidos por las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR), en forma directa o a través del cumplimiento de las guías ambientales. Actualmente se están realizando las de piscicultura, con el apoyo de los consejos regionales de las cadenas productivas, con lo cual se persigue que la actividad

se realice en forma armónica con el medio ambiente y se busque la sustentabilidad ambiental, (Alicorp, 2010).

En los departamentos y municipios del país se han realizado los Planes de Ordenamiento Territorial (POT), en los que se han determinado las actividades económicas importantes. En algunos de estos Planes se tiene a la acuicultura como una actividad importante para el desarrollo de la región.

El Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos - INVIMA, es la entidad dependiente del Ministerio de Salud a quien corresponde velar por la inocuidad de los productos alimenticios en general.

Resolución 2287 de 2015. Otorga los objetivos institucionales de la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP).

Decreto 4181 de 2011. La (AUNAP), tiene la autoridad pesquera y acuícola de Colombia, para lo cual adelantará los procesos de planificación, investigación, ordenamiento, fomento, regulación, registro, información, inspección, vigilancia y control de las actividades de pesca y acuicultura, aplicando las sanciones a que haya lugar, dentro de una política de fomento y desarrollo sostenible de estos recursos, (Ministerio de agricultura y desarrollo rural, 2011).

Artículo 41 de la Ley 13 de 1990. Establece que se entiende por acuicultura el cultivo de especies hidrobiológicas mediante técnicas apropiadas en ambientes naturales o artificiales y, generalmente, bajo control,(Congreso de la República, 1990).

Artículo 2.16.4.2.1 y el decreto 1071 de 2015. Establece que: “La Autoridad Nacional de Acuicultura y AUNAP o la entidad que haga sus veces, podrá declarar como domesticadas para el desarrollo de la actividad de la acuicultura, mediante acto administrativo fundado en consideraciones técnicas, las especies de peces que hayan sido introducidas al territorio

nacional, sin perjuicio las normas legales vigentes sobre bioseguridad, salud pública y sanidad ambiental, (Ministry of Agriculture, 1991).

7. METODOLOGIA

7.1. Ubicación geográfica del estudio

El estudio fue llevado a cabo en las instalaciones de la Universidad de Cundinamarca, sede Fusagasugá, capital de la provincia del Sumapaz, ubicado en el departamento de Cundinamarca, con una altura promedio de 1.726 msnm, temperatura ambiente promedio de 20 °C y una humedad relativa del 80%.



Figura 4. Mapa de ubicación geográfica de la investigación.

Tomado de: Alcaldía de Fusagasugá 2018

7.2. Selección de pie de cría

Se seleccionaron los reproductores de pie de cría, los cual son provenientes de Tibacuy, dando una proporción de 2 hembras por 1 macho, para un total de 10 hembras y 5 machos,

utilizados durante el periodo de la investigación para la extracción de huevos, y lograr evaluar los prototipos de incubadoras artesanales.

7.3. Extracción de huevos fertilizados

La extracción de los huevos, se realizó por enjuague de la cavidad bucal; los huevos fueron extraídos en tinas de plástico de 30*25*19 cm (l*a*h), estas fueron previamente llenadas con el agua del tanque donde se encontraban los reproductores, luego se procedió a cubrir la tina con una manta negra, el cual sirve de protección para evitar que la radiación cause algún efecto secundario, posteriormente, se trasladó hacia el laboratorio donde se encontraban las incubadoras con el debido cuidado a fin de evitar daños en la membrana de las ovas.

7.3.1. Transporte de huevos fertilizados

Las tinas de plástico se colocaron en la mesa de trabajo al lado de la sala de incubación, con un beaker lleno de agua, se realizó la climatización de los huevos fertilizados a la nueva temperatura, el número de huevos fue estimado por el método gravimétrico (CG), con una balanza analítica (Exact Scale, sensibilidad 0.0001g), un beaker con agua, previamente tarado; se logró encontrar la relación entre el peso de 4,89 g de huevos que son equivalentes a 815 huevos y el total de estos por cada repetición.

$$\frac{4.890 \text{ mg} \times 1 \text{ huevo}}{6 \text{ mg}} = 815 \text{ huevos por hembra}$$



Figura 5. Huevos fertilizados

La obtención de huevos para la incubación artificial, se requirió de varios pasos que hay que tener en cuenta para tener unos buenos resultados, como se logra observar en la Figura 3, donde se evidencia el paso a paso llevado a cabo para realizar la incubación artificial de los huevos embrionados de tilapia roja.



Figura 6. Procedimiento del proyecto a la obtención de semilla del híbrido de tilapia roja.

7.4. Prototipos de incubadoras

Fueron elaboradas y utilizadas tres prototipos experimentales, con tres replicas por prototipo, con un volumen de agua de 18L, es decir, se elaboraron nueve (9) incubadoras artesanales, los cuales fueron elaboradas con botellón, guadua con geomembrana, y vidrio.

7.5. Incubadora Comercial

Sobre las bases de las consideraciones anteriores, los prototipos de incubadoras comerciales poseen una capacidad de 20L, con recambio de agua constante, para mantener los parámetros adecuados de calidad de agua, llegando a poder incubar hasta 80.000 huevos con eficiencia. Lo que significa que 10.000 huevos requieren 1L. Luego de la eclosión, las larvas emergen a la superficie para caer en bandejas de poca profundidad hasta llegar a un tiempo de 20 días o antes dependiendo del desarrollo de las larvas (figura 6), seguidamente enviadas a las piletas de levante, (Prieto y Olivera, 2002).



Figura 7. Incubadora comercial para *Oreochromis sp.* con recirculación de agua.

Tomado de (Prieto y Olivera, 2002), dimensión de bandejas 40*25*8

7.6. Prototipo - Botellones de Agua

Se elaboraron tres repeticiones de este prototipo, el cual tuvieron las mismas características de volumen y altura, con una recirculación de agua compartida, tal y como se muestra en la figura 7.

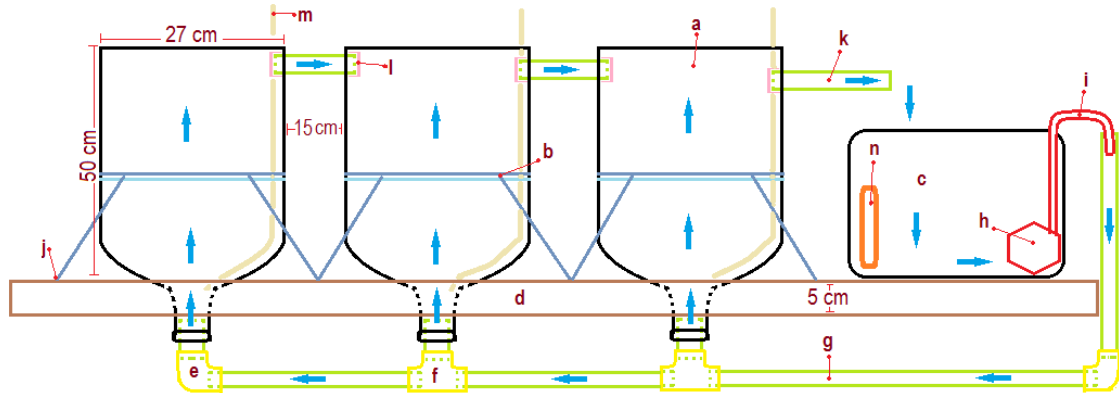


Figura 8. Plano del prototipo de botellón.

(a) Botellón; (b) Alambre dulce; (c) Reservorio de agua; (d) Tabla base; (e) Codo de 1/2 pulgada; (f) Te de 1/2 pulgada; (g) Tuvo de 1/2 pulgada; (h) Cabeza de poder; (i) Manguera de 1/2 pulgada; (j) Clavo de 1/2 pulgada; (k) Tuvo de 2 pulgadas; (l) Angeo; (m) Aeración; (n) Termostato.

7.6.1. Elaboración del Prototipo

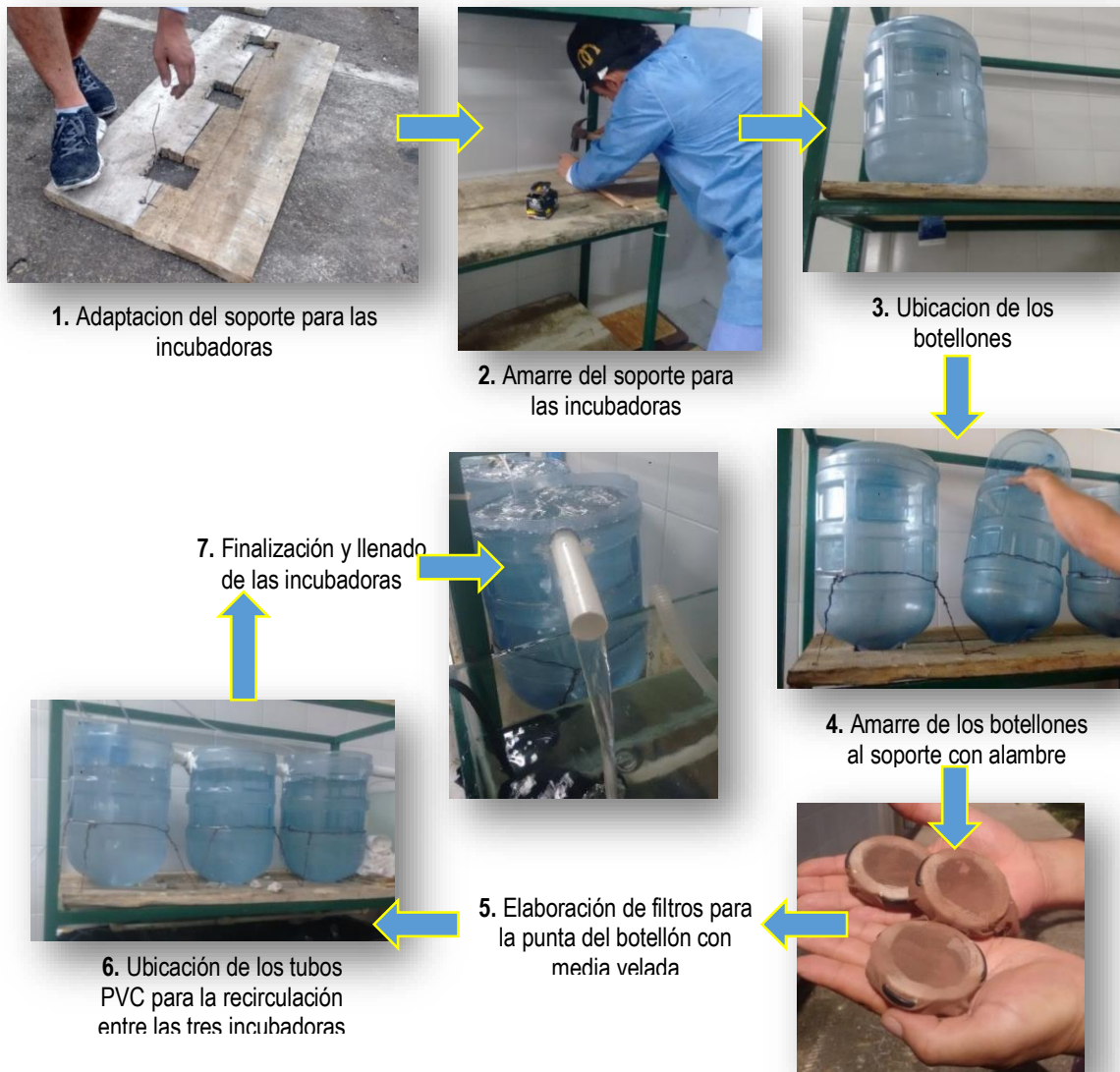


Figura 9. Elaboración del prototipo botellón.

7.6.2. Características

El botellon de agua reutilizable, es ideal para almacenar agua potable, gracias a su diseño y materiales, es un envase altamente aislante que permite almacenar el agua sin que pierda sus cualidades por efecto de la luz, la temperatura o contaminantes externos. Por sus propiedades de envase ayuda a proteger, sin riesgo ecologico, libre de BPA, fabricado con policarbonato

virgen de alta calidad, aprobado por la Food and Drug Administration (FDA) para el almacenamiento de agua. El policarbonato virgen es una resina noble, reciclable, atóxica, de excelente resistencia mecánica, transparente como el vidrio, (TecnocoeX, 2006).

7.6.3. Características Físicas del prototipo

- **Volumen neto:** 20L.
- **Volumen utilizado:** 18L.
- **Dimensiones:** 50 cm de alto * 27 cm diámetro.
- **Peso Bruto:** 18 Kg.
- **Material de la botella:** Policarbonato grado fda.
- **Material de la tapa:** Polipropileno.
- **Amarre:** Alambre dulce.

7.7. Prototipo - Guadua recubierta con Geomembrana

Se elaboraron tres repeticiones de este prototipo, el cual tuvieron las mismas características de volumen y altura, con una recirculación de agua compartida, tal y como se muestra en la figura 9.

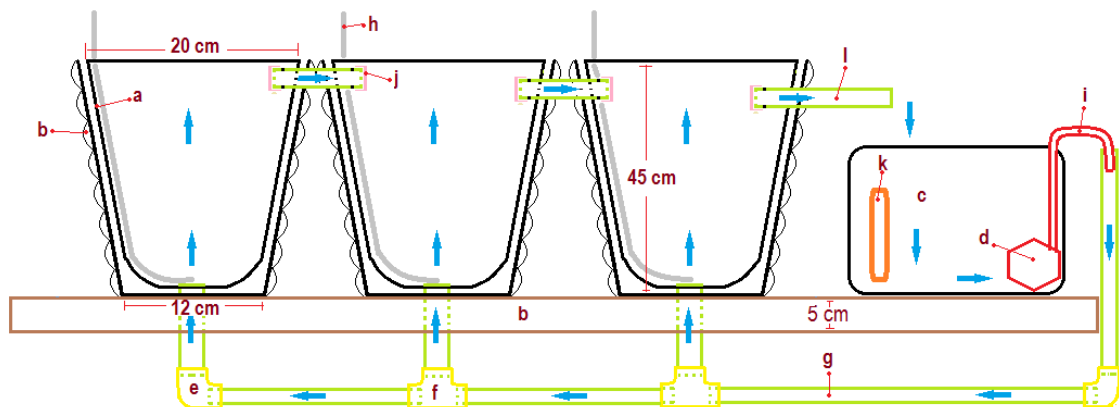


Figura 10. Plano del prototipo de Guadua con geomembrana.

(a) Geomembrana; (b) Guadua; (c) Reservorio de agua; (d) Cabeza de poder (e) Codo de 1/2 pulgada; (f) Te de 1/2 pulgada; (g) Tuvo de 1/2 pulgada; (h) Aeración; (i) Manguera de 1/2 pulgada; (j) Anejo; (k) Termostato; (l) Tuvo de 2 pulgadas.

7.7.1. Elaboración del prototipo



Figura 11. Elaboración del prototipo Guadua con geomembrana.

7.7.2. Características

La Guadua, se puede encontrar en estado natural en Colombia, Alcanza los 11 metros de altura y 22 cm de diametro. La guadua es un bambu leñoso que pertenece a la familia de las

gramineas, taxonomicamente a las *Poaceae* de la cual existen realmente en el mundo cerca de 1.000 especies y 500 de ellas en America, de estas aproximadamente 20 conforman las especies prioritarias de bambu. Colombia tiene una especie que posee las mejores propiedades fisico-mecanicas del mundo y extraordinaria durabilidad la cual es la *Guadua angustifolia*, (Salas, 2006).

Esta especie esta dotada y rodeada de condiciones que la hacen ideal para distintos campos de aprovechamiento, en este caso es el molde para las incubadoras artesanales, ya que se trata de un recurso sostenible y renovable porque se automultiplica vegetativamente, es decir, que no necesita de semilla para reproducirse, de un crecimiento de casi 11 metros en tan solo casi 6 meses, adicionalmente la *Guadua* es un recurso abundante frente a otros recursos explotados forestalmente.

Las geomembranas son láminas fabricadas con resina virgen de polietileno de alta densidad (HDPE), o de Policloruro de vinilo (PVC) de muy alta calidad, formuladas para determinados usos cuya principal característica es una baja permeabilidad, flexibilidad, una alta resistencia, y su principal aplicación es la impermeabilización y/o contención de líquidos y sólidos evitando que no se filtren al subsuelo. Sus principales características es químicamente inerte con el agua, tiene un tiempo de degradación muy largo, resistente a hidrocarburos alifáticos, más de 20 años de tiempo de degradación con un grosor de 0,75 mm hasta 1,5 mm, (Portaluppi, 2005).

7.7.3. Características Físicas del prototipo

- **Volumen neto:** 20L.
- **Volumen utilizado:** 18L.
- **Dimensiones:**
 - Ancho: 12 cm inferior * 20 cm superior.
 - Alto: 45 cm.
- **Peso Bruto:** 19,5 Kg
- **Peso de incubadora:** 1,5 Kg

- **Material del exterior de la incubadora:** trozos de guadua pegada a tubos de PVC con tornillos Drywall.
- **Material del recubierta interno:** geomembrana.

7.8. Prototipo – Vidrio

Se elaboraron tres repeticiones de este prototipo, el cual tuvieron las mismas características de volumen y altura, con una recirculación de agua compartida, tal y como se muestra en la figura 11.

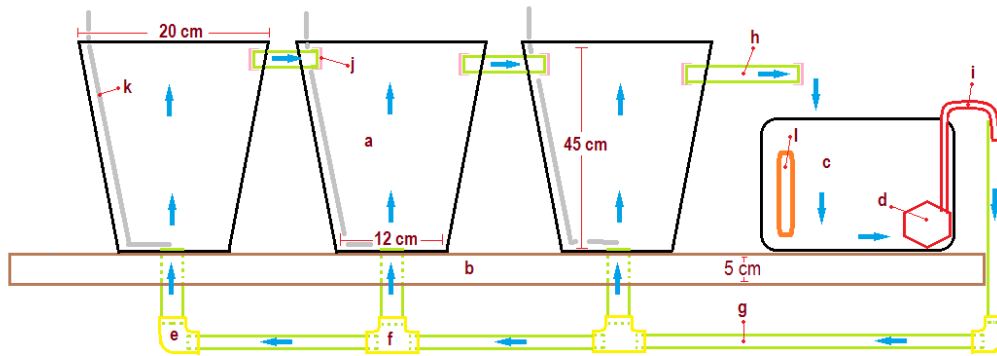


Figura 12. Plano del prototipo de Vidrio

(a) Estructura de vidrio; (b) Tabla base; (c) Reservorio de agua; (d) Cabeza de poder (e) Codo de 1/2 pulgada; (f) Te de 1/2 pulgada; (g) Tuvo de 1/2 pulgada; (h) Tuvo de 2 pulgadas (i) Manguera de 1/2 pulgada; (j) Angeo; (k) Aeración; (l) Termostato.

7.8.1. Elaboración del prototipo



Figura 13. Elaboración del prototipo vidrio.

7.8.2. Características

Este material, es el mas utilizado en acuicultura, siendo optimo para construir acuarios, sus propiedades mas destacables son la transparencia, la impermeabilidad que es la mas importante, resistencia, rigidez pero a su vez fragil, de gran dureza y dificil de rayar siendo

muy estético permitiendo un acabado profesional, de alta durabilidad y gran resistencia a productos químicos, (Roman, 2011).

7.8.3. Características Físicas del prototipo

- **Volumen neto:** 20L.
- **Volumen utilizado:** 18L.
- **Dimensiones:** Ancho: 12 cm inferior * 20 cm superior.
Alto: 45 cm.
- **Espesor:** 4 mm.
- **Peso Bruto:** 19 Kg.
- **Peso de la incubadora:** 1 Kg.
- **Material:** Vidrio.

7.9. Evaluación de la fase de incubación

Se evaluaron diariamente, por 6 días, el cual es el tiempo óptimo de incubación de los huevos embrionados, estos fueron repartidos en los prototipos de incubadoras artesanales, descartando y registrando los huevos no fecundados (a los cuales se le diferencio por el color) de acuerdo con la visualización en el estereoscopio. Los huevos de color café oscuro y blanco, fueron los que se desecharon, y a la vez los que flotaban. Los huevos no fecundados fueron extraídos con una manguera delgada, a través del sistema de sifoneo.

Se recolectaron ± 7.335 huevos fertilizados total, determinados por el método gravimétrico como ya se había mencionado anteriormente y estos fueron divididos a cada réplica de los tres prototipos de incubadoras artesanales, es decir que por cada incubadora se utilizaron ± 815 huevos fertilizados aproximadamente. Estos huevos fueron extraídos manualmente por la cavidad bucal de las hembras de un peso promedio de 300 g. Posteriormente de la recolección de los huevos estos fueron limpiados y llevados al laboratorio para la incubación.

Cada prototipo, tuvo tres réplicas, la temperatura fue mantenida constante mediante termostatos suministrados por la universidad, desde que llegó el huevo fertilizado hasta la

eclosión, fue revisada dos veces al día, cada prototipo tenía independientemente un sistema de recirculación, con las repeticiones mediante una bomba para mantener el oxígeno y temperatura y así lograr valores más exactos, ya que este es un parámetro que no puede fallar, siendo indispensable para el buen desarrollo de la incubación de los huevos.

Durante el periodo de incubación, se tomaron los datos de la temperatura diariamente, el oxígeno disuelto tres veces en el periodo de incubación, e igualmente se tomaron los registros de el pH semanalmente. Posteriormente, se registraron los huevos no fecundados en el periodo de incubación, para así sacar la productividad de cada incubadora.

Ante la situación planteada de la investigación, se determinó por cada repetición, el porcentaje de huevos embrionados, huevos eclosionados y mortalidad de huevos (Figura 14), por cada prototipo. Se evaluó por campos visuales en el estereoscopio, repitiendo tres veces el conteo de cada incubadora (repeticiones) de los prototipos, dando resultados porcentuales por cada conteo, al final se realizó un promedio porcentual de cada parámetro nombrado anteriormente.

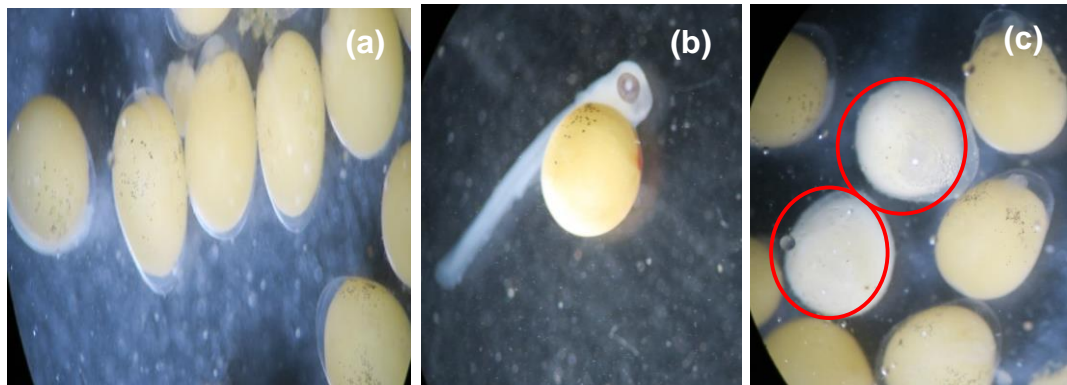


Figura 14. Huevos de *Oreochromis sp*

(a) Huevos embrionados; (b) Huevos eclosionados; (c) Huevos no embrionados

7.10. Evaluación de la calidad de agua

En el transcurso de la investigación se midieron los parámetros fisicoquímicos del agua, con el fin de brindar unas calidades optimas del entorno sin afectar el bienestar de los animales del experimento, utilizando el equipo de HACH FF-1 A (243002), con medición de los parámetros por medio de reactivos (fugura15) y discos de color para la evaluación de los siguientes parámetros:

- **Oxígeno disuelto:** se registró cada tercer día en el transcurso de la investigación, por medio de una titulación haciendo uso de papeletas de oxígeno disuelto tipo 1,2,3 hasta tomar una coloración que cambie a amarillo marrón o claro y con una solución de tiosulfato de sodio, continúe su variación de azul o incoloro, el número de gotas de la solución titulador se multiplica por 0,2 para obtener el resultado en mg/L
- **Temperatura:** fue tomada todos los días, por medio de un termómetro Glass Aquarium, el cual se sumergía en las incubadoras hasta llegar a la mitad de ellas.
- **Amonio:** fue evaluada una sola vez en el experimento, haciendo uso de tubos medidores con una muestra del agua, al cual se le adiciona una gota de Fenolftaleína si la solución es incolora, se debe añadir la solución de ácido sulfúrico hasta tomar una coloración rosa, luego se añade el bromocresol verde-rojo y se mezcla, por último, se adiciona la solución de ácido sulfúrico en forma de gotas. Mezclar y contar las gotas hasta que el color cambia de verde a rosa. Se debe añadir el número de gotas de cada paso para obtener el resultado total de alcalinidad CaCO_3
- **pH:** fue tomada cada tercer día, se determinó por medio de una solución indicador pH y un test colorimétrico el cual se observa contraluz.



Figura 15. Kit de Hach - Universidad de Cundinamarca

8. DISEÑO EXPERIMENTAL

Esta investigación se evaluó por medio de un diseño completamente al azar (DCA) simple, los tres prototipos y tres repeticiones por cada una, fueron evaluados como variable el % huevos embrionados, % de huevos eclosionados, % de supervivencia de larvas. Y un DCA con submuestras, igualmente los tres prototipos se evaluaron como variables la temperatura, oxígeno disuelto, y pH. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y se contrastó mediante la prueba de diferencias de media Tukey al 5% de significancia.

8.1. Descripción de unidades experimentales

- **Tratamiento 1:** Prototipo hecho con botellón de agua, utilizando 18L de agua declorada y 815 huevos de *Oreochromis sp* con tres repeticiones.
- **Tratamiento 2:** Prototipo hecho con guadua recubierta con geomembrana, utilizando 18L de agua declorada y 815 huevos de *Oreochromis sp* con tres repeticiones por cada prototipo.
- **Tratamiento 3:** Prototipo hecho con vidrio, utilizando 18L de agua declorada y 815 huevos de *Oreochromis sp* con tres repeticiones.

9. ANALISIS DE DATOS

9.1. Tasa de huevos embrionados

Porcentaje de fertilidad de huevos, determinado por conteo de campos visuales en el estereoscopio, (Ruiz, 2011).

Donde:

Hem: Huevos embrionados.

$$Hem = \frac{\text{Huevos embrionados}}{\text{No. total de huevos}} \times 100$$

9.2. Tasa de huevos no embrionados

La tasa de huevos no embrionados de *Oreochromis sp*, determinada por conteo total de huevos embrionados y no embrionados, por conteo de campos visuales en el microscopio, (Ruiz, 2011).

Donde:

Hnem: Huevos no embrionados.

$$Hnem = \frac{\text{Huevos no embrionados}}{\text{total de huevos}} \times 100$$

9.3. Tasa de huevos eclosionados

Porcentaje de huevos eclosionados, determinado por conteo de campos visuales en el estereoscopio, (Ruiz, 2011).

Donde:

Hec: Huevos eclosionados.

$$Hec = \frac{\text{Huevos eclosionados}}{\text{total de huevos}} \times 100$$

9.4. Tasa de huevos no eclosionados

La tasa de huevos no eclosionados de *Oreochromis sp*, determinada por conteo total de huevos eclosionados y no eclosionados, por conteo de campos visuales en el estereoscopio, (Ruiz, 2011).

Donde:

Hnec: Huevos no eclosionados.

$$Hnec = \frac{\text{Huevos no eclosionados}}{\text{total de larvas}} \times 100$$

9.5. Tasa de supervivencia de larvas

Porcentaje de larvas, determinado por conteo individual de larvas, teniendo en cuenta las ovas al inicio del estudio, (Ruiz, 2011).

Donde:

SLr: Larvas Vivas.

$$SLr = \frac{\text{Larvas Vivas}}{\text{Ovas iniciales}} \times 100$$

10. RESULTADOS

10.1. CALIDAD DE AGUA

Tabla 3. Parámetros de calidad de agua de los reproductores.

Oxígeno Disuelto	Temperatura	Alcalinidad	pH
7 ppm	28 °C	80 ppm CaCo3	7

Fuente: (Mantilla *et al.*, 2016)

Los parámetros, promediaron dentro de los rangos óptimos para la calidad de agua, donde la temperatura se mantuvo en 28 °C, la cual es adecuada para el proceso de reproducción afirma, (Mantilla *et al.*, 2016). El oxígeno disuelto fue de 7 ppm, el cual es superior a 4 ppm, el cual es un valor adecuado para un buen ritmo metabólico y consumo de alimento constante el cual lo determina, (Alicorp, 2010), el pH se obtuvo un valor de 7,1 , el cual es ideal para la cría de peces, ya que es un valor neutro, aunque esta especie puede sobrevivir en un rango de 5 a 9, pero no permite el desempeño ideal y fuera de estos límites es toxico causando la muerte del animal. La alcalinidad estuvo dentro del rango ideal de 20 a 300 ppm.

10.1.1. Temperatura del agua

El registro de la temperatura del agua se realizó dos veces al día durante el periodo de incubación, se observa en la tabla 4, el promedio de este parámetro se registró en las horas de la mañana y en la tarde, tomando la temperatura por prototipo el cual se observa que el prototipo de botellón arrojó un promedio de 28,52 °C, el de la guadua con geomembrana de 30,0 °C, y el de vidrio un promedio de 27,5 °C, los cuales están en el rango óptimo de 24 a 32 °C.

Tabla 4. Registro de temperatura en los prototipos

RP	Día	Prototipos					
		Botellón		Guadua con Geomembrana		Vidrio	
		08:00	16:00	08:00	16:00	08:00	16:00
1	1	29	29	30	30	27	28
	2	28	29	30	31	27	28
	3	28	29	29	29	27	28
	4	28	28	30	31	27	28
	5	29	29	29	30	28	28
	6	29	29	30	29	27	27
2	1	28	28	28	29	27	27
	2	28	28	30	30	28	28
	3	29	28	29	30	28	28
	4	29	29	30	30	27	28
	5	29	29	30	31	27	27
	6	28	29	30	30	27	28
3	1	28	29	30	31	27	28
	2	28	29	29	30	28	27
	3	29	29	29	30	28	28
	4	29	28	30	31	27	28
	5	28	28	30	31	27	28
	6	28	28	30	31	27	27
Promedio		28,44	28,61	29,5	30,2	27,27	27,72
		28,52		30,0		27,5	

RP: Repeticiones; 08:00 y 16:00 Horas.

Fuente: Elaboración propia

Comparativamente, con los tres prototipos de incubadoras, se realizó una prueba de diferencia de medias. Como resultado, son significativamente diferentes la temperatura entre horas de muestreo como se refleja en la (Figura 16), con un $p > 0,05$ frente a las horas 08:00 y 16:00.

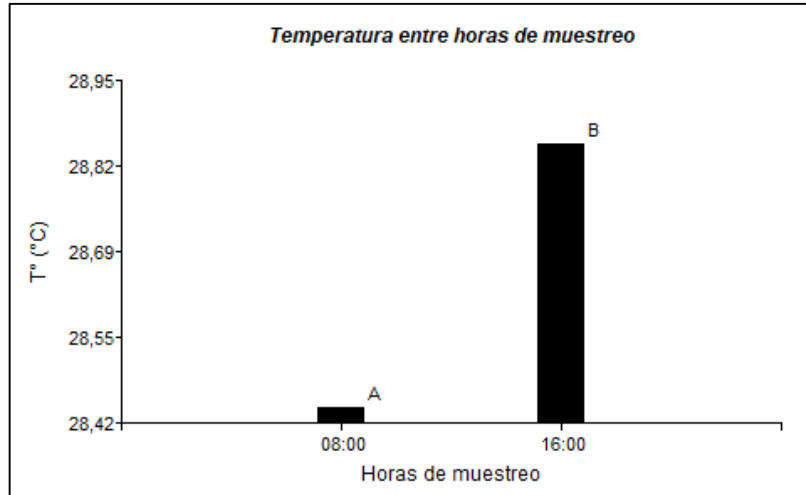


Figura 16. Temperatura entre horas de muestreo

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, los tres prototipos de incubadoras, se realizó una prueba de diferencia de medias. Como resultado, son significativamente diferentes la temperatura entre prototipos como se refleja en la (Figura 17), con un $p > 0,05$.

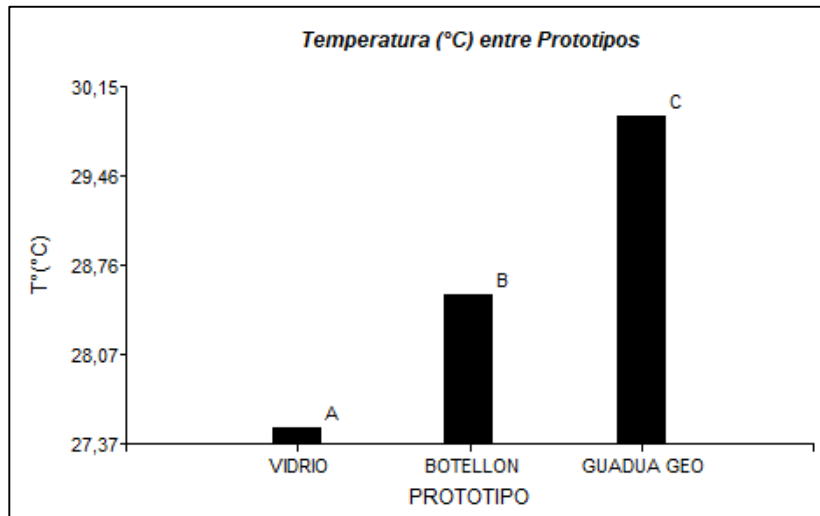


Figura 17. Temperatura (°C) entre prototipos

Fuente: Elaboración propia

10.1.2. Oxígeno disuelto (OD) del agua en los prototipos

El registro de este parámetro se realizó tres veces durante el periodo de incubación (Tabla 5), determinando el promedio de cada uno de los prototipos, el cual el botellón obtuvo 7,73 mg/L de OD, el prototipo de guadua con geo membrana alcanzó 7,0 mg/L de OD, y del vidrio arrojó 7,16 mg/L de OD, el cual los tres prototipos arrojaron unos niveles de OD ya que se encuentra en el rango establecido de 4 a 10 mg/L, (Alicorp, 2010).

Tabla 5. Registro de Oxígeno disuelto del agua en los prototipos

RP	Día	Botellón	Guadua con Geomembrana	Vidrio
1	1	7,5	7	6,9
	3	7	7	7
	6	7,5	6,5	7,3
2	1	7,8	7	7
	3	8	7,2	7
	6	7,9	6,9	7,3
3	1	8	7,5	7,3
	3	8	7,5	7,2
	6	7,9	7	7,5
Promedio		7,73	7,0	7,16

RP: repeticiones; La capacidad de los prototipos y cada una de las repeticiones se manejaron con un volumen de 18 litros de agua

Fuente: Elaboración propia

Comparativamente, con los tres prototipos de incubadoras, se realizó una prueba de diferencia de medias. Como resultado, son significativamente diferentes el oxígeno disuelto entre los prototipos de Guadua con geomembrana y el botellón como se refleja en la (Figura 18), con un $p > 0,05$.

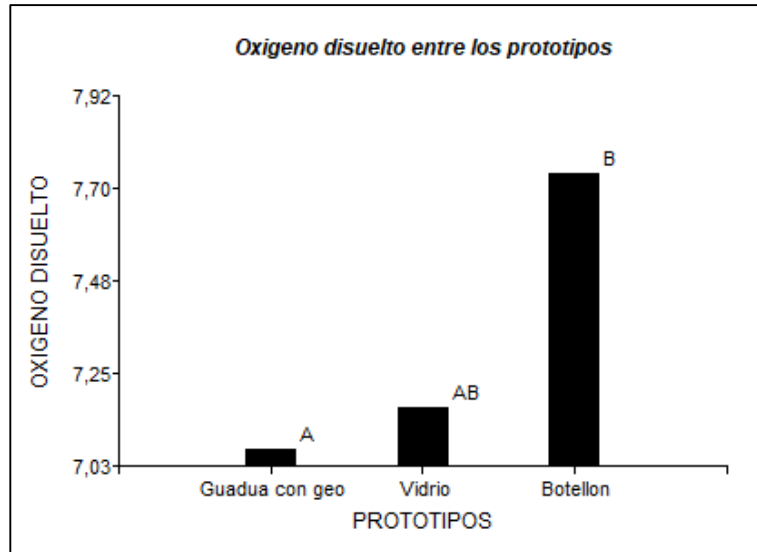


Figura 18. Oxígeno disuelto entre los prototipos

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, los tres prototipos de incubadoras, se realizó una prueba de diferencia de medias. Como resultado, no son significativamente diferentes respecto al oxígeno disuelto entre días de muestreo como se refleja en la (Figura 19), con un $p > 0,05$.

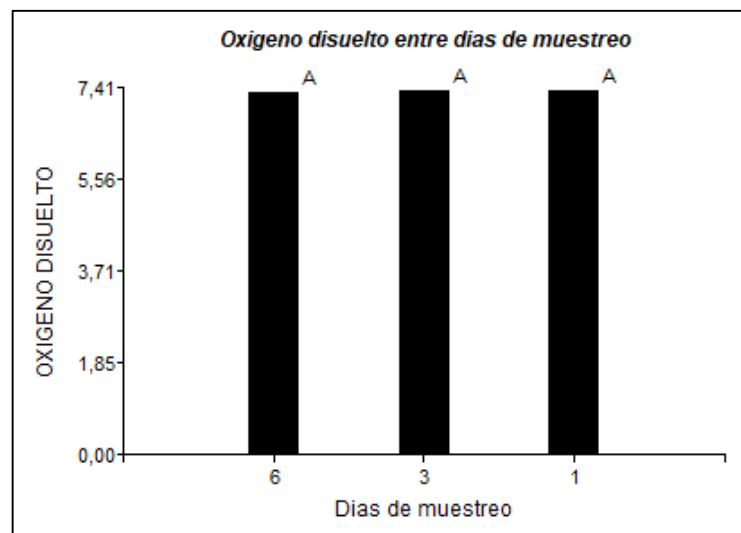


Figura 19. Oxígeno disuelto entre días de muestreo

Fuente: Elaboración propia

10.1.3. pH

El registro de pH se realizó tres veces durante el periodo de incubación, obteniendo valores promedios durante la investigación de 7,22 en el botellón, 7,17 en la guadua con geomembrana, y 7,33 en la de vidrio.

Tabla 6. Registro de pH de cada prototipo

RP	Día	Prototipos		
		Botellón	Guadua con geomembrana	Vidrio
		pH	pH	pH
1	1	7,0	7,0	7,5
	3	7,5	7,0	7,5
	6	7,0	7,5	7,0
2	1	7,0	7,0	7,0
	3	7,0	7,5	7,5
	6	7,5	7,5	7,5
3	1	7,0	7,0	7,5
	3	7,5	7,0	7,5
	6	7,5	7,0	7,0
Promedio		7,22	7,17	7,33

La capacidad de los prototipos y cada una de las repeticiones se manejaron con un volumen de 18 litros de agua; **RP:** Repeticiones.

Fuente: Elaboración propia

Comparativamente, con los tres prototipos de incubadoras, se realizó una prueba de diferencia de medias. Como resultado, no son significativamente diferentes el pH entre los tres prototipos como se refleja en la (Figura 20), con un $p > 0,05$.

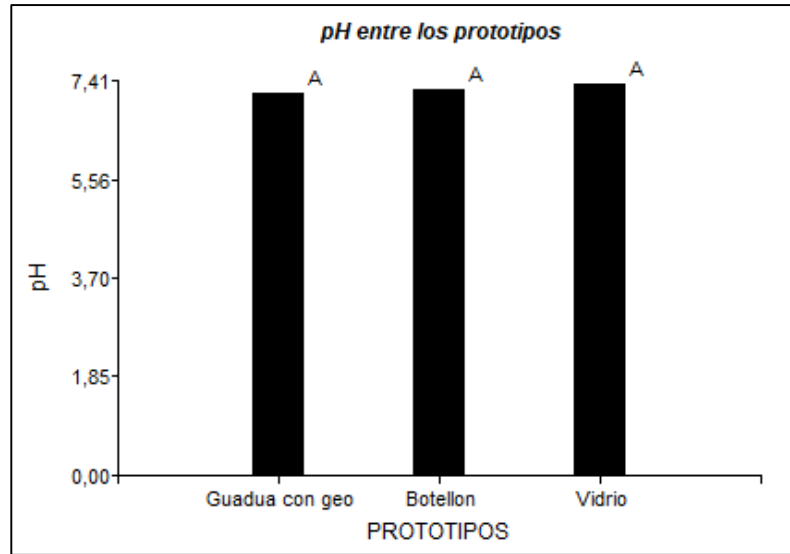


Figura 20. pH entre los prototipos

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, los tres prototipos de incubadoras, se realizó una prueba de diferencia de medias. Como resultado, no son significativamente diferentes respecto al pH entre días de muestreo como se refleja en la (Figura 21), con un $p > 0,05$.

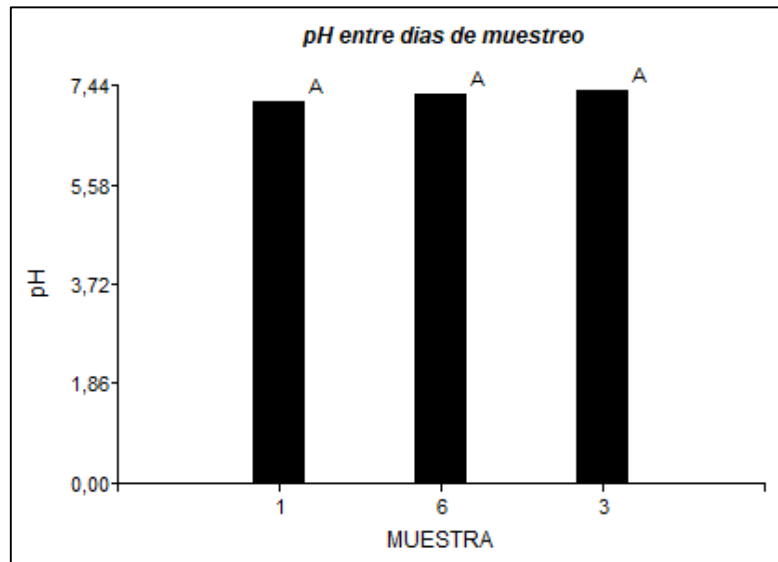


Figura 21. pH entre días de muestreo

Fuente: Elaboración propia

10.1.4. Amonio

Los valores de amonio fueron tomados solo una vez en el experimento, al inicio y al final se tomaron los resultados los cuales estuvieron en unos valores de 0,8 ppm en promedio para los prototipos evaluados, lo que indica que es un valor optimo, ya los niveles de tolerancia para la tilapia se encuentran en un rango de 0,6 ppm a 2,0 ppm, (Alicorp, 2010).

10.2. PARAMETROS PRODUCTIVOS DE LOS PROTOTIPOS

A lo largo de los planteamientos hechos, se obtuvieron resultados en el proceso de incubación, donde se determinó los parámetros productivos de cada prototipo con sus repeticiones, como resultado se obtuvo; % de ovas embrionados, no embrionados, eclosionadas, no eclosionadas, y supervivencia (Tabla 7, 8 y 9).

Tabla 7. Parámetro productivo del prototipo de botellón (P1)

Rep.	Carga de huevos	% Hem	% Hec	% Hnem	% Hnec	Lr Vivas	% SLr
1	± 815	91,18	76,47	8,82	23,53	514	63,01
2	± 815	87,27	77,55	12,73	22,45	557	68,31
3	± 815	90,00	80,39	10,00	19,61	599	73,48
Total	2.445	\bar{x} 89,48	\bar{x} 78,14	\bar{x} 10,52	\bar{x} 21,86	1.669	\bar{x} 68,27

Rep: Repeticiones; **Hem:** Huevos embrionados; **Hec:** Huevos eclosionados; **Hnem:** Huevos no embrionados; **Hnec:** Huevos no eclosionados; **Lr:** Larvas; **SLr:** Supervivencia de larvas.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Parámetro productivo del prototipo de Guadua con Geomembrana (P2)

Rep.	Carga de huevos	% Hem	% Hec	% Hnem	% Hnec	Lr Vivas	% SLr
1	± 815	90,16	89,58	9,84	10,42	645	79,13
2	± 815	94,20	87,76	5,80	12,24	651	79,85
3	± 815	92,42	90,00	7,58	10,00	642	78,70
Total	2.445	□ 92,26	□ 89,11	□ 7,74	□ 10,89	1938	□ 79,22

Rep.: Repeticiones; **Hem:** Huevos embrionados; **Hec:** Huevos eclosionados; **Hnem:** Huevos no embrionados; **Hnec:** Huevos no eclosionados; **Lr:** Larvas; **SLr:** Supervivencia de larvas.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Parámetro productivo del prototipo de Vidrio (P3)

Rep	Carga de huevos	% Hem	% Hec	% Hnem	% Hnec	Lr Vivas	% SLr
1	± 815	81,82	47,50	18,18	52,50	365	44,79
2	± 815	81,97	51,16	18,03	48,84	383	47,00
3	± 815	77,36	37,84	22,64	62,16	382	46,86
Total	2.445	̄ 80,38	̄ 45,50	̄ 19,62	̄ 54,50	1.130	̄ 46,22

Rep: Repeticiones; **Hem:** Huevos embrionados; **Hec:** Huevos eclosionados; **Hnem:** Huevos no embrionados; **Hnec:** Huevos no eclosionados; **Lr:** Larvas; **SLr:** Supervivencia de larvas.

Fuente: Elaboración propia

Después de las consideraciones anteriores frente a los tres prototipos de incubadoras, se refleja en la Figura 22, el porcentaje de huevos embrionados de cada repetición, así mismo se realizó una prueba de significación (Tukey). Como resultado, no son significativamente diferentes el prototipo de botellón con el prototipo de geomembrana, con un ($p > 0,05$), Dando diferencia al prototipo de vidrio frente a las otras dos, (Figura 23).

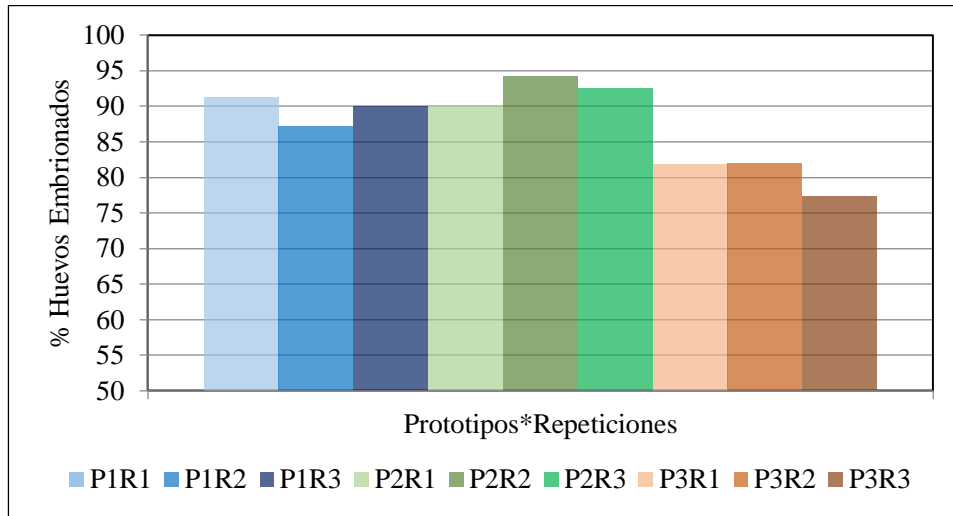


Figura 22. %Huevos embrionados de los tres prototipos

Fuente: Elaboración propia

Comparativamente, con los tres prototipos de incubadoras, se realizó una prueba de diferencia de medias. Como resultado, son significativamente diferentes el promedio de huevos embrionados del prototipo de vidrio a los prototipos de botellón y guadua con geomembrana como se refleja en la (Figura 23), con un $p > 0,05$.

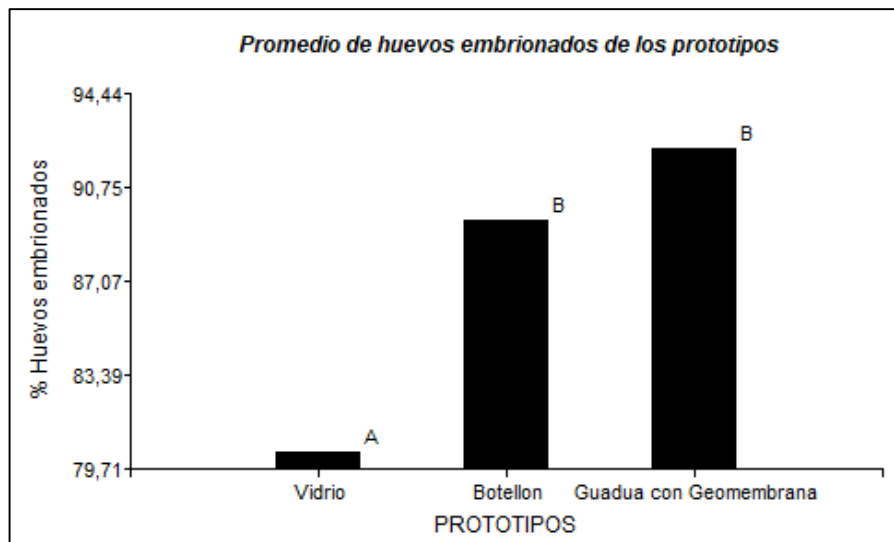


Figura 23. Promedio de huevos embrionados de los prototipos

Fuente: Elaboración propia

Comparativamente, con los tres prototipos de incubadoras, se refleja en la (Figura 24), el porcentaje de cada repetición de huevos eclosionados, igualmente, se realizó una prueba de significación.

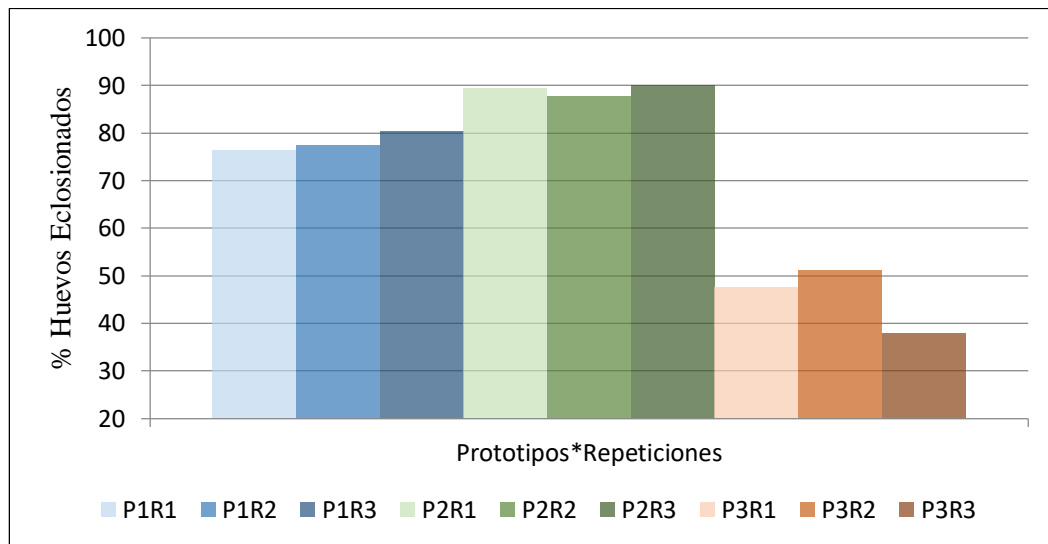


Figura 24. % Huevos eclosionados de los tres prototipos

Fuente: Elaboración propia

Comparativamente, con los tres prototipos de incubadoras, se realizó una prueba de diferencia de medias. Como resultado, son significativamente diferentes el promedio de huevos eclosionados del prototipo de vidrio a los prototipos de botellón y guadua con geomembrana como se refleja en la (Figura 25), con un $p > 0,05$.

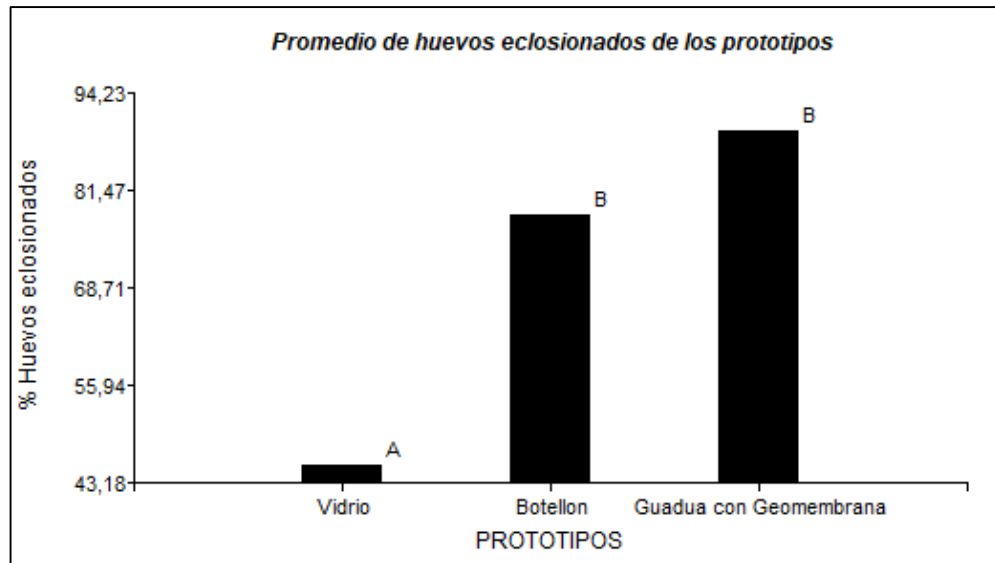


Figura 25. Promedio de huevos eclosionados de los prototipos

Fuente: Elaboración propia

De la misma manera, se realizó una comparación con los tres prototipos de incubadoras, como se refleja en la (Figura 26), el porcentaje de supervivencia de larvas de cada repetición, igualmente, se realizó una prueba de significación.

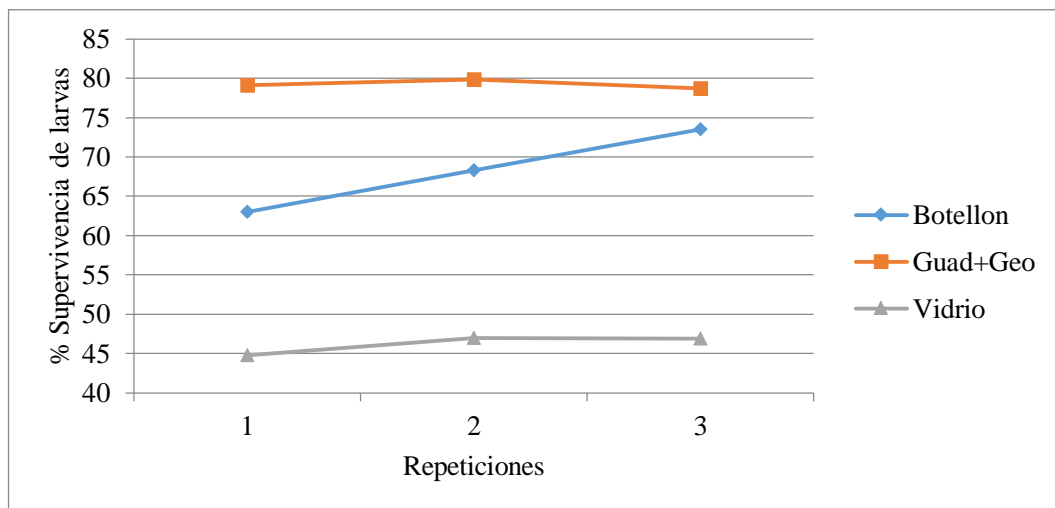


Figura 26. % supervivencia de larvas de los tres prototipos

Fuente: Elaboración propia

Como se puede constatar el prototipo de guadua y geomembrana obtuvo el mayor promedio de porcentaje de supervivencia de larvas (Figura 26), durante el periodo de incubación de huevo de *Oreochromis sp* con un total de 79,22%. se realizó una prueba de diferencia de medias. Como resultado, son significativamente diferentes el promedio de supervivencia de larvas de los tres prototipos como se refleja en la (Figura 27), con un $p > 0,05$.

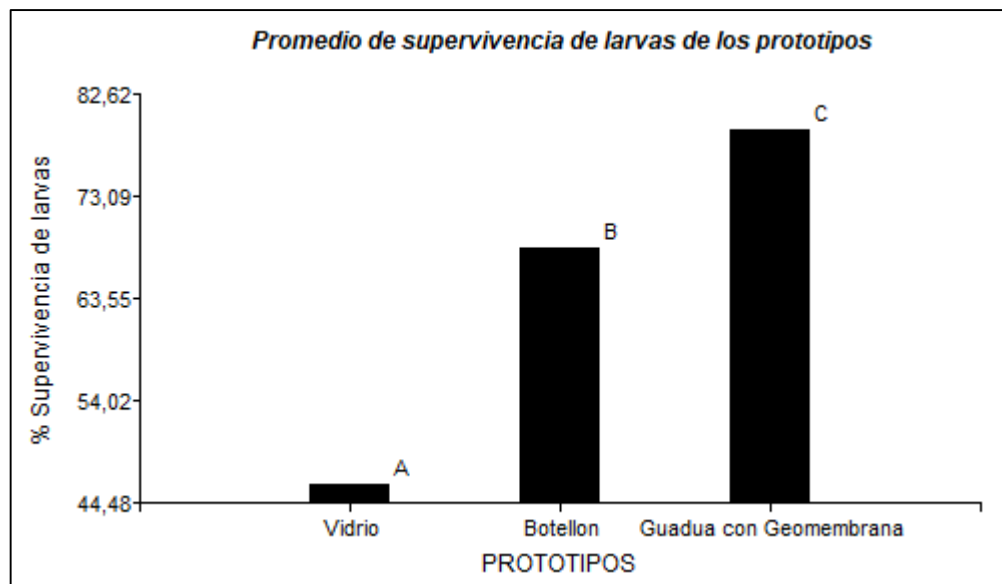


Figura 27. Promedio de supervivencia de larvas de los tres prototipos

Fuente: Elaboración propia

10.3. PRESUPUESTO

Durante el proceso del estudio realizado, se estimó el costo en la elaboración de los prototipos de incubadoras artesanales empleadas para la investigación realizada en el laboratorio de acuicultura de la Universidad de Cundinamarca, tomando cada material que se empleó para la elaboración de estas, en el cual se muestra en la tabla 10.

Tabla 10. Costo total de los prototipos elaborados y sus repeticiones.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
Tabla base (m)	4	\$ 12.000	\$ 48.000
Botellones (20L)	3	\$ 8.000	\$ 24.000
Vidrio (20cm Largo * 12cm Ancho)	12	\$ 5.900	\$ 70.800
Lamina de polipropileno (12cm*12cm)	3	\$ 1.000	\$ 3.000
Geomembrana (2m ancho)	4	\$ 11.500	\$ 46.000
Guadua (m)	3	\$ 3.000	\$ 9.000
Tubo de PVC (2m)1/2 pulgada	3	\$ 2.500	\$ 7.500
Tubo de PVC (2m) 3 pulgadas	2.5	\$ 3.000	\$ 7.500
Tornillos Drywall	130	\$ 50	\$ 6.500
Puntillas (1 1/2)	12	\$ 90	\$ 1.080
Alambre liso (m)	5	\$ 2.400	\$ 12.000
Manguera de acuario (m) 4 mm	22	\$ 350	\$ 7.700
Manguera de acuario (m) 3 pulgadas	10	\$ 700	\$ 7.000
Codos PVC	6	\$ 500	\$ 3.000
T PVC	6	\$ 500	\$ 3.000
Pegante PVC (50 ml)	1	\$ 7.000	\$ 7.000
Limpiador PVC (50 ml)	1	\$ 2.800	\$ 2.800
Silicona pegadit (280 ml)	1	\$ 28.000	\$ 28.000
Sicaflex (300 ml)	1	\$ 14.000	\$ 14.000
Total			\$ 307.880

Se estimó cada material utilizado en la elaboración de los prototipos con su precio unitario y valor total.

Fuente: Elaboración propia

10.3.1. Costo por cada prototipo

Al tener el costo total de los materiales utilizados durante la elaboración de las incubadoras artesanales, se realizó el estimativo de costo por prototipo con los materiales utilizados en las incubadoras, tal y como se muestra en las tablas 11, 12 y 13.



Tabla 11. Costo total del prototipo de botellón.

Botellón		
Descripción	Cantidad	Valor
Tabla base (m)	1.33	\$ 16.000
Botellones (L)	3	\$ 24.000
Tubo de PVC (m) pequeño	2.00	\$ 2.500
Tubo de PVC (m) grande	1.67	\$ 2.500
Puntillas (1 1/2)	12.00	\$ 1.080
Alambre liso (m)	5.00	\$ 12.000
Manguera de acuario (m) pequeño	7.33	\$ 2.567
Codos PVC	2.00	\$ 1.000
Tee de PVC	6.00	\$ 1.000
Pegante PVC (ml)	1.25	\$ 175
Limpiador PVC (ml)	1.25	\$ 70
Silicona pegadit (ml)	93.33	\$ 9.333
Sicaflex (ml)	150.00	\$ 7.000
TOTAL		\$ 79.225

Materiales utilizados en la elaboración del prototipo.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la tabla 11, se describen los materiales que se utilizaron en este tratamiento para las tres repeticiones, donde el costo total para la elaboración fue de \$79.225, se utilizó materiales de PVC para la circulación del agua, una tabla base de soporte para las repeticiones y materiales para el amarre para los botellones de agua y utilización de pegante para tubos.



Tabla 12. Costo total del Prototipo de guadua con Geomembrana.

Guadua con Geomembrana		
Descripción	Cantidad	Valor
Tabla base (m)	1.33	\$ 16.000
Geomembrana (m ancho)	4.00	\$ 46.000
Guadua (m)	3.00	\$ 9.000
Tubo de PVC (m) pequeño	2.00	\$ 2.500
Tubo de PVC (m) grande	1.67	\$ 2.500
Tornillos Drywall	130.00	\$ 6.500
Manguera de acuario (m) pequeño	7.33	\$ 2.567
Codos PVC	2.00	\$ 1.000
Tee de PVC	6.00	\$ 1.000
Pegante PVC (ml)	1.25	\$ 175
Limpiador PVC (ml)	1.25	\$ 70
Silicona pegadit (ml)	93.33	\$ 9.333
TOTAL		\$ 96.645

Materiales utilizados en la elaboración del prototipo.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 12, se describen los materiales que se utilizaron en este prototipo para las tres repeticiones, donde el costo total para la elaboración fue de \$96.645 donde se utilizó, materiales como tubo PVC y pegamento para la tubería encargada de la circulación del agua, una tabla base de soporte para las repeticiones y materiales para el amarre de la estructura de guadua el cual está recubierta con Geomembrana.



Tabla 13. Costo total del prototipo de vidrio.

Vidrio		
Descripción	Cantidad	Valor
Tabla base (m)	1.33	\$ 16.000
Vidrio (20cm largo * 12cm ancho)	12.00	\$ 70.800
Lamina de polipropileno (12cm*12cm)	3.00	\$ 3.000
Tubo de PVC (m) pequeño	2.00	\$ 2.500
Tubo de PVC (m) grande	1.67	\$ 2.500
Manguera de acuario (m) pequeño	7.33	\$ 2.567
Codos PVC	2.00	\$ 1.000
Tee de PVC	2.00	\$ 1.000
Pegante PVC (ml)	1.25	\$ 175
Limpiador PVC (ml)	1.25	\$ 70
Silicona pegadit (ml)	93.33	\$ 9.333
Sicaflex (ml)	150.00	\$ 7.000
TOTAL		\$ 115.945

Materiales utilizados en la elaboración del prototipo.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 13, se describen los materiales utilizados en este tratamiento para las tres repeticiones, donde el costo total para la elaboración fue de \$115.945 donde se utilizó materiales como tubo PVC y pegamento para la tubería encargada de la circulación del agua, una tabla base de soporte para las repeticiones y materiales para el amarre de la estructura de Vidrio y silicona para pegar los vidrios.

10.3.2. Costo por cada incubadora

Al tener el costo final por prototipo, se realizó el costo de producción de las incubadoras artesanales, como se describe en la (Tabla 11, 12 y 13) obteniendo el valor en pesos de cada prototipo, y el valor final para la elaboración de cada incubadora, en el cual observamos que

el costo más bajo fue del prototipo del botellón, con un valor de \$79.225, es decir que para la elaboración de solo una incubadora del prototipo de botellón se necesita un valor de \$26.408. Respecto al prototipo de vidrio fue la de mayor costo, donde elaborando una incubadora de vidrio frente a la del botellón genera una diferencia de \$12.240.

Tabla 14. Costo por cada incubadora elaborada.

PROTOTIPOS	COSTO DE LOS PROTOTIPOS	COSTO / INCUBADORA
Botellón	\$ 79.225	\$ 26.408
Guadua con Geomembrana	\$ 96.645	\$ 32.215
Vidrio	\$ 115.945	\$ 38.648

Costo total por prototipo y por incubadora.

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 14 se describe el costo unitario de cada prototipo y el costo para la elaboración de cada repetición (incubadora).

11. DISCUSIÓN

11.1. Selección de pie de cría

Se utilizaron 15 reproductores (10 hembras y 5 machos) en una proporción 2:1, (Ruiz, 2011), hace constar que ésta proporción, da como resultado una mayor producción de semilla. Se obtuvo que el total de ovas extraídas fue de 7.340 el experimento, fue desarrollado y evaluado en el mes de junio de 2018, estuvo con carácter diferencial en tamaño y en peso en general en estado adulto en su madurez sexual de 4 a 8 meses, los huevos y larvas fueron extraídos de la cavidad bucal para su posterior incubación alcanzando una supervivencia promedio del 79,22% evidenciando mayor viabilidad la incubadora de guadua, dando menor viabilidad la de botellón y la de vidrio, donde se considera un buen programa de producción de semilla con este porcentaje según Fukushima *et al.*, 2016, donde el resultado de supervivencia del 80,8% es considerado un buen programa en la incubación de huevo de semilla de tilapia en incubadoras comerciales.

Según se ha citado los pesos de los reproductores utilizados en el estudio estuvieron comprendidos entre 70 y 306 gramos según (Suresh y La Cruz, 1995);(Pineda *et al.*, 2013), recomiendan que con fines de producción de semilla de tilapia, se deben seleccionar reproductores con un peso comprendido entre 200 y 300 g, que se debe tener en cuenta, en particular, cuando el objetivo sea de producción con fines de abastecimiento de semilla. En nuestro caso utilizamos un lote de reproductores de un peso menor al indicado.

En relación a este último, según Prieto y Olivera, 2002 indican que los mayores problemas, en la producción comercial de semilla de tilapia son la baja producción de huevos en cada desove, alta frecuencia de desoves, temprana madurez sexual, obtención de larvas y alevinos de diferentes tallas, baja fecundidad, aumento de costos, tiempo invertido y desgaste energético durante el cuidado parental.

11.2. Parámetros físico – químicos del agua de incubación

11.2.1. Temperatura (°C)

Se evaluó la temperatura entre los 3 prototipos y repeticiones por medio de la prueba Tukey y se presentaron diferencias estadísticas donde el prototipo de Guadua con geomembrana evidencio un promedio alto de temperatura de 30°C, de igual forma los prototipos de Botellón y vidrio mantuvieron temperaturas dentro del rango recomendado por Prieto y Olivera, 2002, los cuales mencionan que si mantienen las temperaturas de incubación natural entre 24-32°C constantes se pueden lograr supervivencias cercanas al 80%.por otra parte (Rossell, 2016) afirma que si en el proceso de incubación de huevos embrionados detecta niveles de temperatura menores a 18°C los huevos tienden a presentar hongos y así llegar a perder todos los huevos de la producción.

Respecto a la tasa de huevos eclosionados observados en este trabajo la mayor tasa durante la incubación con acumulaciones de 29° a 31°C / 2-3 días se dieron en el prototipo de Guadua con geomembrana difieren en lo reportado por (Rossell, 2016) quien menciona que la tilapia tiene mayores eclosiones durante la incubación con acumulaciones de 35° a 45°C / 3-4 días, afirmando que a mayor Temperatura de incubación se acelera la embriogénesis reduciendo los periodos de incubación. Cabe mencionar que, en el presente trabajo, las incubaciones de huevos para cada prototipo se realizaron en distintos materiales, por lo que no se puede acertar exactamente que la reducción de temperatura del prototipo de vidrio haya sido la causa de disminución de supervivencia de huevos eclosionados con un promedio de 46,22%.

Los resultados obtenidos en la investigación dejan ver que no necesariamente las temperaturas de incubación deben ser altas para acortar el periodo de incubación si no que deben mantenerse constantes, durante esta etapa independientemente en cada prototipo para obtener los resultados deseados.

11.2.2. Potencial de hidrogeno (pH)

El pH se registró del agua de las incubadoras durante el periodo de tiempo de incubaciones mantuvo siempre en neutro evidenciando valores promedios de 7,22; 7,17; 7,33 (tabla 6) el pH de los tres prototipos se mantuvo dentro del rango optimo es de 7,0 a 8,0, presentando valores adecuados para un buen desarrollo de los huevos embrionados durante su incubación evitando así el estrés ácido, fallas respiratorias y mortalidades, que es uno de los principales efectos del pH bajo. Se evaluó los prototipos por medio de prueba Tukey en el cual no se encontró alguna diferencia significativa por lo que se deduce que los prototipos se realizaron bajo las mismas condiciones lo que significa que este factor no tuvo influencia marcada sobre la incubación de huevos embrionados de tilapia roja.

11.2.3. Oxígeno Disuelto (O₂)

La concentración de oxígeno disuelto en el agua de incubación registrado en los prototipos estuvo en el rango óptimo de 4 a 10 ml/L evidenciando así diferencias estadísticas entre el prototipo del botellón y guadua con geomembrana, siendo así, el prototipo de vidrio punto medio de los tres. Por otro lado, los días de muestreo no tuvo diferencia estadística obteniendo el mismo promedio global de 7,4 ml/L estando entre los valores óptimos, como lo menciona (Alicorp, 2010) que manifiesta que la especie *Oreochromis sp.* el oxígeno debe ser superior a 5 ml/L.

Adicionalmente, otros investigadores (Ruiz, 2011) ;(Alvarado, 2015) manifiestan que los huevos de tilapia incubados en sistemas convencionales como es el tipo Mac Donald de diferentes volúmenes, el oxígeno disuelto se mantiene en niveles no inferiores a los 5 ml/L, en donde una fecundación considerada normal puede tener pérdidas cercanas al 5-8% o menos durante la incubación.

11.2.4. Amonio (NH₃)

manifiesta (Alicorp, 2010) que el rango óptimo de amoniaco se encuentra entre 0,6 y 2,0 ppm durante cortos periodos de exposición considerando así que los primeros casos de mortalidad

ocurren en una prolongada exposición de concentración de amoníaco mayores a 0,2 ppm, lo que no ocurrió en la investigación donde el promedio de los prototipos se mantuvo en un valor de 0,8 ppm, según los autores mencionados, se encuentra dentro del rango.

11.3. Tasa de eclosión

En relación con las pruebas realizadas en la investigación se puede encontrar diferencia estadística entre el prototipo de vidrio a los prototipos de botellón y guadua con geomembrana, es así que en cada incubación realizada por los prototipos se obtuvieron porcentajes entre 90% para la guadua con geomembrana, 78% el botellón y 45% de vidrio, estos resultados difieren con los obtenidos por (Rossell, 2016) que muestra que las hembras de tilapia incubando sus huevos de forma natural (bucal) obtiene tasa de eclosión entre el 80 al 90% que representa entre 200 a 300 larvas por hembra/ciclo en una incubación normal, por otro lado (Alicorp, 2010) menciona que la incubación artificial de huevos de otras especies no solo en tilapia han mostrado tener buenos resultados de eclosión, es así que haciendo uso de las incubadoras artificiales se obtienen valores máximos de eclosión del 82%.

Adicionalmente (de la Parra *et al.*, 2013) también resalta que en el proceso de incubación artificial existe una tasa de eclosión del 70% debido a que la incubación de manera natural de la boca de la hembra genera pérdidas ocasionadas por daños físicos causados en el corion de los huevos y/o contaminación bacteriana obteniendo así cantidades menores de alevines, concluyendo así que haciendo uso de incubadoras convencionales para incubar artificialmente huevos embrionados de tilapia roja se puede llegar a obtener tasas de eclosión del 90% como mínimo 90,5% y máximo 90,8%.

Cabe resaltar que los resultados de esta investigación concuerdan con las demás investigaciones citadas dejan en claro que la práctica de incubación artificial utilizando cualquier tipo de incubación artificial para huevos de peces ya sean de tilapia roja u otras especies tienden a aumentar la tasa de eclosión considerablemente en comparación con la incubación natural. Por lo tanto, podría asumirse que su eficiencia está asociada a la baja

manipulación, calidad de agua, aireación y homogeneidad de los huevos al momento de incubar que solo lo puede ofrecer la incubación artificial.

11.4. Supervivencia de larvas

De acuerdo a los resultados obtenidos se observa el porcentaje de supervivencia de larvas fue menor en el prototipo de vidrio con un 46%, muy al contrario de los resultados obtenidos en el prototipo de guadua con geomembrana con un promedio del 79%, por otro lado, el prototipo de botellón arrojó un 68%, infiriendo así que entre los prototipos hubo una diferencia estadística significativa.

Estos resultados obtenidos en la investigación difieren con (Rossell, 2016) encontró que la incubación de huevos de tilapia roja en vasijas tipo Mac Donald la tasa de supervivencia está cercana a un 85 a 90%, (Prieto y Oliveria, 2002) realizaron comparaciones entre los tipos de incubación, haciendo usos de bandejas como incubadora artificial donde obtuvieron una supervivencia cercana al 90% y la incubación de manera natural (bucal) en donde el porcentaje de supervivencia fue del 73%.

Los presentes resultados dejan en evidencia que la incubación natural de huevos embrionados de *Oreochromis sp.* existe un gran porcentaje de mortalidad que la practicada artificialmente, lo que manifiesta que la aireación permite una homogenización y suspensión de las ovas en incubadora que cuando se incuban de manera natural. (Álvarez y Muñoz, 2000) mencionan que un sistema de incubación que no tienen un control de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos dentro del agua de incubación evidencian un rápido deterioro y cambio del color del agua, de transparente a un café verdosos intenso, evidenciando así un mortalidad casi total de los huevos, por otra parte, se sostiene que los huevos de tilapia pueden eclosionar en su mismo habitat, pero no es seguro que la totalidad de huevos se conviertan en larvas debido a las condiciones del agua que requieren, además que las mismas tilapias tanto hembras, como machos se comen los huevos.

11.5. Costos de elaboración de prototipos

Al implementar incubadoras artificiales echas de materiales adecuados (Anticorrosivos) que no contaminen el agua que sean de fácil manejo para la realización de su limpieza y elaboración como se reflejó en el trabajo al hacer uso de materiales reciclables con el fin de minimizar costos y contribuir al medio ambiente, donde beneficiara al mediano o pequeño productor por la accesibilidad y bajo precio de los prototipos, tal como se observó en el material de botellón, al realizar una incubadora se genera un costo de \$26.480, respecto al de guadua con geomembrana su valor fue de \$32.515 y por último el de vidrio un costo de \$38.648, siendo así económicamente viable la elaboración de los prototipos frente al costo de una incubadora convencional que oscila alrededor de \$150.000.

12. CONCLUSIONES

1. La selección de parentales, fue la adecuada, los resultados obtenidos, fueron acordes con la reproducción y incubación de los huevos eclosionados. Se eligieron ejemplares fenotípicamente robustos, de peso entre 400-500g, sin ningún tipo de malformaciones genéticas.
2. De la misma manera, al realizar el diseño de los prototipos de incubadora artesanales, se determina que, la disponibilidad de los recursos necesarios para la elaboración de las incubadoras, es ajustable al presupuesto de los medianos y pequeños productores.
3. Como resultado del estudio, el prototipo de incubadora artesanal de guadua con geomembrana, presentó una significancia mayor al prototipo de vidrio, al ser correlaciona con el porcentaje de eclosión de ovas y supervivencia de las larvas, generando así, una mayor viabilidad de incubación de huevos, con un resultado de supervivencia aproximándose al 80%, considerándose, un buen programa para la incubación de las ovas.
4. Con respecto a los costos de elaboración por incubadora, el prototipo de botellón y geomembrana son los más económicos, con una diferencia significativa frente al costo de producción del prototipo de vidrio y el costo de una incubadora comercial.

13. RECOMENDACIONES

1. Los prototipos de incubadoras artesanales, que se realizaron durante la investigación, sirven como base para otras investigaciones con diferentes especies, e incluso las nativas. En este mismo sentido, los materiales a bajo costo y accesibilidad de estos, pueden ser elaborados por los pequeños y medianos productores piscícolas, generando así más producción, reduciendo costos por la compra de la semilla y aumentando los ingresos económicos del productor.
2. Se recomienda, tener en cuenta la forma cónica de las incubadoras, evitando dejar espacios abiertos, donde se podrían acumular las ovas, como consecuencia, puede alterar la calidad del agua, evitando así la incubación deseada del 80%.
3. De la misma manera, al trabajar con distintas especies, se deben establecer los requerimientos, tal como es, temperatura, pH, oxígeno disuelto, amonio, recirculación, para la incubación de ovas ya que estos son diferentes a la de la investigación presentada.
4. El estudio realizado, evidencia que, los prototipos de incubadora a bajo costo son rentables, tanto económicamente como a nivel productivo, tal y como se evidenció en los resultados, son de fácil elaboración y manejo, garantizan un desarrollo óptimo de las ovas y un control a posibles contagios por hongos.

14. BIBLIOGRAFIA

- Alicorp. (2010). Manual de Crianza Tilapia. *Nicovita ... La Mejor Ración*, 49.
- Alvarado-ruiz, C. (2015). Comparación del crecimiento de machos y hembras de la tilapia *Oreochromis niloticus* cultivadas en jaulas Comparison of the growth of males and females of tilapia *Oreochromis niloticus* cultured in cages Instituto Nacional de Aprendizaje INA Núcleo Náutico, 29(1), 2–9.
- Alvarez, J. F. A.-L. A. a, & Jaime E. Muñoz. (2000). Selección masal por peso y talla de dos generaciones de tilapia roja *Oreochromis ssp.* *Acta Agronomica*, 50, 2:90.
- Antonio, D., Manuel, Y., Perdomo-carrillo, D. A., Perea-ganchou, F., Moratinos-lópez, P. A., Manuel, Y., & Zenaida, R. (2017). Recolección semanal de huevos embrionados de tilapias (*oreochromis spp.*) como estrategia productiva en tanques de concreto.
- Arboleda-Obregón, D. a. (2005). Reversion sexual de las Tilapias Roja (*Oreochromis sp.*), una guía básica para el acuicultor. *Revista Electrónica de Veterinaria*, VI, 1–5.
- Beltrán-Álvarez, R., Sánchez-Palacios, J., Valdez, L. G., & Ortega-Salas, A. (2010). Edad y crecimiento de la mojarra *Oreochromis aureus* (Pisces: Cichlidae) en la presa Sanaloa, Sinaloa, México. *Rev. Biol. Trop*, 58 (1)(March), 325–338.
- Bhujel, R. C. (2000). A review of strategies for the management of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) broodfish in seed production system, especially hapa- based system. *Aquaculture*, 181, 37–59.
- Bonilla, B., & Odil, C. (2007). Evaluación del desarrollo de la tilapia híbrida *Oreochromis mossambicus* (Peters) x *Oreochromis niloticus* (Linnaeus) cultivada a salinidades de 17500, 35000 y 52500 ppm en Punta Ratón, Honduras.
- C.E. Pulgarin, K. R., Salazar1, M., Manrique, C., Perez, F., & T. Gitterle. (2012). Parámetros genéticos para crecimiento comercial , sobrevivencia y manchado en Tilapia roja (*Oreochromis sp .*) en Colombia Genetic parameters of weight in commercial growth phase survival and black spot in red tilapia (*Oreochromis sp .*) in. *Rev. Med. Vet*, 119–130.
- Campos-Mendoza, A., McAndrew, B. J., Coward, K., & Bromage, N. (2004). Reproductive response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to photoperiodic manipulation; Effects

- on spawning periodicity, fecundity and egg size. *Aquaculture*, 231(1–4), 299–314.
- Carrillo, D. F. A., Aza, F. G. G., & Nossa, M. O. (2007). Estudio ictioparasitológico de las especies cachama (*Piaractus brachypomus*) y mojarra roja (*Oreochromis spp* .) en el Parque Ecológico “ El Portal ”, municipio de Rionegro , Santander
Ichtyoparasithological Study of the species *Piaractus brachypomus* an. *Revista Spei Domus*.
- Congreso de la República. (1990). Ley 13 de 1990. *Decreto L7-73, 1990*, 1–35.
- Culiacán de Rosales, S. (2009). Cultivo de tilapia (*Oreochromis spp*) a alta densidad en módulos flotantes, con énfasis en buenas prácticas de producción acuícola para la inocuidad alimentaria y para la generación de un producto de calidad suprema. *Conapesca*, (c), 1–4.
- De la Parra, M. I. A., Estela Rodríguez-Ibarra, L., García-Aguilar, N., Velasco-Blanco, G., & Ibarra-Castro, L. (2013). Biotecnología para la producción masiva de juveniles del botete diana *Sphoeroides annulatus*: Inducción hormonal y cultivo larvario. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 48(3), 409–420.
- Fukushima, M., Alva, R., Castillo, G., Calderón, C., Shimokawa, L., & Fukushima, J. (2016). Adaptation of new technologies for operation of a demonstrative module for tilapia culture in La Libertad. *Scientia Agropecuaria*, 7(3), 321–331.
- García, C., & Vélez, ; Juan Paulo. (2015). manejo artificial de la incubacion de la tilapia roja en la estacion piscicola de san pablo teorama (norte de santander). *Revista Colombiana De Zootecnia*, 1.
- Hernández-Barraza, C. A., Trejo-Martínez, A. B., Loredó-Osti, J., & Gutiérrez-Salazar, G. J. (2016). Evaluación de la eficiencia productiva de tres líneas de tilapia con reversión sexual en un sistema de recirculación (RAS). *Latin American Journal of Aquatic Research*, 44(4), 869–874.
- Hernández Mogica, M.1, Reta Mendiola, J.L.2, Gallardo López, F.3, Nava Tablada, M. E. ., & 1Colegio. (2002). Tipología de productores de mojarra tilapia, bases para la formacion de gruos de crecimiento productivo simultaneo en el estado de veracruz mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems tipología*, 1, 13–19.
- Gil, M., Soto, A., Usma, O., Gutierrez, O. (2012). Contaminantes emergentes en aguas,

- efectos y posibles tratamientos Emerging contaminants in waters: effects and possible treatments Contaminantes emergentes em águas, efeitos e possíveis tratamentos. *Producción + Limpia*, 7(2), 52–73.
- Lara Mantilla, C., Vellojín Furnieles, J. P., García Pérez, D. P., & Pertúz Buelvas, V. M. (2016). Desempeño del crecimiento y sobrevivencia de larvas de *Oreochromis ssp.* utilizando un probiótico en el alimento. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 18(1), 90–94.
- López, C. A., Zoot, D. L., Carvajal, Zoot, ;, Mónica, C., Botero, & Zoot. (2007). Masculinización de tilapia roja (*Oreochromis spp*) por inmersión utilizando 17 alfa-metiltestosterona. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20, 0120–0690.
- Marengoni, N. G., & Wild, M. B. (2014). Sistemas de Produção de Pós-Larvas de Tilápia do Nilo. *Scientia Agraria Paranaensis*, 13(4), 265–276.
- Ministerio de agricultura y desarrollo rural. (2011). decreto numero 4181 de 3 de Nov 2011, 13.
- Ministry of Agriculture. (1991). Decreto 2256 del 1991 that regulates the general statute of fisheries (law 13 of 1990) in the Republic of Colombia, 1991(40), 36.
- Novoa, D. M. T., & Nery, V. L. H. (2012). Requerimientos nutricionales para Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) nutritional requirements Exigências nutricionais para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista AquaTIC*, 63–68.
- Pérez, V. K. C., & Serrano, E. (2014). Aislamiento e identificación morfológica de m a g i g S a p r o l e g n s p. en paiche (A r a p a i a s i a) proveniente de criaderos artesanales en Iquitos, Perú. *AquaTIC*, 13, 8–18.
- Phelps, R. P., & Popma, T. J. (2000). Sex Reversal of Tilapia. *Tilapia Aquaculture in the Americas*, 26 (Swingle 1960), 34–59.
- Pineda S, H., Taborda A, M., & Hernández B, A. (2013). Selección por conformación de reproductores de tilapia roja *Oreochromis sp.*, mediante prueba de progenie. *Rev.MVZ Córdoba*, 18 (Supl), 3626–3632.
- Portaluppi, I. L. (2005). Información de geomembranas de PVC y HDPE.
- Prieto, C. a., & Olivera-Ángel, M. (2002). Incubación artificial de huevos embrionados de

- Tilapia Roja. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 15, 115–120.
- Pulgarin, C. E., Rodriguez, K., Salazar, M., Manrique, C., Perez, F., & Gitterle, T. (2012). Parametros geneticos para crecimiento comercial, sobrevivencia y manchado en tilapia roja (*Oreochromis sp.*) en colombia. *Revista de La Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia.*, 59(2), 119–130.
- Ramírez, E. J., Muñoz, M. F. C., Herrera, A. C., & Vergara, O. D. (2009). Inmersión de ovas de tilapia roja (*Oreochromis spp.*) en diferentes estadíos de fertilización Revista Colombiana de en una solución de 17• metiltestosterona y la proporción fenotípica del sexo. *Colomb Cienc Pecu*, 22, 642–647.
- Rossell, C. (2016). Evaluacion de la tasa de eclosion de ovas embrionadas de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en incubadora acondicionada en laboratorio. Universidad nacional del callao, *Revista de la facultad de ingenieria pesquera*
- Ruáles, C. A. D. (2014). Bienestar en peces y aspectos reglamentarios en colombia para la explotación de especies ícticas con fines experimentales y comerciales. *Revista Lasallista de Investigacion*, 11(1), 169–180.
- Ruiz Azañero, G. E. (2011). Fecundidad y tasa de supervivencia en larvas y alevines de *Oreochromis niloticus* “tilapia” (Linnaeus, 1758) en condiciones de laboratorio. *Acuiculture*, 1–110.
- Salas, E. (2006). La Guadua angustifolia “El Bambú Colombiano”. *Actualidad y Futuro de La Arquitectura de Bambú En Colombia*, 81.
- Tecnocoe X. (2006). Botellones para llenar agua hoja técnica informativa 1. *Tecnologia y Comercio*.
- Toledo-Pérez, J. S., & García-Capote, M. C. (2000). Nutrición y Alimentación de Tilapia Cultivada en América Latina y el Caribe. *Avances En Nutrición Acuícola IV*, (537), 83–137.
- Trasviña Moreno, A. G., Cervantes Trujano, M., Perez Sánchez, E., & Timmons, M. (2007). Sistema de recirculación Modular para uso familiar / multi-familiar. *Instituto Tecnológico de Boca Del Río*, 32.
- Victor Suresh, A., & La Cruz Traducido por Ignacio de Blas, P. (1995). Ultimos avances en el manejo de reproductores de tilapia la reproduccion de la tilapia, 1103.

Villarreal, R. D. V., Puccini, R. R., & Ruales, C. A. D. (2013). Relación entre factores dimensionales y de composición en la determinación de la calidad del huevo en tilapia roja (*Oreochromis spp*). *Revista Lasallista de Investigacion*, 10 (1), 27–37.

15. ANEXOS

Análisis de la varianza				
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
T°	108	0,82	0,78	1,89

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	116,44	18	6,47	21,99	<0,0001	
PROTOTIPO	105,91	2	52,95	131,17	<0,0001	(PROTOTIPO>MUESTRA)
PROTOTIPO>MUESTRA	6,06	15	0,40	1,37	0,1788	
SUBMUESTRA	4,48	1	4,48	15,23	0,0002	
Error	26,19	89	0,29			
Total	142,63	107				

Figura 28. Análisis de varianza de Temperatura entre los prototipos

Fuente: Elaboración propia

Análisis de la varianza				
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
OXIGENO DISUELTO	27	0,82	0,71	2,99

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	3,56	10	0,36	7,46	0,0002	
PROTOTIPOS	2,33	2	1,16	5,66	0,0416	(PROTOTIPOS>REPETICION)
PROTOTIPOS>REPETICION	1,23	6	0,21	4,30	0,0090	
MUESTRA	2,2E-03	2	1,1E-03	0,02	0,9770	
Error	0,76	16	0,05			
Total	4,33	26				

Figura 29. Análisis de varianza de oxígeno disuelto entre los prototipos

Fuente: Elaboración propia



Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	27	0,35	0,00	3,61

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	0,59	10	0,06	0,87	0,5785	
PROTOTIPOS	0,13	2	0,06	1,75	0,2519	(PROTOTIPOS>REPETICION)
PROTOTIPOS>REPETICION	0,22	6	0,04	0,54	0,7686	
MUESTRA	0,24	2	0,12	1,76	0,2033	
Error	1,09	16	0,07			
Total	1,69	26				

Figura 30. Análisis de varianza de pH entre los prototipos

Fuente: Elaboración propia

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% Hem	9	0,90	0,79	2,98

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	234,34	4	58,59	8,62	0,0302
PROTOTIPOS	231,58	2	115,79	17,03	0,0110
REPETICION	2,77	2	1,38	0,20	0,8239
Error	27,20	4	6,80		
Total	261,54	8			

Figura 31. Análisis de varianza de huevos embrionados

Fuente: Elaboración propia

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% Hec	9	0,97	0,94	6,84

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3099,40	4	774,85	32,93	0,0026
PROTOTIPOS	3087,76	2	1543,88	65,62	0,0009
REPETICION	11,64	2	5,82	0,25	0,7920
Error	94,11	4	23,53		
Total	3193,51	8			

Figura 32. Análisis de varianza de huevos eclosionados

Fuente: Elaboración propia



Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% SLr	9	0,98	0,96	4,45

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1721,48	4	430,37	52,07	0,0011
PROTOS	1695,98	2	847,99	102,61	0,0004
REPETICION	25,49	2	12,75	1,54	0,3188
Error	33,06	4	8,26		
Total	1754,54	8			

Figura 33. Análisis de varianza de supervivencia de larvas

Fuente: Elaboración propia