



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
GESTIÓN DE BIBLIOTECAS



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 16 de julio 2024

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

Los suscritos NATALIA RODRIGUEZ NARVAEZ, con C.C. No. 1004416097 y EDUARDO FELIPE TOVAR VARGAS, con C.C. No. 1075303906, autores de la tesis y/o trabajo de grado titulado **EVALUACIÓN DE MODELOS DE REGRESIÓN NO LINEAL PARA LA PREDICTIBILIDAD DEL PESO DE TILAPIA ROJA EN UN CICLO COMERCIAL, EN LA VEREDA LAS VUELTAS, DEL MUNICIPIO DE HOBO – HUILA EN EL AÑO 2024**, presentado y aprobado en el año 2024 como requisito para optar al título de **Especialista en Estadística**. Autorizamos al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

NATALIA RODRIGUEZ NARVAEZ

Firma:

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: EDUARDO FELIPE TOVAR VARGAS

Firma:

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional [www.usco.edu.co](http://www.usco.edu.co), link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
GESTIÓN DE BIBLIOTECAS**



**CARTA DE AUTORIZACIÓN**

**CÓDIGO**

**AP-BIB-FO-06**

**VERSIÓN**

**1**

**VIGENCIA**

**2014**

**PÁGINA**

**2 de 2**

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional [www.usco.edu.co](http://www.usco.edu.co), link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 3

**TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:** EVALUACIÓN DE MODELOS DE REGRESIÓN NO LINEAL PARA LA PREDICTIBILIDAD DEL PESO DE TILAPIA ROJA EN UN CICLO COMERCIAL, EN LA VEREDA LAS VUELTAS, DEL MUNICIPIO DE HOBO – HUILA EN EL AÑO 2024

**AUTOR O AUTORES:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
RODRIGUEZ NARVAEZ	NATALIA
TOVAR VARGAS	EDUARDO FELIPE

**DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

**ASESOR (ES):**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
BERNAL CASTRO	EDGAR ANDRES

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:** Especialista en Estadística

**FACULTAD:** Ciencias Exactas y Naturales

**PROGRAMA O POSGRADO:** Especialización en Estadística

**CIUDAD:** Nieva    **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2024    **NÚMERO DE PÁGINAS:** 71

**TIPO DE ILUSTRACIONES** (Marcar con una X):

Diagramas X Fotografías X Grabaciones en discos \_\_\_ Ilustraciones en general \_\_\_ Grabados \_\_\_  
Láminas \_\_\_ Litografías \_\_\_ Mapas \_\_\_ Música impresa \_\_\_ Planos \_\_\_ Retratos \_\_\_ Sin ilustraciones \_\_\_ Tablas  
o Cuadros X

**SOFTWARE** requerido y/o especializado para la lectura del documento:

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional [www.usco.edu.co](http://www.usco.edu.co), link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



**MATERIAL ANEXO:**

**PREMIO O DISTINCIÓN** (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*):

**PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:**

**Español**

**Inglés**



- |                                     |                              |
|-------------------------------------|------------------------------|
| 1. <u>Regresión no lineal</u>       | <u>Nonlinear regression</u>  |
| 2. <u>Modelo Logístico</u>          | <u>Logistic model</u>        |
| 3. <u>Modelo de Von Bertalanffy</u> | <u>Von Bertalanffy model</u> |
| 4. <u>Tilapia roja</u>              | <u>Red tilapia</u>           |
| 5. <u>Predictibilidad del peso</u>  | <u>Weight predictability</u> |

**RESUMEN DEL CONTENIDO:** (Máximo 250 palabras)

Este estudio investiga qué modelo de regresión no lineal: modelo Logístico o modelo de Von Bertalanffy, se ajusta mejor a la predictibilidad del peso de la tilapia roja durante un ciclo comercial en la finca San Pablo, ubicada en la vereda Las Vueltas del municipio de Hobo – Huila para facilitar así la toma de decisiones de los acuicultores locales. El objetivo principal es identificar el modelo de regresión no lineal más adecuado para predecir el peso de la tilapia roja en un entorno comercial. El enfoque de investigación implementado fue el cuantitativo con un diseño de investigación experimental correlacional para la recolección y análisis de datos.

La investigación se centró en las variables tiempo y peso, excluyendo otras como la talla, temperatura y pH. Así mismo, se monitorearon 20,000 alevinos desde el día 1 hasta el día 180, con mediciones quincenales de estos parámetros, gracias a la colaboración de un operario. Los datos recopilados fueron analizados utilizando RStudio para determinar el modelo que mejor describe el crecimiento de la tilapia roja. Los hallazgos indican que el modelo Logístico proporciona una descripción más precisa del crecimiento en comparación con el modelo de Von Bertalanffy, lo cual es crucial para optimizar las prácticas de manejo y comercialización de la tilapia roja. métodos cuantitativos

Las principales conclusiones del estudio sugieren que el modelo Logístico es más adecuado para predecir el crecimiento de la tilapia roja, proporcionando un marco útil para mejorar la eficiencia y rentabilidad de los cultivos de tilapia en la región. Este estudio no solo ofrece recomendaciones prácticas para los acuicultores, sino que también presenta implicaciones importantes para la sostenibilidad y el desarrollo económico local.

	<b>UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA</b> <b>GESTIÓN DE BIBLIOTECAS</b>						
	<b>DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO</b>						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-07</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>3 de 3</b>

**ABSTRACT:** (Máximo 250 palabras)

This study investigates which nonlinear regression model, Logistic or Von Bertalanffy, better fits the predictability of the weight of red tilapia during a commercial cycle at San Pablo farm, located in the Las Vueltas village of Hobo municipality, Huila, to facilitate decision-making for local aquaculturists. The main objective is to identify the most suitable nonlinear regression model to predict the weight of red tilapia in a commercial environment. The research approach implemented was quantitative with an experimental correlational design for data collection and analysis.

The research focused on the variables time and weight, excluding others such as size, temperature, and pH. Additionally, 20,000 fry were monitored from day 1 to day 180, with biweekly measurements of these parameters, thanks to the collaboration of an operator. The collected data were analyzed using RStudio to determine the model that best describes the growth of red tilapia. The findings indicate that the Logistic model provides a more accurate description of growth compared to the Von Bertalanffy model, which is crucial for optimizing the management and commercialization practices of red tilapia.

The study's main conclusions suggest that the Logistic model is more suitable for predicting the growth of red tilapia, providing a useful framework to improve the efficiency and profitability of tilapia farming in the region. This study not only offers practical recommendations for aquaculturists but also presents significant implications for local sustainability and economic development.

## APROBACION DE LA TESIS

Nombre Jurado: **LEONARDO FABIO MEDINA ORTIZ**

Firma:



Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional [www.usco.edu.co](http://www.usco.edu.co), link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

**Evaluación de Modelos de Regresión no lineal para la  
Predictibilidad del Peso de Tilapia Roja en un Ciclo  
Comercial, en la vereda Las Vueltas, del municipio de  
Hobo – Huila en el año 2024**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de:  
Especialista en Estadística

Presentado por:

Natalia Rodríguez Narváez

Eduardo Felipe Tovar Vargas

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales –

Especialización en Estadística

Universidad Surcolombiana -

21 de junio de 2023



UNIVERSIDAD  
**SURCOLOMBIANA**  
NIT: 891180084-2



**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES**

**CONSTRUYAMOS  
UNIVERSIDAD**  
PARA EL DESARROLLO Y EL BUEN VIVIR

## **ESPECIALIZACIÓN EN ESTADÍSTICA**

### **CARTA DE ACEPTACIÓN**

En calidad de Coordinador del Posgrado Especialización en Estadística, programa reconocido por el Ministerio de Educación Nacional mediante Resolución de Registro Calificado No. 3683 del 2 de marzo de 2018 y adscrito a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Surcolombiana, me permito informar que el trabajo de investigación titulado: **“EVALUACIÓN DE MODELOS DE REGRESIÓN NO LINEAL PARA LA PREDICTIBILIDAD DEL PESO DE TILAPIA ROJA EN UN CICLO COMERCIAL, EN LA VEREDA LAS VUELTAS, DEL MUNICIPIO DE HOBO – HUILA EN EL AÑO 2024”** presentado por los estudiantes Natalia Rodríguez Narváez y Eduardo Felipe Tovar Vargas; es **ACEPTADO** como trabajo de grado para optar el título de Especialista en Estadística.

Para constancia se firma en la Ciudad de Neiva, a los quince (15) días del mes de julio del año 2024.

**JAIME POLANÍA PERDOMO**  
Coordinador

## RESUMEN

Este estudio investiga qué modelo de regresión no lineal: modelo Logístico o modelo de Von Bertalanffy, se ajusta mejor a la predictibilidad del peso de la tilapia roja durante un ciclo comercial en la finca San Pablo, ubicada en la vereda Las Vueltas del municipio de Hobo – Huila para facilitar así la toma de decisiones de los acuicultores locales. El objetivo principal es identificar el modelo de regresión no lineal más adecuado para predecir el peso de la tilapia roja en un entorno comercial. El enfoque de investigación implementado fue el cuantitativo con un diseño de investigación experimental correlacional para la recolección y análisis de datos.

La investigación se centró en las variables tiempo y peso, excluyendo otras como la talla, temperatura y pH. Así mismo, se monitorearon 20,000 alevinos desde el día 1 hasta el día 180, con mediciones quincenales de estos parámetros, gracias a la colaboración de un operario. Los datos recopilados fueron analizados utilizando RStudio para determinar el modelo que mejor describe el crecimiento de la tilapia roja. Los hallazgos indican que el modelo Logístico proporciona una descripción más precisa del crecimiento en comparación con el modelo de Von Bertalanffy, lo cual es crucial para optimizar las prácticas de manejo y comercialización de la tilapia roja. métodos cuantitativos

Las principales conclusiones del estudio sugieren que el modelo Logístico es más adecuado para predecir el crecimiento de la tilapia roja, proporcionando un

marco útil para mejorar la eficiencia y rentabilidad de los cultivos de tilapia en la región. Este estudio no solo ofrece recomendaciones prácticas para los acuicultores, sino que también presenta implicaciones importantes para la sostenibilidad y el desarrollo económico local.

**Palabras clave:** Regresión no lineal, modelo Logístico, modelo de Von Bertalanffy, tilapia roja, predictibilidad del peso.

## ABSTRACT

This study investigates which nonlinear regression model, Logistic or Von Bertalanffy, better fits the predictability of the weight of red tilapia during a commercial cycle at San Pablo farm, located in the Las Vueltas village of Hobo municipality, Huila, to facilitate decision-making for local aquaculturists. The main objective is to identify the most suitable nonlinear regression model to predict the weight of red tilapia in a commercial environment. The research approach implemented was quantitative with an experimental correlational design for data collection and analysis.

The research focused on the variables time and weight, excluding others such as size, temperature, and pH. Additionally, 20,000 fry were monitored from day 1 to day 180, with biweekly measurements of these parameters, thanks to the collaboration

of an operator. The collected data were analyzed using RStudio to determine the model that best describes the growth of red tilapia. The findings indicate that the Logistic model provides a more accurate description of growth compared to the Von Bertalanffy model, which is crucial for optimizing the management and commercialization practices of red tilapia.

The study's main conclusions suggest that the Logistic model is more suitable for predicting the growth of red tilapia, providing a useful framework to improve the efficiency and profitability of tilapia farming in the region. This study not only offers practical recommendations for aquaculturists but also presents significant implications for local sustainability and economic development.

**Keywords:** Nonlinear regression, Logistic model, Von Bertalanffy model, red tilapia, weight predictability.

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS .....	9
ÍNDICE DE FIGURAS .....	10
INTRODUCCIÓN .....	11
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.1 Pregunta problema.....	16
2. MARCO TEÓRICO.....	17
2.1 Acuicultura a nivel mundial.....	18
2.2 Producción de la tilapia en Huila – Colombia .....	21
2.3 Ciclo de vida de la tilapia.....	24
2.4 Tipos de cultivo .....	24
2.4.1 Estanque en tierra.....	25
2.4.2 Tinas de concreto.....	26
2.4.3 Tinas plásticas redondas. ....	28
2.4.4 Jaulas flotantes. ....	29
2.5 Calidad del agua para la siembra óptima .....	31
2.6 Modelo de regresión no lineal para el crecimiento de la tilapia .....	32
2.6.1 Modelo logístico .....	33
2.6.2 Modelo Von Bertalanffy.....	34
3. OBJETIVOS .....	35
3.1 Objetivo general .....	35
3.2 Objetivos específicos .....	35
4. JUSTIFICACIÓN .....	36
5. HIPÓTESIS Y VARIABLES .....	39
5.1 Formulación de Hipótesis.....	39
5.2 Formulación de Variables.....	39
6. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS CENTRALES .....	40
6.1 Piscicultura.....	40
6.2 Tilapia Roja .....	40

6.3 Producción de Tilapia Roja .....	41
6.4 Peso.....	41
6.5 Talla.....	41
6.6 Temperatura .....	42
6.7 pH del agua.....	42
7. ALCANCES Y LIMITACIONES .....	44
7.1 Alcances.....	44
7.2 Limitaciones .....	44
8. DISEÑO METODOLÓGICO .....	45
8.1 Enfoque de investigación .....	45
8.2 Diseño estadístico .....	46
8.3 Población de estudio .....	46
8.4 Diseño muestral .....	46
8.5 Instrumentos y materiales .....	47
8.6 Proceso de recolección de datos .....	47
8.7 Sistematización de la información.....	48
8.8 Procesamiento de la información .....	48
9 RESULTADOS.....	49
9.1 Análisis exploratorio de datos.....	49
9.1.1 Análisis Descriptivo de la Muestra 1 .....	51
9.1.2 Análisis Descriptivo de la Muestra 12 .....	53
9.2 Modelo logístico .....	55
9.3 Modelo Von Bertalanffy .....	58
9.4 Análisis comparativo de los dos modelos.....	60
9.4.1 Correlación entre variables Peso – Talla.....	61
9.4.2 Correlación entre variables Peso – Temperatura .....	62
9.4.3 Correlación entre variables Peso – Ph.....	63
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	65
10.1 Conclusiones.....	65
10.2 Recomendaciones .....	66
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	68
ANEXOS .....	71



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Metas de la acuicultura .....	18
<b>Tabla 2</b> Producción mundial de las principales especies acuícolas. ....	21
<b>Tabla 3</b> Tilapias rojas introducidas a Colombia .....	22
<b>Tabla 4</b> Peso y talla de la tilapia.....	42
<b>Tabla 5</b> Resumen del Análisis Exploratorio del peso de las 13 muestras .....	49
<b>Tabla 6</b> Tabla de frecuencia de la muestra Peso 1.....	52
<b>Tabla 7</b> Tabla de frecuencia de la muestra Peso 12.....	54
<b>Tabla 8</b> Estimadores Coeficientes del Modelo Logístico. ....	56
<b>Tabla 9</b> Estimadores Coeficientes del Modelo Von Bertalanffy. ....	58
<b>Tabla 10</b> Coeficiente de correlación entre peso- talla. ....	61
<b>Tabla 11</b> Coeficiente de correlación entre peso- temperatura.....	62
<b>Tabla 12</b> Coeficiente de correlación entre peso - pH .....	63

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Producción acuícola mundial, 1991-2020.....	20
<b>Figura 2</b> Estanque en tierra. ....	25
<b>Figura 3</b> Tinas de concreto. ....	26
<b>Figura 4</b> Tinas plásticas redondas. ....	28
<b>Figura 5</b> Jaulas flotantes.....	29
<b>Figura 6</b> Resumen del Análisis exploratorio del peso de las 13 muestras. ....	50
<b>Figura 7</b> Estadísticas de Resumen muestra Peso 1. ....	53
<b>Figura 8</b> Estadísticas de Resumen muestra Peso 12. ....	55
<b>Figura 9</b> Ajuste del modelo logístico. ....	57
<b>Figura 10</b> Ajuste del modelo Von Bertalanffy. ....	59
<b>Figura 11</b> Ajuste de los dos modelos: Logístico & Von Bertalanffy. ....	60

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la acuicultura es una actividad fundamental que implica la cría de organismos acuáticos, tanto animales como vegetales, mediante el uso de técnicas y conocimientos especializados. Esta práctica incluye la producción de peces, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas, con la intervención humana en actividades como la siembra, alimentación y protección contra depredadores para aumentar la productividad. Desde la postura de Zapata y Vieyra (2017) la acuicultura puede llevarse a cabo en ambientes de agua salada o dulce, tanto en condiciones controladas como naturales. Sus objetivos son diversos e incluyen la producción de alimentos nutritivos, la generación de empleo en zonas rurales, la pesca deportiva, el cultivo de especies ornamentales, el control de plagas y enfermedades, así como la restauración de suelos agrícolas.

A nivel mundial, la acuicultura tiene raíces antiguas, con prácticas documentadas en China desde milenios antes de la era cristiana. Actualmente, este país es el mayor productor acuícola, seguido por India, Filipinas e Indonesia. Aunque el continente Asiático domina la producción mundial, regiones como América Latina y África están experimentando un crecimiento constante (Espinós, 2020). En 2020, la producción acuícola global alcanzó 122.6 millones de toneladas, reflejando un incremento significativo desde los 115.9 millones de toneladas en 2018.

Como afirma Merino et al (2013) en Colombia, específicamente en el departamento del Huila la producción de tilapia roja es notable. Este departamento produjo 78,527 toneladas de pescado en 2022, representando el 39% de la producción nacional y destacándose como el principal productor acuícola del país. La tilapia roja, originaria de una mutación en Taiwán, ha sido objeto de programas de hibridación y selección que han resultado en varias líneas introducidas en Colombia. Este tipo cultivos en el departamento del Huila se realiza principalmente en el embalse de Betania, utilizando métodos como estanques en tierra y jaulas flotantes, lo que ha permitido un crecimiento significativo en la producción y la generación de tilapia; así mismo ha permitido la generación de puestos de trabajo en la región (Bonilla, 2019).

En este contexto, se ha observado un creciente interés en la aplicación de la modelación matemática como una herramienta fundamental. Sin embargo, debido a la naturaleza compleja de algunos problemas, el enfoque estadístico ha surgido como una alternativa invaluable. Estas técnicas estadísticas no solo permiten la creación de modelos predictivos robustos, sino que también facilitan la exploración de las relaciones entre variables de interés.

En el presente estudio, se adoptan modelos de regresión no lineal para abordar la variabilidad inherente de los datos. Específicamente, se emplean el modelo logístico y el modelo de Von Bertalanffy, conocidos por su capacidad para capturar patrones no lineales y dinámicas de crecimiento en sistemas biológicos y poblacionales. Estos modelos no solo ofrecen una representación precisa de los

fenómenos observados, sino que también permiten la extrapolación y predicción de comportamientos futuros, fundamentales para la comprensión y gestión efectiva de recursos naturales y sistemas biológicos complejos (Aguilar, 2010).

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La acuicultura, o cultivo de organismos acuáticos como peces, mariscos y algas, desempeña un papel crucial en la economía global contemporánea. Según Phillips (1994) la acuicultura no solo contribuye significativamente a la seguridad alimentaria mundial, sino que también genera empleo y promueve el desarrollo económico en regiones costeras y rurales. Desde la postura de Food and Agriculture Organization of the United Nations (2018) la acuicultura proporciona una fuente sostenible de proteínas nutritivas, aliviando la presión sobre las poblaciones de peces salvajes y contribuyendo a la estabilidad económica de muchas naciones dependientes de recursos marinos.

Como se puede evidenciar, la acuicultura es crucial a nivel mundial por varias razones. Primero, es una forma eficiente y sostenible de producir proteínas de alta calidad, esencial para satisfacer la creciente demanda de alimentos debido al aumento de la población mundial (Skretting, s.f). La FAO estima que para los próximos años el crecimiento en la producción y demanda de pescado provendrá principalmente de actividades desde la acuicultura que significativamente al suministro global de alimentos, es amigable con el medio ambiente y ayuda a repoblar ciertas especies. En este sentido, en el 2018 la producción mundial de pesca de captura llegó a niveles muy altos, se estimó una cifra récord de 96.4 millones de toneladas, lo que sugiere un aumento del 5.4% en relación con el año anterior (FAO, 2020).

En Colombia, la acuicultura, incluyendo piscicultura con especies como la tilapia, la cachama, trucha y camarón de cultivo, ha crecido notablemente, con una producción de aproximadamente 125,037 toneladas en 2017. A partir de datos de diferentes estadísticos, se puede afirmar que entre los departamentos con mayor actividad piscícola se encuentra el departamento del Huila (44.46%), seguido por el departamento Meta (14.07%), Antioquia (5.97%), Tolima (4.87%) y en último lugar los departamentos Cundinamarca-Boyacá (5.3%). Entre 1985 y 2002, la acuicultura en Colombia creció un 7,603%, siendo vital para la seguridad alimentaria (FAO, 2023).

Con base en lo anteriormente expuesto, se puede evidenciar que el departamento del Huila tiene una alta incidencia en la producción acuícola nacional con un valor aproximado del 39%, donde se destaca la producción específica de tilapia, trucha, cachama y camarón, generando empleo y desarrollo económico regional (Gobernación del Huila, 2022). Es por esta razón que, para un pequeño productor, conocer con cifras exactas el estado del cultivo durante el proceso de producción es crucial para la toma de decisiones, con el propósito de mejorar la calidad de los productos. Desde un punto de vista estadístico, la implementación de un modelo de regresión no lineal adecuado para predecir el estado del cultivo de tilapia roja a pequeña escala sería el modelo de crecimiento logístico, ya que se ajusta bien a los patrones de crecimiento de los organismos acuáticos, proporcionando predicciones precisas del estado del cultivo en diferentes momentos.

El presente proyecto de investigación busca abordar la problemática de la optimización de la producción de tilapia roja en la vereda Las Vueltas del municipio de Hobo – Huila durante el año 2024. En este contexto, se identifica la necesidad de mejorar la eficiencia en la medición del peso de la tilapia para una toma de decisiones más precisa y oportuna en el proceso de producción.

Actualmente, los métodos tradicionales de medición del peso de la tilapia roja suelen ser manuales y lentos, lo que puede generar imprecisiones y retrasos en la información disponible para los productores (Londoño y Pineda, 2012). Esto, a su vez, puede afectar negativamente la eficiencia del ciclo comercial, dificultando la toma de decisiones oportunas para optimizar la alimentación, el manejo sanitario y la cosecha de la tilapia.

En este sentido, el presente proyecto propone la implementación de un modelo de regresión no lineal como una herramienta innovadora para mejorar la predictibilidad del peso de la tilapia roja en la vereda Las Vueltas. Este modelo se basará en variables fácilmente medibles para estimar el peso de la tilapia de manera rápida, precisa y eficiente.

### 1.1 **Pregunta problema**

¿Qué modelo de regresión no lineal se ajusta más a la predictibilidad del estado de un cultivo de tilapia roja a pequeña escala?

## 2. MARCO TEÓRICO

La acuicultura, definida por Parrado (2012), se refiere a la práctica de cultivar y cosechar organismos acuáticos, incluyendo peces, crustáceos, moluscos, algas y plantas acuáticas. Esta actividad se lleva a cabo en ambientes controlados, como estanques, jaulas o sistemas de recirculación acuática, con el objetivo de producir alimentos, materia prima para la industria o con fines ornamentales. Esta actividad requiere de la intervención del ser humano en el proceso de cría para aumentar la producción, en operaciones como la siembra, la alimentación y la protección frente a depredadores. La acuicultura puede desarrollarse tanto en agua salada como en agua dulce, en condiciones controladas y dispuestas de modo artificial, donde se requieren diferentes tipos de técnicas de intervención (FAO, 2015)

Según Pillay y Kutty (2005), la acuicultura ha sido practicada por miles de años, con registros que se remontan a la antigua China y Egipto. Sin embargo, su desarrollo a gran escala ha experimentado un auge significativo en las últimas décadas, impulsado por la creciente demanda de productos del mar y la necesidad de encontrar alternativas sostenibles a la pesca extractiva. La acuicultura ha sido desarrollada con el fin de abordar una amplia gama de propósitos.

En la tabla1, se representan algunas de las metas comunes a nivel mundial de la acuicultura y el impacto en los ámbitos sociales y económicos:

**Tabla 1 Metas de la acuicultura**

Producir alimentos de alto valor nutritivo y saludable para el consumo humano.
Optimizar los procesos de captura para la pesca deportiva
Apoyar el cultivo de especies ornamentales que tiene como propósito usos estéticos
Combatir de forma natural contra malezas acuáticas o plagas y enfermedades, apoyando la agricultura.
La desalinización y otras formas de recuperación de suelos agrícolas.
Contribuye a la generación de ingresos económicos y empleos.

## 2.1 Acuicultura a nivel mundial

Para realizar un análisis de nivel mundial de la acuicultura es relevante tener en cuenta que el origen de la acuicultura es muy antiguo. Desde la formación de las primeras civilizaciones, en territorio chino varios milenios antes de la era cristiana, ya se llevaban a cabo prácticas acuícolas, especialmente enfocadas en la cría de peces carpa. Durante la Edad Media, la acuicultura empezó a difundirse también en Europa. En concreto, existen registros de actividades acuícolas que se remontan al año 3800 a.C. Dos mil años después, ya se establecía legislación para proteger a los pescadores contra posibles robos, y en el año 475 a.C., se firmó un tratado específico sobre la carpicultura (Gualdrón y Castro, 2017).

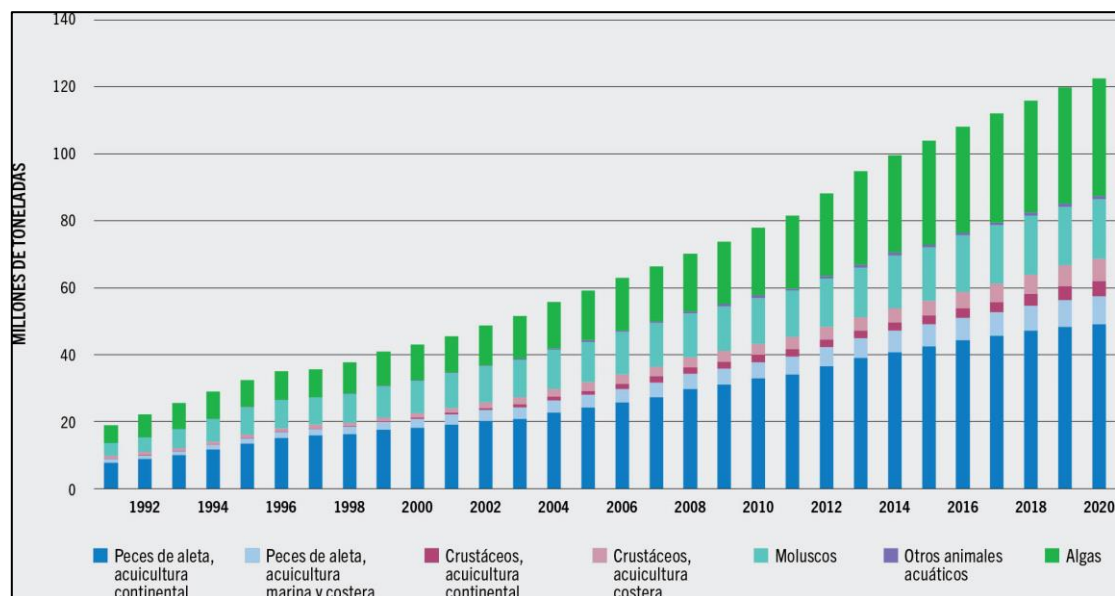
Desde esta perspectiva, China ocupa el puesto de principal productor de acuicultura del mundo, seguida por la India, Filipinas e Indonesia. Pese a que el continente asiático registra una capacidad productora (89%). Por su parte en América Latina y en África, actualmente se evidencia un notable crecimiento en la

producción, que exponencialmente comparado con el continente asiático, representa aun retos y desafíos para potenciar la producción de este sector económico (FAO, s.f.). Como afirma Krohnert y Salvador (2006) este crecimiento acelerado ha traído consigo oportunidades y desafíos. Entre las oportunidades se encuentran el aumento de la seguridad alimentaria, la creación de empleo y la diversificación económica. Sin embargo, también es importante abordar los desafíos ambientales y sociales asociados con la acuicultura, como la contaminación del agua, la destrucción de hábitats naturales y el bienestar animal.

En términos generales, la producción acuícola a nivel mundial ha mantenido una tendencia al crecimiento en el 2020, con algunas diferencias significativas entre algunas regiones y países productores. En el ámbito del uso alimenticio, se alcanzó un total de 122,6 millones de toneladas en peso vivo, hecho que indica un incremento de 6,7 millones de toneladas de producción neta, en comparación con los 115,9 millones de toneladas registrados en 2018 (FAO. Producción acuícola, 2022). Aunado a lo anterior, la acuicultura ha experimentado un crecimiento exponencial en las últimas dos décadas, posicionándose como una fuente crucial de alimentos y materia prima a nivel global. Desde el año 2000, la producción acuícola mundial se ha triplicado, pasando de 34 millones de toneladas métricas a más de 112 millones de toneladas en 2017.

En la figura 1, se realiza un análisis estadístico de la producción acuícolas a nivel mundial en los periodos comprendidos entre el 1991 y 2020.

**Figura 1.**  
*Producción acuícola mundial, 1991-2020.*



*Nota:* Los datos se expresan en términos de equivalente en peso vivo. Tomado de (FAO. Producción acuícola, 2022).

Desde la óptica de la FOA, en el período comprendido entre 1990 y 2020, la acuicultura mundial total se expandió un 609 % en términos de producción anual, con un ritmo medio de crecimiento del 6,7 % al año. Mas, sin embargo, la variedad de especies cultivadas, solo se evidencian una pequeña cantidad de especies “básicas” predominan en la producción acuícola. Lo anteriormente mencionado, justifica el hecho de implementar estrategias que ayuden a mejorar todo el proceso de producción de diferentes tipos de peces para ampliar el mercado y el margen de ganancia económica.

En la tabla 2, se realiza un balance del tipo de especies de peces que se cultivan y su relación de producción por tonelada entre el 2000 y el 2020:

**Tabla 2***Producción mundial de las principales especies acuícolas.*

	2000	2005	2010	2015	2020	Porcentaje del total
<i>(miles de toneladas, peso vivo)</i>						
<b>Peces de aleta en la acuicultura continental</b>						
Carpa herbívora, <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	2 976,5	3 396,6	4 213,1	5 315,0	5 791,5	11,8
Carpa plateada, <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	3 034,7	3 690,0	3 972,0	4 713,6	4 896,6	10
Tilapia del Nilo, <i>Oreochromis niloticus</i>	1 001,5	1 721,3	2 637,4	4 000,9	4 407,2	9
Carpa común, <i>Cyprinus carpio</i>	2 410,4	2 666,3	3 331,0	4 025,8	4 236,3	8,6
Catla, <i>Catla</i>	602,3	1 317,5	2 526,4	2 313,4	3 540,3	7,2
Carpa cabezona, <i>Hypophthalmichthys nobilis</i>	1 438,9	1 929,5	2 513,6	3 109,1	3 187,2	6,5
<i>Carassius</i> spp.	1 198,5	1 798,2	2 137,8	2 644,1	2 748,6	5,6
Panga, <i>Pangasianodon hypophthalmus</i>	113,2	411,2	1 749,4	2 083,2	2 520,4	5,1
Labeo Roho, <i>Labeo rohita</i>	733,9	1 435,9	1 133,2	1 785,3	2 484,8	5,1
<i>Clarias</i> spp.	48,8	149,5	343,3	923,7	1 249,0	2,5
Tilapias nep, <i>Oreochromis</i> spp.	123,9	199,3	449,6	929,9	1 069,9	2,2
Carpa de Wuchang, <i>Megalobrama amblycephala</i>	445,9	477,2	629,2	723,2	781,7	1,6
Trucha arco iris, <i>Oncorhynchus mykiss</i>	340,4	360,0	464,7	546,5	739,5	1,5
Carpa negra, <i>Mylopharyngodon piceus</i>	149,0	280,7	409,5	541,2	695,5	1,4
Perca atruchada, <i>Micropterus salmoides</i>	0,2	140,3	179,5	321,5	621,3	1,3
<b>Subtotal de las 15 especies principales</b>	<b>14 618,2</b>	<b>19 973,5</b>	<b>26 689,7</b>	<b>33 976,3</b>	<b>38 970,1</b>	<b>79,3</b>
<b>Subtotal de otras especies</b>	<b>3 546,6</b>	<b>4 260,1</b>	<b>6 337,7</b>	<b>8 535,7</b>	<b>10 150,4</b>	<b>20,7</b>
<b>Total</b>	<b>18 164,7</b>	<b>24 233,6</b>	<b>33 027,4</b>	<b>42 512,0</b>	<b>49 120,5</b>	<b>100</b>

*Nota:* Tomado de (FAO. Producción acuícola, 2022).

## 2.2 Producción de la tilapia en Huila – Colombia

Como Afirma Castillo (2001) la Tilapia roja tiene su origen en Taiwan, una localidad al sur de la isla, alrededor del año 1968. En este lugar, tuvo lugar una "mutación albina" en una tilapia mozambica (*Oreochromis mossambicus* Wu-Kuo), que normalmente presenta una coloración negra. Esta mutación resultó en la aparición de la primera tilapia roja, una nueva especie albina que atrajo la atención de productores e investigadores a nivel mundial debido a su atractivo color.

Este acontecimiento impulsó programas de selección e hibridación, dando lugar a nuevas líneas de tilapia roja que posteriormente fueron introducidas en Colombia, tales como:

**Tabla 3** *Tilapias rojas introducidas a Colombia*

Red Aurea ( <i>O. aureus</i> ) “ROJA
Red Florida ( <i>O. mossambicus</i> x <i>O. urolepis hornorum</i> ) “ALBINA”
Golden Tilapia ( <i>O. mossambicus</i> ) “AMARILLA”
Red Manzala ( <i>O. aureus</i> x <i>O. niloticus</i> egipcia) “ROJA
Red Singapur ( <i>O. mossambicus</i> ) “MUTANTE”
Red Stirling y Tailandesa: ( <i>O. niloticus</i> ) “ROJA”
Red Taiwanesa ( <i>O. mossambicus</i> ) “ALBINA”
Red Taiwanesa Filipina ( <i>O. mossambicus</i> x <i>O. niloticus</i> ) “ALBINA”
Red Yumbo No 1 (Red Florida x <i>O. niloticus</i> ) “ROJA”
Red Yumbo No 2 (Red Florida USA x Red Florida ISRAEL). “ROJA”

En el contexto colombiano, la producción de la acuicultura supera el 27% de la producción mundial, siendo uno de los productos de acuicultura más importantes en su orden: la Tilapia (95% Tilapia roja: *Oreochromis* sp). Esta posición destacada de Colombia en la acuicultura se fundamenta principalmente en la abundancia de sus recursos hídricos, proporcionándole condiciones excepcionales para el progreso de esta actividad. Colombia alberga una variedad de criaderos acuícolas pequeños como también grandes, la mayoría de los cuales han sido establecidos por el Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente. Entre ellos, destacan especialmente dos instalaciones que se ubican en zonas caracterizadas por climas cálidos y templados.

En el año 2022 se tuvo una producción de 78,527 toneladas de pescado cosechadas, cifra que equivale al 39% de la producción total del país. En este sentido, el Huila afianza su posición como el principal productor acuícola de Colombia. Este logro no solo aporta de manera significativa al desarrollo económico y a la generación de empleo, sino que también indica que dicho departamento sustancialmente experimenta un crecimiento más rápido en comparación con el promedio nacional.

Otro aspecto relevante, es que el departamento cumple con las normativas sanitarias para la exportación y ostenta el título de mayor productor en el año 2022, enviando al extranjero un total de 17,241 toneladas de tilapia. Este éxito no solo tiene implicaciones comerciales, sino que también contribuye a la creación de nuevas fuentes de empleo. En el año 2022, la Cadena Técnica Nacional de Piscicultura presento un informe en el cual afirma que se generaron un total 61,268 empleos directos y 183,803 empleos indirectos vinculados a la actividad pesquera en el Huila (Gobernacion Huila, 2023).

La producción de tilapia en Hobo (Huila) ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años, especialmente en el cultivo de tilapia roja en el Embalse de Betania. Este enfoque en el cultivo de tilapia ha permitido un aumento en la producción anual de carne de tilapia en la región, con el embalse siendo un lugar propicio para esta actividad. Según el informe de la Cadena Piscícola Huila, señala que el embalse ubicado en los municipios de Campoalegre, Yaguará y Hobo ha presentado un crecimiento cercano al 60% en la producción de tilapia, lo

que destaca la importancia y el potencial de esta actividad en la zona (InformeCadenaPiscícolaHuila, 2018).

### 2.3 Ciclo de vida de la tilapia

La vida de la tilapia, como la tilapia del Nilo, comienza con huevos elipsoidales de color crema-amarillento que contienen vitelo como reserva nutricional. Tras la fertilización, los embriones se desarrollan consumiendo este vitelo, eclosionando aproximadamente a los cuatro días. Los pez-larva recién eclosionados se resguardan en la cavidad bucal de la hembra, absorbiendo más vitelo mientras su boca aún no es funcional. Con el tiempo, desarrollan aletas y capacidad para alimentarse, culminando la absorción del vitelo y su independencia de la hembra como alevines de unos 10 a 12 mm de longitud. Bajo condiciones de cultivo, la tilapia del Nilo alcanza la madurez sexual en tres o cuatro meses, pesando alrededor de 40 a 50 g, mientras que otras especies como la tilapia de Java maduran más rápido y pueden reproducirse a edades más tempranas y menor peso, evidenciando diferencias en su ciclo reproductivo (Meyer y Triminio, 2007).

### 2.4 Tipos de cultivo

El cultivo de tilapia en estanques en tierra es una práctica común en el departamento del Huila. Sin embargo, en los últimos años se han implementado sistemas biofloc para mitigar el impacto ambiental de los procesos de producción.

A continuación, se presentan algunas de las técnicas implementadas para el cultivo en estanques en tierra y en sistemas biofloc de la tilapia:

#### 2.4.1 Estanque en tierra.

**Figura 2**

*Estanque en tierra.*



*Nota:* Tomado de (Agrotendencia, 2020).

El sistema más común para el cultivo de tilapia implica el uso de estanques rústicos y estructuras similares. Se realiza en excavaciones sobre la tierra que abarcan áreas de  $500m^2$  a  $2000m^2$ . Los estanques pueden manejar densidades entre  $5 peces m^2$  a  $15 peces m^2$ . Debido a la capacidad de esta especie para sobrevivir en espacios limitados, se han empleado estanques de diversos tamaños, incluso inferiores a los  $100 m^2$ . Estos estanques, excavados en tierra, cuentan con estructuras específicas para la entrada y salida de agua de forma individual. El engorde se lleva a cabo en estanques cuya superficie no exceda los

0.25 hectáreas (2,500 m<sup>2</sup>), lo que facilita un manejo más económico y sencillo (Agrotendencia, 2020).

Las dimensiones de los estanques varían en función de su propósito específico: según la FAO (2021), un estanque de supervivencia suele estar en el rango de 100m<sup>2</sup> a 400m<sup>2</sup>. Los estanques comerciales de bajo nivel tienden a oscilar entre 400m<sup>2</sup> y 1000m<sup>2</sup>, alojando un número reducido de tilapias. Por último, se encuentran los estanques de alto nivel, que abarcan desde los 1000m<sup>2</sup> hasta los 5000m<sup>2</sup>. Estas diferencias en dimensiones se ajustan a distintos objetivos de producción y capacidad de carga, permitiendo adaptarse a diversas escalas de cultivo de tilapia (Agrotendencia, 2020).

#### 2.4.2 Tinas de concreto.

**Figura 3**

*Tinas de concreto.*



*Nota:* cría de tilapias en estanques circulares de concreto. Tomado de (Agrotendencia, 2020).

Este sistema presenta características de construcción más seguras y sencillas en comparación con otros métodos. Sin embargo, su accesibilidad se ve limitada debido a los elevados costos de materiales clave como el cemento, el hierro y otros elementos necesarios. Las tinas utilizadas generalmente tienen formas circulares o cuadradas, siendo las circulares preferidas por su capacidad de facilitar una rotación óptima del agua, promoviendo así un intercambio más efectivo.

Este enfoque de crianza garantiza durabilidad y una mayor calidad del producto final, dado que los peces tienen mínimo contacto con el lecho del estanque, lo que aumenta su valor en el mercado. No obstante, la construcción de unidades a gran escala se desaconseja debido a los altos costos asociados. En términos de producción, tinas redondas de concreto con capacidades de 300 y 100 metros cúbicos permiten la obtención de 26,500 y 8,500 kilogramos de tilapia por ciclo, especialmente en sistemas intensivos que requieren una reposición constante de agua (Agrotendencia, 2020).

### 2.4.3 Tinas plásticas redondas.

**Figura 4**

*Tinas plásticas redondas.*



*Nota:* producción de tilapias en estanques circulares plásticos. Tomado de (Agrotendencia, 2020).

Actualmente, este método se encuentra en tendencia debido a su flexibilidad y facilidad de montaje, con sus componentes disponibles en el mercado internacional en diferentes dimensiones, lo que permite a los productores aprovechar de manera más eficiente el espacio disponible. Se instala en terrenos planos, evitando la necesidad de excavaciones profundas y minimizando el impacto ambiental. Sin embargo, su implementación inicial implica costos considerables. A pesar de ello, su rentabilidad es notable, ya que puede generar rendimientos superiores a los 50 kilogramos de carne de pescado por metro cúbico, ofreciendo así una perspectiva atractiva en términos de productividad (Agrotendencia, 2020).

#### 2.4.4 Jaulas flotantes.

**Figura 5**  
*Jaulas flotantes.*



*Nota:* producción y cría de tilapia en jaulas flotantes. Tomado de (Agrotendencia, 2020).

Este método de cultivo ha demostrado ser altamente efectivo al aprovechar cuerpos de agua existentes con profundidades superiores a los 3 metros, siempre y cuando se mantenga un flujo constante de agua. Su diseño permite un crecimiento rápido de los peces al limitar su movimiento, lo que se traduce en un menor gasto energético y un aumento significativo en su peso en periodos cortos. Los estudios muestran que el crecimiento de los peces en jaulas supera en velocidad al crecimiento en estanques. Esta práctica de cultivo de tilapia del Nilo en jaulas flotantes, con densidades elevadas, es común en varios países como

China, Indonesia, México, Honduras, Colombia y Brasil, y se desarrolla principalmente en grandes lagos y embalses (Agrotendencia, 2020).

Este tipo de cultivos otorga múltiples primacías significativas en la acuicultura. Esta práctica se destaca por su inversión inicial asequible gracias a una tecnología simple y económica, permitiendo incrementar la producción en referencia con los métodos convencionales que usan estanques de tierra. Las jaulas, al ser desmontables y no requerir construcciones permanentes, permiten un adecuado seguimiento y control de la población, reproducción, depredadores y competidores. Además, facilitan la manipulación de los peces, siembras a altas densidades y cosechas parciales programadas, pudiendo alcanzar rendimientos óptimos de hasta 20 toneladas métricas por hectárea por ciclo. Este sistema interrumpe el ciclo reproductivo de la tilapia, lo que posibilita el cultivo de poblaciones mixtas de machos y hembras, evitando problemas de reclutamiento y enanismo (Agrotendencia, 2020).

El manejo de la tilapia presenta algunas limitaciones notables. Estas incluyen desafíos durante oleajes intensos, la necesidad constante de flujo de agua en las jaulas para mantener niveles óptimos de oxígeno y eliminar metabolitos, la dependencia exclusiva de alimentación artificial completa y flotante, posibles interferencias con la población natural de peces, un incremento en el riesgo de robos en la producción y la necesidad de personal capacitado para su correcto manejo (Agrotendencia, 2020).

## 2.5 Calidad del agua para la siembra óptima

Colombia se reconoce como uno de los países con una de las mayores reservas de agua en el mundo, y es innegable que la disponibilidad de este recurso es crucial para el avance de la acuicultura (Merino et al, 2013). En términos de calidad, el agua es un factor crucial para el cultivo exitoso de tilapia en el Huila, al igual que en cualquier otra región. Este tipo de pez se caracteriza por ser de agua dulce y requiere de condiciones específicas para su crecimiento y desarrollo óptimo (Pinza, 2014). A continuación, se detallan algunos de los parámetros clave de calidad del agua que se deben tener en cuenta para la siembra de tilapia:

- **Temperatura del Agua:** La tilapia prospera en temperaturas que generalmente oscilan entre los 25°C y 30°C. Es importante mantener la temperatura dentro de este rango para favorecer el crecimiento adecuado (Pinza J., 2014).
- **pH del Agua:** El pH del agua debe estar en el rango de 6 a 9 pH para proporcionar un entorno favorable para la tilapia (Valenzuela R. & Martinez P. & Arevalo J., 2017). Los valores fuera de este rango pueden afectar negativamente la salud de los peces.
- **Niveles de Oxígeno:** La tilapia requiere niveles adecuados de oxígeno disuelto en el agua entre un rango de 5 a 9 mg/L para sobrevivir y crecer. Se debe monitorear y mantener una

concentración de oxígeno suficiente, especialmente en sistemas intensivos de cultivo (Vargas et al, 2017).

Es crucial realizar análisis periódicos de la calidad del agua y tomar medidas correctivas según sea necesario para asegurar un entorno acuático propicio para la siembra y desarrollo saludable de la tilapia en el Huila. Además, las autoridades locales y organismos especializados pueden proporcionar pautas específicas para adaptarse a las condiciones particulares de la región.

La calidad del agua es un factor crítico en la acuicultura, ya que influye en el crecimiento y la salud de los organismos acuáticos. Según el informe (InformeCadenaPiscícolaHuila, 2018), “el departamento del Huila cuenta con cuerpos de agua ideales para el cultivo de especies tropicales como la tilapia roja y la tilapia nilótica”.

## 2.6 Modelo de regresión no lineal para el crecimiento de la tilapia

Este tipo de modelo llamado *regresión no lineal* es un enfoque de análisis estadístico que busca describir y predecir relaciones entre variables dependientes e independientes que no siguen una relación lineal. Se diferencia de la regresión lineal tradicional, porque está limitada a estimar modelos lineales, mientras que la regresión no lineal puede estimar modelos con relaciones parciales entre ambas variables (International Bussiness Machines[IBM], 2023).

El modelo de regresión logística para el crecimiento de tilapia implica predecir la probabilidad de que la tilapia alcance un tamaño específico en función de diversas variables, como el tiempo y peso. Este modelo busca establecer la relación entre estas variables independientes y la probabilidad de que la tilapia logre un tamaño determinado, proporcionando información valiosa para mejorar las prácticas de crianza y manejo de esta especie (Aguilar, 2010).

### 2.6.1 Modelo logístico

La ecuación logística, propuesta por Verhulst en 1838, ha sido fundamental en la comprensión del crecimiento poblacional limitado. Verhulst describió esta ecuación como una herramienta para modelar el cambio en la tasa de crecimiento de una población en función de su tamaño actual y su capacidad máxima de carga (Verhulst, 1838). Este modelo, ampliamente utilizado en disciplinas como la biología y la economía, es fundamental para entender cómo las poblaciones se ajustan a su límite máximo a medida que crecen (May, 1976).

$$P_t = \frac{P_{\infty}}{1 + b \cdot e^{-c \cdot t}}$$

En la formulación del modelo,  $P_t$  representa el peso de una muestra a una edad específica, mientras que  $P_{\infty}$  denota el peso adulto al que tiende. La variable  $e$  corresponde al fundamento de logaritmos naturales, y los parámetros  $b$  y  $c$  son componentes ajustables del modelo, donde  $c$  refleja la tasa de maduración y  $t$

indica la edad medida en días. Este enfoque modela el crecimiento con una curva sigmoidea, caracterizada por un punto de inflexión cercano al 50% del peso adulto (Aguilar, 2010).

### 2.6.2 Modelo Von Bertalanffy

El modelo de Von Bertalanffy, propuesto por Ludwig Von Bertalanffy en el campo de la biología, presenta una ecuación para describir el crecimiento de organismos a lo largo del tiempo (Bertalanffy, 1957). Según Von Bertalanffy (1957), la ecuación de crecimiento se formula como:

$$L(t) = L_{\infty} \cdot (1 - e^{-c(t-t_o)})$$

donde  $L(t)$  representa la longitud o tamaño del organismo en un instante  $t$ ,  $L_{\infty}$  es la longitud máxima teórica,  $c$  indica la tasa de crecimiento y  $t_o$  es el tiempo de origen del crecimiento. Este modelo se ha utilizado ampliamente en biología para estimar el crecimiento de diversas especies y ha sido fundamental en la comprensión del desarrollo y la vida útil de los organismos (Aguilar, 2010).

### 3. OBJETIVOS

En este capítulo se aborda la idea original y su transformación en el planteamiento del problema de investigación. Adicionalmente, se plantean los objetivos, las limitaciones, la hipótesis y la justificación.

#### 3.1 Objetivo general

Evaluar de los modelos de regresión no lineal cual se ajusta más a la predictibilidad del peso de la tilapia roja en un ciclo comercial en la vereda Las Vueltas, del municipio de Hobo – Huila en el año 2024.

#### 3.2 Objetivos específicos

- Identificar y seleccionar los modelos de regresión no lineal más adecuados para la predicción del peso de la tilapia roja.
- Recolectar datos precisos sobre el peso de la tilapia roja y las variables relacionadas durante el ciclo comercial en la vereda Las Vueltas.
- Comparar los resultados obtenidos de los diferentes modelos de regresión no lineal para determinar cuál ofrece la mayor precisión en la predictibilidad del peso de la tilapia roja.

#### 4. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto de investigación se enfoca en la tilapia roja (*Oreochromis* sp.) que se ha convertido en una especie acuícola de gran importancia en Colombia, debido a su alto valor nutricional, facilidad de cultivo y adaptabilidad a diversas condiciones ambientales. En el departamento del Huila, la acuicultura de tilapia roja ha tomado auge en los últimos años, especialmente en la vereda Las Vueltas del municipio de Hobo. Sin embargo, los productores enfrentan dificultades para predecir el peso final de sus peces en un ciclo comercial, lo que afecta la planificación de la producción, la comercialización y la rentabilidad de la actividad. Ante esta situación, se ha iniciado una exploración detallada de estrategias destinadas a los pequeños acuicultores locales. Es relevante destacar que, a nivel nacional, existe un considerable número de acuicultores que operan a escalas reducidas y que, lamentablemente, a menudo son pasados por alto en iniciativas y estudios a gran escala (Castillo, 2001).

La importancia de este proyecto radica en buscar estrategias para evaluar la aplicación de modelos de regresión no lineal para predecir el peso de la tilapia roja en un ciclo comercial. La utilización de estos modelos permitiría a los productores conocer el peso final esperado de los peces les permitirá tomar decisiones más acertadas sobre el manejo del cultivo, la alimentación, la cosecha y la comercialización. Por otro lado, permite una mejor predicción del peso final se traduce en una mayor eficiencia en el uso de recursos, como el alimento y el espacio de cultivo, lo que se refleja en una mayor rentabilidad para los

productores. Así mismo, ayuda a minimizar los riesgos de producción, porque al conocer el peso final esperado, los productores pueden anticipar posibles problemas y tomar medidas para minimizar los riesgos asociados al cultivo.

Es importante destacar que el uso de modelos de regresión no lineal es particularmente relevante debido a la naturaleza compleja del crecimiento de la tilapia, que no sigue un patrón lineal simple. Estos modelos pueden capturar de manera más precisa las dinámicas biológicas y ambientales que afectan el crecimiento del pez, como la calidad del agua, la temperatura, la alimentación y la densidad de población. Al proporcionar predicciones más exactas, los modelos de regresión no lineal ayudan a minimizar los riesgos asociados con la variabilidad del crecimiento, permitiendo una mejor planificación y toma de decisiones.

El objetivo primordial de este proyecto es implementar un modelo de regresión no lineal para describir el crecimiento de la tilapia roja a lo largo de 6 meses, proporcionando a los pequeños acuicultores una herramienta efectiva para mejorar sus decisiones comerciales. Este aspecto fundamental del proyecto se centra en determinar el modelo de regresión no lineal más adecuado, considerando el modelo logístico y el de Von Bertalanffy, con el fin de identificar la metodología más precisa para estimar el tiempo óptimo de comercialización. Además, se busca capacitar a los piscicultores en la aplicación de estos modelos, mejorando su capacidad para recolectar, sistematizar y analizar datos, y así optimizar la comercialización de la tilapia roja.

De acuerdo con las cifras reveladas por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, el departamento del Huila aporta el 39% de la producción piscícola nacional, y se mantiene con un 85% en volúmenes de exportación principalmente de tilapia (Gobernación del Huila, 2022).

Esta investigación es altamente conveniente y socialmente relevante porque proporciona a los pequeños acuicultores del Huila herramientas avanzadas para mejorar sus decisiones comerciales mediante la implementación de modelos de regresión no lineal. Esto no solo optimiza la producción y comercialización de la tilapia roja, maximizando sus beneficios económicos, sino que también fomenta la sostenibilidad y el desarrollo económico local. Además, capacitar a los piscicultores en estas nuevas metodologías promueve la equidad, la innovación y mejora la seguridad alimentaria en la región, contribuyendo significativamente al bienestar de la comunidad.

Aunado a lo anterior, se espera que este proyecto de investigación tenga un impacto positivo en la acuicultura de tilapia roja en el Huila, contribuyendo a mejorar la productividad y la rentabilidad de los cultivos de tilapia roja. Así como reducir la incertidumbre en la producción de tilapia roja. De igual forma a promover prácticas acuícolas más sostenibles para fortalecer la economía local del municipio de Hobo y del departamento del Huila.

## 5. HIPÓTESIS Y VARIABLES

### 5.1 Formulación de Hipótesis

**H<sub>0</sub>:** No hay diferencia significativa en la capacidad predictiva del peso de la tilapia roja entre el modelo Logístico y el modelo de Von Bertalanffy. Es decir, ambos modelos se ajustan igualmente bien a los datos de crecimiento de la tilapia roja.

**H<sub>1</sub>:** Hay una diferencia significativa en la capacidad predictiva del peso de la tilapia roja entre el modelo Logístico y el modelo de Von Bertalanffy. Es decir, uno de los modelos se ajusta mejor que el otro a los datos de crecimiento de la tilapia roja.

### 5.2 Formulación de Variables

Para la presente investigación se formularon 5 variables:

- Tiempo
- Peso de la tilapia (gramos)
- Talla (cm)
- pH del agua del lago
- temperatura del agua del lago (Celsius)

## 6. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS CENTRALES

### 6.1 Piscicultura

La piscicultura es la práctica de criar y cultivar peces en ambientes controlados, como estanques, tanques o jaulas en cuerpos de agua naturales. Esta actividad incluye la intervención humana en varias etapas del ciclo de vida de los peces, desde la siembra y alimentación hasta la protección frente a depredadores. El objetivo principal de la piscicultura es aumentar la producción de pescado para consumo humano, fines ornamentales o para repoblar cuerpos de agua, contribuyendo así a la producción sostenible de proteínas de alta calidad y apoyando significativamente la economía local y la seguridad alimentaria (Londoño y Pineda, 2012).

### 6.2 Tilapia Roja

La tilapia roja no es una especie específica, sino una denominación utilizada para varios híbridos de tilapia creados mediante cría selectiva para obtener una coloración roja atractiva. Estos híbridos incluyen variantes como la Tilapia Roja de Florida y la Tilapia Roja de Jamaica, que son populares entre los acuicultores debido a su demanda en ciertos mercados. La tilapia roja es resultado de cruces entre diferentes especies de tilapia, como la tilapia azul (*Oreochromis aureus*) y la tilapia de Mozambique (*Oreochromis mossambicus*). Estos peces se caracterizan por su rápido crecimiento y su capacidad para prosperar en

ambientes de agua dulce y salobre, lo que los convierte en una opción valiosa para la acuicultura comercial (Merino et al, 2013).

### 6.3 Producción de Tilapia Roja

La producción de tilapia roja implica la cría, alimentación y manejo de esta especie en instalaciones acuícolas controladas. Este proceso incluye la selección de reproductores, el cuidado de los alevines, la alimentación balanceada y la gestión del entorno acuático para asegurar un crecimiento óptimo y una cosecha rentable (Pinza, 2014).

### 6.4 Peso

Los pequeños piscicultores utilizan diversos instrumentos de medición, como la gramera, la romana o una balanza, para llevar a cabo la medición del peso de una tilapia Roja. La tilapia es un pez de agua dulce que puede alcanzar un peso de 1 a 1.5 libras en un período de 6 meses (Saavedra, 2108).

### 6.5 Talla

La talla, la tilapia puede llegar a un tamaño comercial de 30 cm de largo o un peso máximo de alrededor de 3 kg (Saavedra, 2018) aunque las tallas comerciales habituales son los siguientes gramos:

**Tabla 4**  
*Peso y talla de la tilapia.*

PRODUCTO		Rango de Peso (gr)	
Tilapia roja fresca	Tipo A	250 gr	350 gr
Tilapia roja fresca	Tipo B	351 gr	450 gr
Tilapia roja fresca	Tipo C	451 gr	550 gr
Tilapia roja fresca	Tipo D	10 gr	15 gr

*Nota:* (Piscicultura PAJONALES, 2020)

## 6.6 Temperatura

Para la medición de temperatura del agua se implementará un termómetro común. Desde la postura crítica de García (2018) la temperatura se está calculando el total de energía que contiene, siendo un influyente en el metabolismo, al no estar la temperatura en los niveles adecuados generan estrés, se reducen las defensas el crecimiento de los peces y al no estar en un límite recomendable se minimiza el consumo de alimentos y finalmente la producción no fructifica, las tilapias prefieren temperaturas elevadas y mueren si baja a menos de 10°C.

## 6.7 pH del agua

Se implementará tiras para medir el pH. La escala oscila entre 1 y 14:

- 1 - 3 indica una sustancia muy ácida.

- 4 - 6 indica una sustancia ácida.
- 6.5 – 8.5 indica neutral.
- 8.5 - 11 indica alcalinidad.
- 12 - 14 indica un nivel muy alto de alcalinidad (Zabala et al, 2014).

## 7. ALCANCES Y LIMITACIONES

### 7.1 Alcances

La investigación permitirá a los pequeños acuicultores del Huila mejorar la rentabilidad de sus operaciones mediante la optimización del tiempo de comercialización de la tilapia roja, gracias a la implementación de modelos de regresión no lineal. Los piscicultores recibirán capacitación en análisis y modelación de datos, incrementando así sus habilidades técnicas. Además, el proyecto fomentará una cultura de innovación y sostenibilidad, contribuyendo al desarrollo económico local y mejorando la seguridad alimentaria al aumentar la disponibilidad de pescado en la región.

### 7.2 Limitaciones

Entre las limitaciones se encuentran el acceso limitado a la tecnología necesaria para implementar los modelos, los recursos financieros requeridos para la inversión inicial, y la variabilidad en la calidad de los datos recolectados. También puede haber resistencia al cambio por parte de algunos acuicultores que prefieren métodos tradicionales, así como factores ambientales imprevistos que podrían afectar la precisión del modelo. Además, se necesitará un esfuerzo continuo de capacitación para mantener actualizadas las habilidades de los piscicultores, y replicar esta iniciativa en otras regiones podría enfrentar desafíos locales específicos no abordados en el estudio inicial.

## 8. DISEÑO METODOLÓGICO

Este trabajo de investigación se realizó con información proporcionada por los dueños y administradores del cultivo en cuestión, con el objetivo de responder la pregunta de investigación. Los datos obtenidos provienen de un cultivo de tilapia roja ubicado en la vereda las, en el municipio de Hobo (Huila), durante un ciclo comercial de seis meses. El lago del cultivo tiene una forma rectangular, con un área de 1600 m<sup>2</sup> y una profundidad que oscila entre 60 cm y 140 cm.

Los datos suministrados se organizaron en formato Excel, teniendo en cuenta las muestras recogidas desde el día de introducción de los alevinos de Tilapia Roja hasta su captura para la venta, realizando un total de 13 muestreos cada 15 días. También se tomaron datos de temperatura y el pH.

### 8.1 Enfoque de investigación

El enfoque adoptado en esta investigación es de naturaleza cuantitativa correlacional (Hernández et al, 2017). Esto implica que se busca establecer relaciones entre variables cuantitativas específicas, como el tiempo y el peso, en un cultivo de Tilapia Roja ubicado en la zona rural del municipio de Hobo Huila, en la vereda Las Vueltas. Se enfoca principalmente en asociar el tiempo y peso adecuado para la comercialización de la Tilapia Roja, así como examinar la influencia de otras variables, como la talla, la temperatura y el pH del agua, en este proceso.

## 8.2 Diseño estadístico

El diseño estadístico aplicado es correlacional, ya que su propósito es determinar el grado de relación y asociación entre varias variables del cultivo de tilapia roja en un ciclo comercial. Se utilizan modelos de regresión no lineal para establecer y medir la relación entre el peso y el tiempo del pez. El objetivo es obtener un modelo que represente de manera precisa el crecimiento de la Tilapia Roja durante un ciclo comercial.

## 8.3 Población de estudio

La población estudiada consiste en la producción de un único lago en la vereda las vueltas – Hobo Huila, durante un ciclo comercial de 6 meses. En este lago se introdujeron 20000 alevinos, previamente seleccionados por su aparente salud y vitalidad. Estos alevinos fueron examinados para asegurar que estuvieran libres de enfermedades, deformaciones y presentaran características visuales óptimas, como un buen color y una natatoria adecuada. Los datos utilizados en el estudio fueron proporcionados por el administrador del cultivo, quien, debido a su experiencia, ha observado una estabilidad en el proceso de siembra.

## 8.4 Diseño muestral

Para llevar a cabo el estudio, se recolectaron un total de 13 muestras desde el 1 de octubre de 2023, cuando los alevines fueron introducidos en el lago, hasta el 29 de marzo de 2024, fecha de extracción para la comercialización. Se tomaron muestras de tiempo, peso, talla, temperatura y pH cada 15 días, cabe resaltar que

cada muestra tiene la misma cantidad de datos, es decir que las muestras con homogéneas.

Para la recolección de las muestras se empleó una red redonda para pescar, conocida convencionalmente con atarraya, lo que asegura que cualquier individuo tenga la misma probabilidad de ser capturado para el muestreo, muestreo con repetición debido a que después de tomar los datos, la tilapia es devuelta inmediatamente al lago. La talla se midió con una cinta métrica, la temperatura utilizando un termómetro, mientras que el pH se determinó mediante el uso de indicadores químicos que alteran su color en función del grado de acidez del agua.

### 8.5 Instrumentos y materiales

El recolectar datos de las variables fue llevado a cabo por un pequeño productor, quien utilizó instrumentos convencionales y disponibles según sus necesidades y recursos económicos. El peso de la Tilapia Roja fue medido con una gramera, la temperatura del agua fue registrada utilizando un termómetro, la talla se determinó con un metro convencional, y el pH del agua se evaluó mediante sustancias indicadoras de acidez. La información fue recopilada manualmente y organizada en Excel.

### 8.6 Proceso de recolección de datos

El pequeño productor recolectó los datos desde el 1 de octubre de 2023, cuando los 20,000 alevines fueron introducidos en el lago, hasta el 28 de marzo de 2024, fecha de extracción para la comercialización. Se obtuvieron un total de 13

muestras, cada una tomada en un lapso de 15 días a partir de la fecha de introducción de los peces al lago. El peso, la talla, la temperatura, el pH y la fecha fueron las variables recolectadas durante un periodo de aproximadamente 6 meses, lo cual corresponde a un ciclo comercial.

### 8.7 Sistematización de la información

La organización de los datos recolectados es realizada por el administrador de la finca. Inicialmente, los datos se recopilan de forma manual y luego se ingresan en una hoja de cálculo de Excel para facilitar su manejo e interpretación. En el lago, se registraron datos tales como el tiempo, el peso y talla de los peces, temperatura y el pH del agua.

### 8.8 Procesamiento de la información

Para el análisis de los datos recolectados, inicialmente se llevó a cabo un estudio descriptivo para comprender los conceptos y las condiciones actuales de la población estudiada. Luego, se empleó el método de correlación para examinar la influencia de las variables registradas. Finalmente, se aplicaron dos modelos de regresión para determinar cuál presenta mejor predictibilidad del peso.

## 9 RESULTADOS

### 9.1 Análisis exploratorio de datos

En la finca San Pablo, situada en el municipio de Hobo, se cuenta con una población total de 20000 tilapias. El dueño de la finca realizó un muestreo comenzando el día de la siembra de los alevines en el lago (P\_0). El segundo muestreo (P\_1) se llevó a cabo 15 días después, continuando de esta manera en intervalos de 15 días hasta llegar a la muestra 13 (P\_12), que se realizó a los 180 días desde la siembra, cubriendo así el ciclo comercial de aproximadamente seis meses.

**Tabla 5**

*Resumen del Análisis Exploratorio del peso de las 13 muestras*

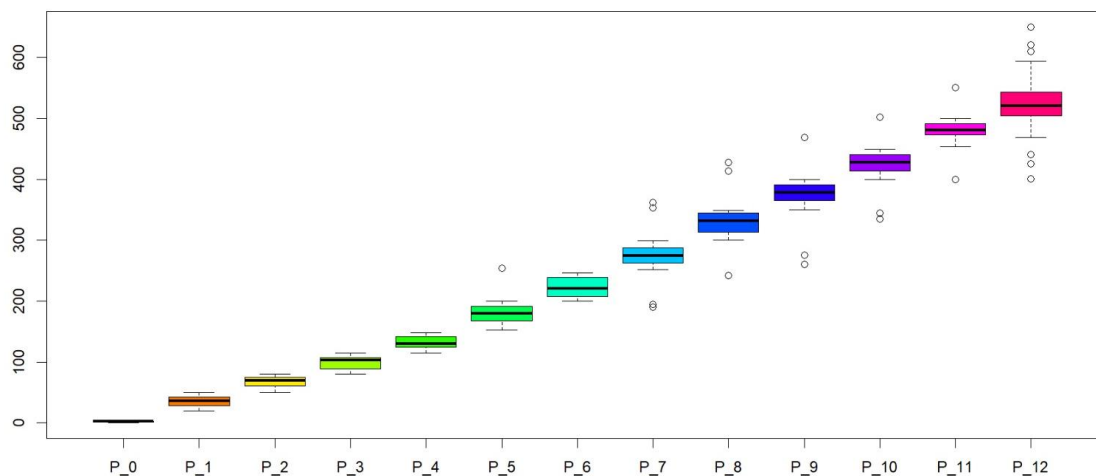
Muestra	P_0	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_10	P_11	P_12
Media	2,67	35,85	68,06	99,58	131,73	180,42	221,36	273,79	330,64	373,64	423,52	480,12	523,27
Mediana	3,0	36,0	70,0	103,0	130,0	180,0	220,0	274,0	332,0	378,0	427,0	480,0	520,0
Desv Estandar	0,99	9,36	8,19	11,13	10,50	19,35	15,37	32,08	31,39	34,72	28,62	22,75	51,51
Coef Variacion	37,1	26,1	12,0	11,2	8,0	10,7	6,9	11,7	9,5	9,3	6,8	4,7	9,8
Coef asimetria	-0,08	-0,34	-0,51	-0,44	0,09	1,45	0,29	0,12	0,71	-1,15	-0,88	-0,55	0,15
Curtosis	1,96	1,77	2,18	1,86	1,69	7,35	1,67	5,77	6,68	7,63	6,70	8,32	3,79
Percentil 25	2	29	61	89	124	168	207	262	313	365	413	473	504
Percentil 50	3	36	70	103	130	180	220	274	332	378	427	480	520
Percentil 75	3	43	75	107	142	191	239	287	344	391	440	491	543

*Nota:* Datos tomados de la finca San Pablo Vereda las vueltas del municipio de Hobo - Huila (2024).

En la Tabla 3 se presenta un resumen de las estadísticas descriptivas clave para esta investigación cuantitativa, incluyendo la media aritmética, mediana, desviación estándar, coeficiente de asimetría, curtosis y percentiles. Estos indicadores permiten observar de manera clara y sencilla las condiciones de la tilapia roja a lo largo de un ciclo comercial. Para la última muestra, previa a la recolección del cultivo para su comercialización, se tiene un coeficiente de variación de 9.8%, que, aunque es una variabilidad moderada, la cual representa el crecimiento no tan homogéneo del peso, podría ocasionar pérdidas económicas para el pequeño piscicultor.

**Figura 6**

*Resumen del Análisis exploratorio del peso de las 13 muestras.*



*Nota.* La figura muestra los diagramas de cajas de cada una de las muestras con respecto al peso de la tilapia roja en un ciclo comercial en el año 2024.

La gráfica 6 de diagramas de caja muestra el crecimiento sostenido del peso de la tilapia roja a lo largo del ciclo comercial, con la mediana del peso incrementándose constantemente de P\_0 a P\_12. Inicialmente, la variabilidad del peso es baja, con cajas compactas y pocos valores atípicos. Sin embargo, a

medida que avanza el ciclo, especialmente a partir de P\_6, se observa un aumento en la dispersión de los pesos, reflejado en cajas más grandes y la aparición de más valores atípicos. Esto sugiere un incremento en la variabilidad del crecimiento de las tilapias, lo que podría tener implicaciones para la gestión del cultivo y la planificación de la comercialización.

En las últimas etapas del ciclo (P\_9 a P\_12), la variabilidad se vuelve más pronunciada, indicando condiciones de crecimiento menos homogéneas. Esta mayor dispersión y la presencia de valores atípicos podrían afectar la uniformidad de la cosecha, presentando desafíos para los piscicultores en términos de minimizar pérdidas y asegurar una producción consistente. En general, la gráfica proporciona una visión clara del crecimiento y la variabilidad del peso de la tilapia roja, destacando la necesidad de un manejo cuidadoso para optimizar la cosecha.

#### 9.1.1 Análisis Descriptivo de la Muestra 1

La Muestra 1 proporcionó datos correspondientes a los 15 días posteriores a la siembra de los alevinos, mostrando que la tilapia roja aumentó 33 gramos en comparación con la Muestra 0 (P\_0). Esto sugiere que los alevinos crecieron a un ritmo de 2.2 gramos por día, incrementando su peso trece veces más en relación con la media de P\_0.

**Tabla 6***Tabla de frecuencia de la muestra Peso 1.*

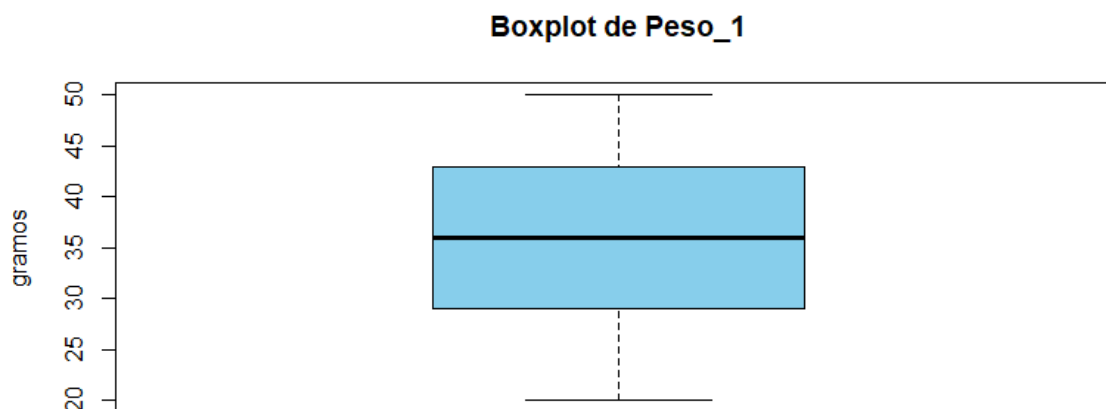
<b>PESO 1</b>		<b>Promedio</b>	<b>FRECUENCIA ABSOLUTA</b>	<b>PORCENTAJE</b>
20,00	24,99	22,50	6	18,18%
24,99	29,98	27,49	3	9,09%
29,98	34,97	32,48	5	15,15%
34,97	39,96	37,47	3	9,09%
39,96	44,95	42,46	10	30,30%
44,95	49,94	47,45	5	15,15%
49,94	54,94	52,44	1	3,03%
54,94	59,93	57,43	0	0,00%
<b>TOTAL</b>			<b>33</b>	<b>100,00%</b>

*Nota.* Los datos de la tabla muestran los intervalos de peso de la tilapia roja en la muestra 1, 15 días después de la siembra de los alevinos, de la finca San Pablo Vereda las vueltas del municipio de Hobo - Huila (2024).

La tabla 4 muestra la distribución de pesos de la tilapia roja, después de los primeros 15 días de observación en 2024. La mayoría de las tilapias se encuentran en el intervalo de 39,96 a 44,95 gramos (30,30%), seguido por el intervalo de 20,00 a 24,99 gramos (18,18%). Otros intervalos con frecuencias notables son 29,98 a 34,97 gramos y 44,95 a 49,94 gramos, ambos con 15,15%. Los intervalos de peso más altos muestran una baja frecuencia, con solo una tilapia en el intervalo de 49,94 a 54,94 gramos y ninguna en el intervalo de 54,94 a 59,93 gramos. Esta distribución sugiere un crecimiento inicial rápido pero con una variabilidad significativa en los pesos, lo que podría indicar la necesidad de ajustes en el manejo del cultivo para asegurar un crecimiento más uniforme y eficiente.

### Figura 7

*Estadísticas de Resumen muestra Peso 1.*



*Nota.* La figura muestra el diagrama de cajas de la tilapia roja pasados 15 días después de la siembra en la finca San Pablo Vereda las Vueltas del municipio de Hobo – Huila (2024).

La figura 7 muestra un diagrama de caja del peso de la tilapia roja 15 días después de la siembra en la finca San Pablo, Vereda las Vueltas del municipio de Hobo – Huila en 2024. La mediana del peso es de aproximadamente 37,5 gramos, con la mayoría de los pesos de las tilapias situados entre 32,5 y 42,5 gramos, como indica el rango intercuartílico. Los "bigotes" del diagrama se extienden desde aproximadamente 25 hasta 50 gramos, sin valores atípicos significativos, sugiriendo una distribución de pesos relativamente simétrica y un crecimiento uniforme durante este período inicial.

#### 9.1.2 Análisis Descriptivo de la Muestra 12

La Muestra 12 proporcionó datos correspondientes a los 180 días posteriores a la siembra de los alevinos, la cual fue la última recolectada, ya que

se tomó en la fecha en que se realizó la captura de toda la tilapia roja del estanque de tierra para su comercialización. Es notable, como se muestra en la figura 6, el alto nivel de heterogeneidad debido a la variación en los pesos.

**Tabla 7**

*Tabla de frecuencia de la muestra Peso 12.*

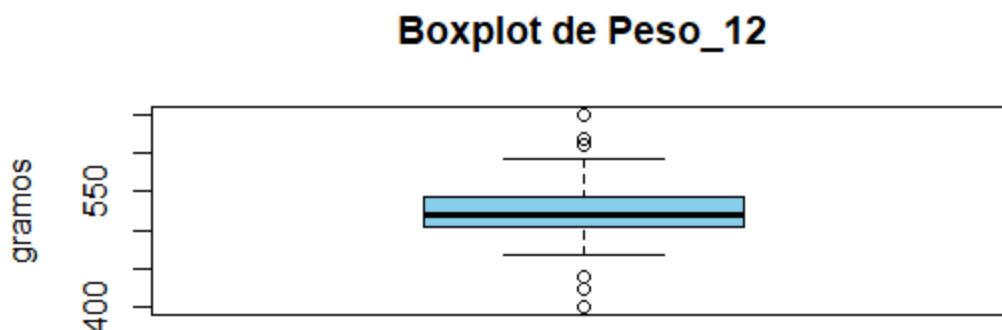
<b>PESO 12</b>		<b>Promedio</b>	<b>FRECUENCIA ABSOLUTA</b>	<b>PORCENTAJE</b>
401,00	442,42	421,71	3	9,09%
442,42	483,85	463,14	2	6,06%
483,85	525,27	504,56	15	45,45%
525,27	566,69	545,98	8	24,24%
566,69	608,12	587,41	2	6,06%
608,12	649,54	628,83	2	6,06%
649,54	690,96	670,25	1	3,03%
690,96	732,39	711,68	0	0,00%
<b>TOTAL</b>			<b>33</b>	<b>100,00%</b>

*Nota.* Los datos de la tabla muestran los intervalos de peso de la tilapia roja en la muestra 12, 180 días después de la siembra de los alevinos, de la finca San Pablo Vereda las vueltas del municipio de Hobo - Huila (2024).

La tabla 5 de frecuencias muestra que la mayor parte de los datos de peso se concentra en el rango de 483,85 a 525,27, con una frecuencia absoluta de 15, representando el 45,45% del total. El segundo rango más frecuente es de 525,27 a 566,69, con 8 ocurrencias (24,24%). Los demás rangos tienen frecuencias significativamente menores, siendo el rango de 690,96 a 732,39 el único sin datos (0%). Esto sugiere una distribución centralizada alrededor de los rangos medios, con los valores extremos de peso siendo menos comunes en la muestra.

**Figura 8**

*Estadísticas de Resumen muestra Peso 12.*



*Nota.* La figura muestra el diagrama de cajas de la muestra 12, que se realizó al cultivo de tilapia de la finca San Pablo Vereda las vueltas del municipio de Hobo - Huila (2024).

El boxplot del peso muestra que la mediana es de aproximadamente 500 gramos, con la mayoría de los datos concentrados entre 475 y 525 gramos, según el rango intercuartílico. Los valores mínimos y máximos dentro de los bigotes se encuentran cerca de 425 y 575 gramos, respectivamente. Además, se observan varios outliers por debajo de 425 gramos y por encima de 575 gramos, indicando la presencia de algunos valores extremos significativamente alejados de la mayoría de los datos.

## 9.2 Modelo logístico

El modelo logístico es esencial en la investigación del crecimiento porque captura la naturaleza sigmoideal del crecimiento, especialmente cuando existe un límite máximo asintótico claro. Este modelo es útil para describir procesos de

crecimiento donde hay una fase inicial lenta, seguida de una fase de crecimiento rápido, y finalmente una fase de estabilización cuando se alcanza la capacidad de carga. Es ideal para estudios donde el objetivo es modelar el crecimiento de poblaciones o individuos en función de recursos limitados y competencia intraespecífica.

**Tabla 8**  
*Estimadores Coeficientes del Modelo Logístico.*

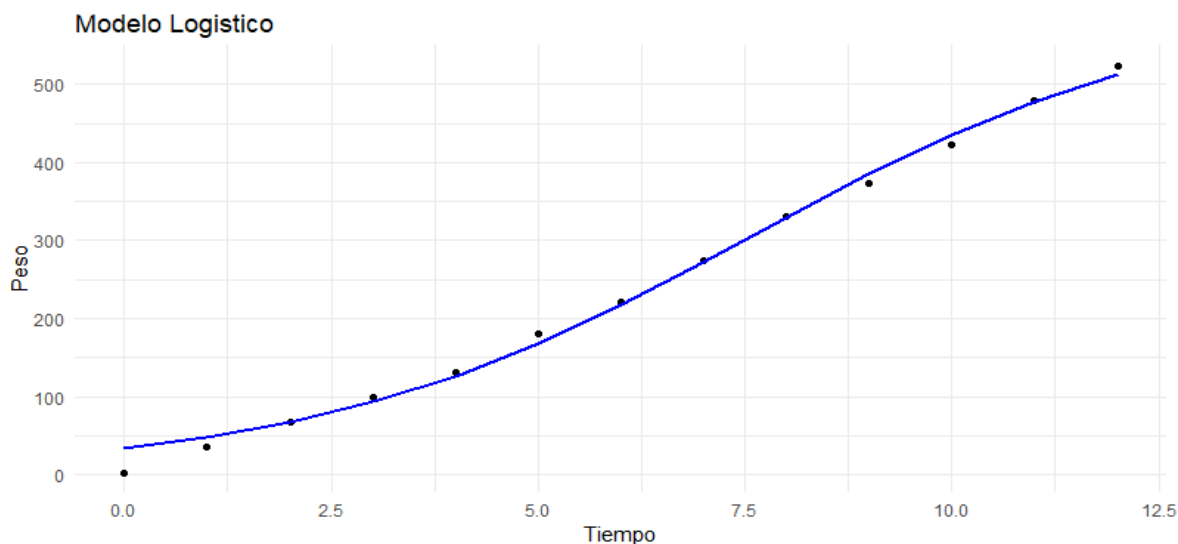
	Estimado	Error estándar	Valor t	P-Valor
K	611,88127	33,63558	18,19	5,41E-09
r	0,37444	0,02638	14,19	5,94E-08
t0	7,59117	0,37516	20,23	1,91E-09

*Nota.* Los datos de la tabla muestran los estimados y el P-valor de los coeficientes del modelo logístico, generados en R-studio.

El modelo logístico ajustado describe el crecimiento del peso de la tilapia en función del tiempo de manera efectiva. La capacidad de carga (K) es de aproximadamente 611.88 gramos, indicando el peso máximo que la tilapia puede alcanzar bajo las condiciones experimentales. La tasa de crecimiento (r) es de 0.374, sugiriendo un crecimiento moderadamente rápido. El tiempo de inflexión (t0) es de 7.59 meses, que es cuando el crecimiento es más rápido y la tilapia alcanza la mitad de su peso máximo. Todos los parámetros son altamente significativos ( $p < 0.001$ ), con un error estándar residual bajo de 13.08, indicando un buen ajuste del modelo. El modelo alcanzó la convergencia en solo 6 iteraciones con una tolerancia de convergencia muy baja, lo que muestra la precisión y eficiencia del ajuste. En resumen, el modelo proporciona una

descripción sólida y confiable del crecimiento del peso de la tilapia en función del tiempo.

**Figura 9**  
*Ajuste del modelo logístico.*



*Nota.* La figura muestra el modelo Logístico ajustado para el peso de la tilapia roja en un ciclo comercial de la finca San Pablo Vereda las vueltas del municipio de Hobo (2024).

La gráfica 9 muestra un buen ajuste del modelo logístico a los datos de peso de la tilapia en función del tiempo. Los puntos negros representan los datos observados y la línea azul representa el modelo ajustado. El modelo capta bien el crecimiento del peso, que inicialmente es lento, se acelera alrededor del tiempo de inflexión (~7.59 meses) y luego se estabiliza cerca de la capacidad de carga (~611.88 gramos). La cercanía de la línea azul a los puntos observados a lo largo de todo el rango de tiempo sugiere que el modelo logístico describe con precisión el crecimiento del peso, con un error residual bajo, lo que indica un ajuste preciso y confiable del modelo a los datos observados.

### 9.3 Modelo Von Bertalanffy

El modelo de von Bertalanffy es utilizado en la investigación del crecimiento somático de organismos porque describe el crecimiento diferencial basado en principios biológicos. Este modelo es útil para entender cómo los organismos crecen en función del tiempo y cómo diferentes factores pueden influir en su crecimiento. Es especialmente relevante para estudios donde el crecimiento se acelera rápidamente y luego se desacelera a medida que el organismo alcanza su tamaño máximo.

**Tabla 9**

*Estimadores Coeficientes del Modelo Von Bertalanffy.*

	Estimado	Error estándar	Valor t	P-Valor
a	2,26E+07	2,13E+08	0,106	0,917
b	1,85E+00	1,76E+01	0,105	0,918

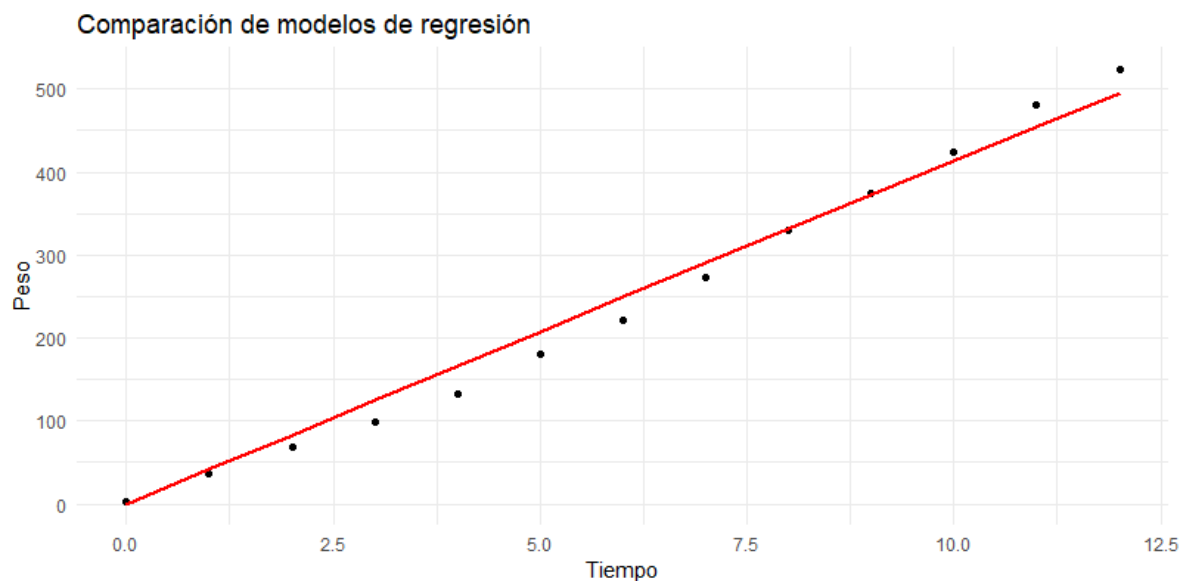
*Nota.* Los datos de la tabla muestran los estimados y el P-valor de los coeficientes del modelo Von Bertalanffy, generados en R-studio.

La tabla 7 muestra los resultados de la estimación de los parámetros a y b del modelo de von Bertalanffy, indicando una alta incertidumbre y falta de significancia. El parámetro a tiene una estimación extremadamente alta ( $2.26 \times 10^7$ ) y un gran error estándar ( $2.13 \times 10^8$ ), mientras que el parámetro b tiene una estimación de 1.85 con un error estándar de 17.6. Ambos parámetros presentan valores t bajos (0.106 para a y 0.105 para b) y p-valores altos (0.917 para a y 0.918 para b), sugiriendo que no son significativamente diferentes de cero. Estos resultados indican la necesidad de revisar la escala de los datos y la

parametrización del modelo, considerar transformaciones o evaluaciones alternativas, ya que las estimaciones actuales son altamente inciertas y no significativas.

**Figura 10**

*Ajuste del modelo Von Bertalanffy.*



*Nota.* La figura muestra el modelo Von Bertalanffy ajustado para el peso de la tilapia roja en un ciclo comercial de la finca San Pablo Vereda las vueltas del municipio de Hobo (2024).

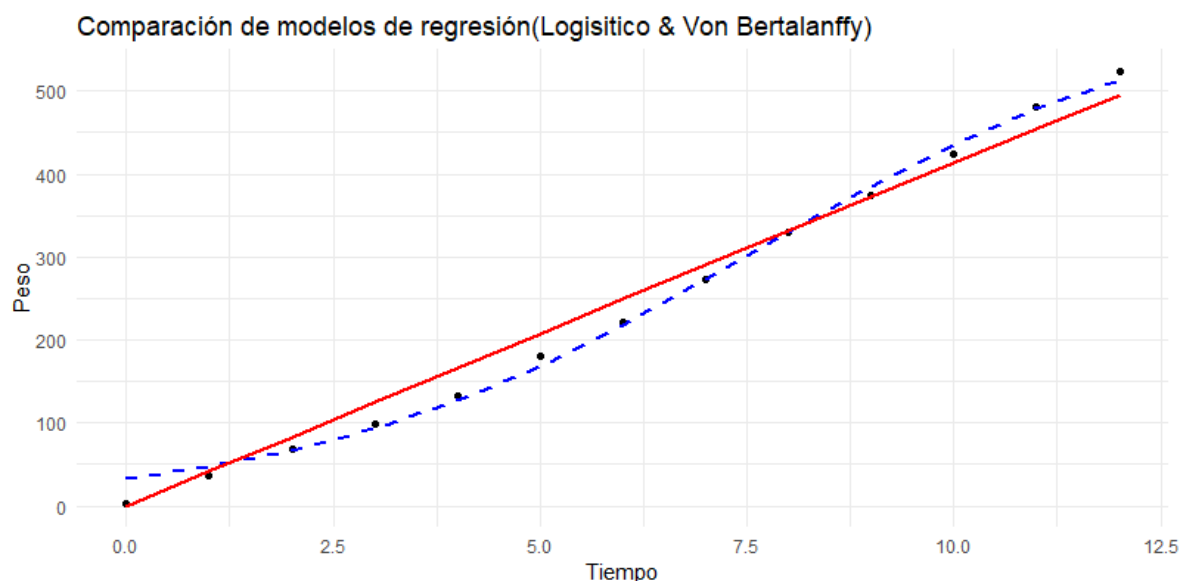
La gráfica 10 muestra la comparación de modelos de regresión para los datos de peso de la tilapia en función del tiempo, con los puntos negros representando los datos observados y la línea roja representando un modelo lineal ajustado. Se observa que el modelo lineal no captura adecuadamente la tendencia curva del crecimiento de la tilapia, sobreestimando el peso en las primeras etapas y subestimándolo hacia el final. Esto indica que el modelo lineal no es adecuado para describir la naturaleza no lineal del crecimiento observado, sugiriendo que un

modelo de crecimiento no lineal, como el modelo de Von Bertalanffy, proporcionaría un ajuste más preciso y realista.

#### 9.4 Análisis comparativo de los dos modelos

##### Figura 11

*Ajuste de los dos modelos: Logístico & Von Bertalanffy.*



*Nota.* La figura muestra la comparación de los dos modelos, tanto el Logístico, como el de Von Bertalanffy ajustado para el peso de la tilapia roja en un ciclo comercial de la finca San Pablo Vereda las vueltas del municipio de Hobo (2024).

El análisis comparativo entre los modelos de Von Bertalanffy y logístico revela que el modelo logístico es superior para describir el crecimiento del peso de la tilapia en función del tiempo. El modelo logístico, tiene parámetros altamente significativos: (K) (estimado en 611.88, p-valor 5.41e-09), (r) (estimado en 0.37444, p-valor 5.94e-08), y (t0) (estimado en 7.59117, p-valor 1.91e-09), con un error estándar residual de 13.08. Estos resultados indican un ajuste preciso y

confiable del modelo a los datos, capturando adecuadamente las fases iniciales, rápidas y de estabilización del crecimiento. En contraste, el modelo de Von Bertalanffy, con parámetros no significativos (a) y (b) y un error estándar residual de 22.22, no describe adecuadamente la relación entre el tiempo y el peso. La línea del modelo logístico sigue de cerca los puntos de datos observados, reflejando mejor la tendencia curva del crecimiento, mientras que el modelo de Von Bertalanffy no captura bien esta tendencia. En resumen, el modelo logístico ofrece una descripción estadísticamente robusta y precisa del crecimiento del peso de la tilapia, superando claramente al modelo de Von Bertalanffy en términos de significancia de los parámetros y ajuste a los datos observados.

#### 9.4.1 Correlación entre variables Peso – Talla

En la recolección de datos del peso de la tilapia roja durante el ciclo comercial también fue recolectada la muestra de tallas; fue necesario tomar los promedios de los pesos de cada muestra y de igual forma para las tallas, así determinar si existe correlación entre las variables. Los siguientes resultados son:

**Tabla 10**

*Coefficiente de correlación entre peso- talla.*

Correlación Pearson	
P-Valor	Cora
8,60E-11	0.9972577

*Nota.* Los datos de la tabla muestran el P-valor y el coeficiente de correlación entre el peso de la tilapia y la talla, generados en R-studio.

El análisis de la correlación de Pearson entre las medias de peso y talla muestra una correlación extremadamente fuerte y significativa ( $r = 0.9972577$ ), con un p-valor casi nulo ( $8.598e-14$ ). Estos resultados indican que existe una relación muy estrecha y positiva entre las dos variables, sugiriendo que el peso y la talla de la tilapia están altamente correlacionados. El intervalo de confianza estrecho y cercano a 1 refuerza la precisión de esta correlación, confirmando que los incrementos en la talla están casi perfectamente asociados con incrementos en el peso.

#### 9.4.2 Correlación entre variables Peso – Temperatura

En la recolección de datos del peso de la tilapia roja durante el ciclo comercial también fue recolectada la muestra de la temperatura; fue necesario tomar los promedios de los pesos de cada muestra y de igual forma para la temperatura, así determinar si existe correlación entre las variables. Los siguientes resultados son:

**Tabla 11**

*Coeficiente de correlación entre peso- temperatura.*

Correlación Pearson	
P-Valor	Cor
0.4688	0.220667

*Nota.* Los datos de la tabla muestran el P-valor y el coeficiente de correlación entre el peso de la tilapia y la temperatura, generados en R-studio.

El análisis de la correlación de Pearson entre las medias de peso y temperatura muestra una correlación débil y no significativa ( $r = 0.220667$ ), con un p-valor de 0.4688. Estos resultados indican que no existe una relación estadísticamente significativa entre el peso y la temperatura. El amplio intervalo de confianza, que incluye el cero, refuerza la conclusión de que cualquier aparente relación entre estas variables es probablemente debida al azar. En resumen, no hay evidencia suficiente para afirmar que el peso de la tilapia está correlacionado con la temperatura en los datos analizados.

#### 9.4.3 Correlación entre variables Peso – Ph

En la recolección de datos del peso de la tilapia roja durante el ciclo comercial también fue recolectada la muestra del pH; fue necesario tomar los promedios de los pesos de cada muestra y de igual forma para la pH, así determinar si existe correlación entre las variables. Los siguientes resultados son:

**Tabla 12**

*Coefficiente de correlación entre peso - pH*

Correlación Pearson	
P-Valor	Cor
0.8642	0.0527142

*Nota.* Los datos de la tabla muestran el P-valor y el coeficiente de correlación entre el peso de la tilapia y la pH, generados en R-studio.

El análisis de la correlación de Pearson entre las medias de peso y pH muestra una correlación extremadamente débil y no significativa ( $r = 0.0527142$ ), con un p-valor de 0.8642. Estos resultados indican que no existe una relación estadísticamente significativa entre el peso y el pH. El amplio intervalo de confianza, que incluye el cero, refuerza la conclusión de que cualquier aparente relación entre estas variables es probablemente debida al azar. En resumen, no hay evidencia suficiente para afirmar que el peso de la tilapia está correlacionado con el pH en los datos analizados.

## 10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 10.1 Conclusiones

El análisis del peso de las tilapias en la finca San Pablo durante un ciclo comercial de 180 días muestra un crecimiento sostenido con una media que aumenta de 2.67 gramos en la muestra P\_0 a 523.27 gramos en la muestra P\_12. Sin embargo, la variabilidad del peso también aumenta significativamente a medida que avanza el ciclo, especialmente después de la muestra P\_6, lo que sugiere un crecimiento menos homogéneo en las etapas finales.

La distribución del peso se vuelve más dispersa hacia el final del ciclo, con la presencia de valores atípicos más frecuentes. Esto se evidencia en el coeficiente de variación que, aunque moderado en la última muestra (9.8%), indica una variabilidad en el peso que puede impactar negativamente la uniformidad de la cosecha y, por ende, la rentabilidad del piscicultor.

El modelo logístico se ajusta mejor a los datos del crecimiento de peso de las tilapias, mostrando una capacidad de carga de aproximadamente 611.88 gramos y una tasa de crecimiento moderadamente rápida. Los parámetros del modelo logístico son altamente significativos, mientras que los del modelo de Von Bertalanffy no lo son, indicando que el modelo logístico describe de manera más precisa el crecimiento del peso de la tilapia roja.

Existe una correlación extremadamente fuerte y significativa entre el peso y la talla de las tilapias ( $r = 0.9972577$ ,  $p < 0.001$ ), sugiriendo que estos dos parámetros están casi perfectamente alineados. Esto indica que la talla puede ser un buen predictor del peso durante el ciclo de crecimiento.

Las correlaciones entre el peso de las tilapias y la temperatura ( $r = 0.220667$ ) y entre el peso y el pH ( $r = 0.0527142$ ) no son significativas. Esto sugiere que, en las condiciones estudiadas, estos factores ambientales no tienen una influencia directa y significativa en el peso de las tilapias.

## 10.2 Recomendaciones

Utilizar el modelo logístico para planificar y predecir el crecimiento de las tilapias. Este modelo ha demostrado ser más preciso y confiable, y puede ayudar a los piscicultores de menor escala a tomar decisiones informadas sobre el manejo del cultivo y la comercialización.

Aunque no se encontró una correlación significativa entre el peso y factores ambientales como la temperatura y el pH, es importante continuar monitoreando estos parámetros para asegurar que se mantengan dentro de rangos óptimos para el crecimiento de las tilapias. Esto ayudará a prevenir condiciones adversas que puedan afectar el crecimiento.

Se recomienda a los piscicultores de medianas y pequeñas empresas que tomen en cuenta y midan una serie de variables adicionales que son esenciales para el óptimo desarrollo de sus cultivos de tilapia. Entre estas variables se encuentran el nivel de oxígeno disuelto en el agua, las concentraciones de amoníaco nitrogenado ( $\text{NH}_3$ ) y nitrito, así como la alcalinidad del agua. Además, es importante considerar el tipo de alimento proporcionado a los peces, la cantidad de ración asignada por pez y la frecuencia de alimentación. Controlar y ajustar estos parámetros puede contribuir significativamente al crecimiento saludable y uniforme de las tilapias, mejorando la eficiencia del cultivo y la rentabilidad.

Proveer capacitación continua y asesoramiento técnico a los piscicultores sobre técnicas avanzadas de manejo y monitoreo. Esto puede incluir el uso de modelos predictivos, manejo de la calidad del agua, y mejores prácticas de alimentación y sanidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguilar, F. (2010). *Modelos matemáticos no lineales como herramienta para evaluar el crecimiento de tilapia roja (Oreochromis spp.) y tilapia nilótica (Oreochromis niloticus Var. Chitralada) alimentadas con dietas peletizadas o extruidas* [Maestría, Universidad Nacional de Colombia].  
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/6737>
- Agrotendencia. (2020). *agrotendencia.tv*. Obtenido de  
<https://agrotendencia.tv/agropedia/acuicultura/cultivo-de-la-tilapia/>
- Bonilla, A. (2019). Génesis de la actividad piscícola en el Huila. *Revista Academia Huilense de Historia*, 1(70), Article 70.  
<https://www.journals.academiahuilensedehistoria.org/index.php/rahh/article/view/115>.
- Castillo, L. (2001). Tilapia roja 2001 una evolución de 20 años, de la incertidumbre al éxito doce años después. *Revista Colombiana de agricultura*, 2(23), 34-45.  
[https://www.academia.edu/11595791/tilapia\\_roja\\_2001\\_una\\_evolucion\\_de\\_20\\_a%C3%91os\\_de\\_la\\_incertidumbre\\_al\\_exit%C3%91os\\_desp%C3%91es](https://www.academia.edu/11595791/tilapia_roja_2001_una_evolucion_de_20_a%C3%91os_de_la_incertidumbre_al_exit%C3%91os_desp%C3%91es)
- Espinós, F. (2020). La acuicultura como activo económico y social. *Mediterráneo económico*, 1(33), 289-307.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7663547>
- FAO. (2020). Organización de las Naciones Unidas para Alimentación y la Agricultura. Obtenido de fao.org:  
<https://www.fao.org/3/ca9231es/CA9231ES.pdf>
- FAO. (2023). Visión general del sector acuícola nacional Colombia. Obtenido de fao.org:  
[https://firms.fao.org/fi/website/FIRetrieveAction.do?dom=countrysector&lang=es&xml=naso\\_colombia.xml](https://firms.fao.org/fi/website/FIRetrieveAction.do?dom=countrysector&lang=es&xml=naso_colombia.xml)
- FAO. (2015). *Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura*. Obtenido de fao.org: <https://www.fao.org/3/i3587s/i3587s.pdf>
- García, G. (2018). *Evaluación de las características fisicoquímicas del agua en la piscícola de Asojuncal-Huila, asociados al ciclo de producción de la Tilapia roja*. [Pregrado, Universidad nacional abierta y a distancia].  
<http://repository.unad.edu.co/handle/10596/20945>

- Gobernacion Huila. (31 de Marzo de 2023). *Gobernacion del Huila*. Obtenido de huila.gov.co: <https://www.huila.gov.co/publicaciones/13718/el-huila-se-consolida-como-primer-productor-piscicola-del-pais/>
- Gobernación del Huila. (17 de 03 de 2022). *huila.gov*. Obtenido de huila.gov: <https://www.huila.gov.co/publicaciones/11992/el-huila-se-consolida-como-potencia-piscicola-de-colombia/>
- Gualdrón, S., & Castro, I. (2017). Informe técnico de la práctica empresarial y propuesta de sistematización de la estación piscícola-hacienda Majavita [Pregrado, Universidad Libre]. <http://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/19960>
- Hernández, R., Méndez, S., Mendoza, C., y Cuevas, A. (2017) *Fundamentos de investigación*. McGraw Hill interamericana editores. Ciudad de México
- International Bussiness Machines[IBM]. (Agosto de 2023). *IBM*. Obtenido de <https://www.ibm.com/docs/es/spss-statistics/saas?topic=regression-nonlinear>
- InformeCadenaPiscícolaHuila. (2018). *Gobernacion Del Huila*. Obtenido de huila.gov.co: <https://www.huila.gov.co/loader.php?idFile=2846&IFuncion=descargar&IServicio=Tools2&ITipo=descargas>
- Londoño, J., & Pineda, H. (2012). Determinación de tallas de tilapia roja o por medio de curva de distribución de pesos en tres lotes [Pregrado, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid]. <https://repositorio.elpoli.edu.co/items/2a6b4005-7da1-48a0-ad6131e66572650e/full>
- Krohnert, R., & Salvador, M. (2006). Los impactos ambientales de la acuicultura, causas y efectos. Vector Plus. Las Palmas de Gran Canaria: Fundación Universitaria, 1994- ISSN 1134-5306, n.28, 2006, p. 89, 1(32). <https://accedacris.ulpgc.es/jspui/handle/10553/6671>
- Merino, M., Bonilla, S., Bages, F., & Flores, A. (2013). *Diagnóstico del estado de la acuicultura en Colombia* (Primera Edición). Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca - AUNAP. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/36592>.
- Meyer, D., y Triminio, M. (2007). Reproducción y Cria de Alevines de Tilapia. Tegucigalpa:. Obtenido de bdigital.zamorano.edu: <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/18c3ce8b-2558-4d84-bb9d-cb203468e8a0/content>

- Parrado, G. (2012). Historia de la Acuicultura en Colombia. AquaTIC, 37, 60-77.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49425906003>
- Phillips, M. (1994). Aquaculture and the environment-striking a balance. *Proceedings of Infofish Aquatech*, 94(23), 23-45.  
[https://www.researchgate.net/publication/267805656\\_Aquaculture\\_and\\_the\\_environment-striking\\_a\\_balance](https://www.researchgate.net/publication/267805656_Aquaculture_and_the_environment-striking_a_balance)
- Pillay, T., & Kutty, M. (2005). Aquaculture: Principles and Practices. Primera edición
- Pinza, J. (2014). Manejo de reproductores y de la calidad del agua para mejora de la producción de alevinos de tilapia roja en la estación piscícola Fish-flow, Huila-Colombia [Universidad de Nariño].  
<https://sired.udenar.edu.co/1232/1/90745.pdf>
- Skretting (s. f.). Skretting. Recuperado 11 de julio de 2024, de  
<https://www.skretting.com/es-ec/>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2018). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018: Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible*. UN. <https://doi.org/10.18356/37c4c7b4-es>
- Saavedra. (2018). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018: Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible. UN. <https://doi.org/10.18356/37c4c7b4-es>
- SKretting. (s.f.). *Skretting a nutreco company*. Obtenido de skretting.com:  
<https://www.skretting.com/es-ec/transparencia-y-confianza/preguntas-frecuentes/Por-que-es-importante-la-acuicultura/>
- Zabala, K., Lozada, P., & Cabrera, L. (2014). Monitoreo y medición del ajuste del pH del agua tratada del Río Cauca mediante índices de estabilización. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 17(2), Article 2.  
<https://doi.org/10.31910/rudca.v17.n2.2014.422>
- Zapata, M., & Vieyra, E. (2017). Adaptation to captivity and experimental culture of *Cynoscion analis* (cachema). *Manglar*, 14, 87-94.  
<https://doi.org/10.17268/manglar.2017.012>

Valenzuela R. & Martínez P. & Arevalo J. (11 de Mar de 2017). *Universidad Surcolombiana*. Obtenido de [http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/238/2382467004/html/index.html#redalyc\\_2382467004\\_ref22](http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/238/2382467004/html/index.html#redalyc_2382467004_ref22)

Vargas, R., Martínez, P., & Arévalo, J. (2017). Evaluación preliminar de un sistema de recirculación de aguas para un prototipo implementado en la producción de tilapia roja (*Oreochromis sp.*). *Ingeniería y Región*, 18, 25-33. <https://doi.org/10.25054/22161325>.

## ANEXOS

### Peso

FECHA	1-oct-23	16-oct-23	31-oct-23	15-nov-23	30-nov-23	15-dic-23	30-dic-23	14-ene-24	29-ene-24	13-feb-24	28-feb-24	14-mar-24	29-mar-24
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
NUMERO	P_0	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_10	P_11	P_12
1	2	35	60	99	140	178	215	254	313	365	409	468	513
2	1	43	75	96	122	165	205	282	348	386	422	479	522
3	2	33	79	103	142	191	207	195	413	366	409	477	523
4	1	40	73	105	133	200	200	269	349	468	432	492	401
5	3	25	75	84	120	154	204	252	306	364	413	483	520
6	2	34	71	97	142	169	213	353	300	387	442	498	620
7	4	50	71	85	124	190	227	279	334	353	502	550	502
8	4	44	73	109	125	168	239	275	312	371	335	480	505
9	3	34	61	106	119	254	223	283	428	350	428	453	590
10	4	42	67	103	115	159	207	274	332	351	415	465	510
11	2	43	80	89	144	191	202	299	346	362	442	497	549
12	3	48	73	113	135	172	220	362	304	368	417	498	478
13	3	21	78	82	129	187	242	256	316	379	439	500	505
14	4	44	74	85	115	190	216	190	339	260	447	471	500
15	1	29	55	107	125	167	201	262	242	399	442	486	610
16	3	40	75	115	143	157	242	260	347	399	432	478	550
17	3	22	78	106	129	183	244	254	335	371	345	484	535
18	3	35	59	107	125	186	240	265	335	378	413	491	520
19	4	36	61	80	137	160	243	275	345	362	407	399	468
20	3	25	58	111	124	194	246	278	345	391	440	482	650
21	1	32	70	115	141	169	222	296	342	275	441	475	510
22	3	43	66	108	125	190	206	270	303	393	439	455	522
23	2	22	76	93	145	171	224	264	339	385	410	499	501
24	2	47	66	103	130	188	205	296	306	369	400	476	504
25	4	30	53	110	147	180	225	296	321	381	434	467	535
26	3	45	67	96	116	197	219	289	322	384	449	473	425
27	2	22	50	105	147	153	212	264	320	391	414	477	526
28	4	42	72	80	137	178	210	257	323	397	443	482	544
29	2	20	69	104	130	157	233	262	344	400	414	459	440
30	2	42	68	85	123	195	245	271	327	393	427	488	513
31	2	47	60	106	123	191	221	287	341	368	417	489	540
32	4	46	57	85	148	197	206	275	313	393	423	474	594
33	2	22	76	114	147	173	241	291	321	371	434	499	543

## Tallas

1-oct-23	16-oct-23	31-oct-23	15-nov-23	30-nov-23	15-dic-23	30-dic-23	14-ene-24	29-ene-24	13-feb-24	28-feb-24	14-mar-24	29-mar-24
0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
Tall_0	Tall_1	Tall_2	Tall_3	Tall_4	Tall_5	Tall_6	Tall_7	Tall_8	Tall_9	Tall_10	Tall_11	Tall_12
1,2	2,5	5,2	7,5	9,3	12,1	13,6	15,3	17,8	19,7	22,3	25,7	27,8
1,2	2,6	5,8	7,5	8,8	11,7	13,1	17	19,6	21	22,7	25,9	28,3
1,2	2,5	6,1	7,9	9,5	12,5	13,6	12,8	22,6	20,2	22,3	25,9	28,3
1,2	2,6	5,8	7,9	9,1	12,8	13	15,8	19,9	25,7	22,9	26,7	21,9
2,1	2,2	5,8	7,2	8,6	11,7	13,1	15,3	17,4	19,7	22,6	26,2	28
1,2	2,5	5,8	7,5	9,5	12	13,6	19,5	17,4	21	23,4	26,9	30,4
2,5	2,8	5,8	7,2	8,8	12,1	14,3	16,8	18,5	19,5	26,5	31	26,5
2,5	2,6	5,8	8,2	8,8	11,7	14,5	16,2	17,8	20,6	18,5	26	27
2,1	2,5	5,2	7,9	8,6	15,3	14	17	22,9	19,2	22,9	25,4	32,4
2,5	2,6	5,7	7,9	8,6	11,7	13,6	16,2	18,5	19,5	22,6	25,7	27,5
1,6	2,6	6,1	7,5	9,5	12,5	13,1	17,9	19,2	19,7	23,4	26,9	30,3
2,1	2,8	5,8	8,5	9,1	12	14	19,7	17,4	20,2	22,6	26,9	25,7
2,1	2,1	6	7,2	9,1	12,1	14,5	15,3	17,8	20,9	23	27,1	27
2,5	2,6	5,8	7,2	8,6	12,3	13,6	12,1	18,9	15,5	23,7	25,7	26,5
1,2	2,5	5,1	8,2	8,8	11,7	13	15,5	14,5	21,7	23,4	26,5	30,3
2,1	2,6	5,8	8,5	9,5	11,7	14,5	15,5	19,5	21,7	22,9	25,9	31
2,1	2,2	6	7,9	9,1	12,1	14,8	15,3	18,5	20,6	19,2	26,2	28,7
2,1	2,5	5,1	8,2	8,8	12,1	14,5	15,8	18,5	20,9	22,6	26,7	28,3
2,5	2,5	5,2	7,2	9,3	11,7	14,8	16,2	19,2	19,7	22,3	21,7	25,7
2,5	2,2	5,1	8,5	8,8	12,5	14,8	16,8	19,2	21,1	23,4	26,2	33,1
1,2	2,5	5,7	8,5	9,5	12	14	17,5	18,9	16,2	23,4	25,9	27,5
2,5	2,6	5,7	8,2	8,8	12,5	13,1	15,8	17,4	21,1	23	25,4	28,3
1,6	2,2	6	7,5	9,7	12	14	15,5	18,9	21	22,3	26,9	26,5
1,6	2,8	5,7	7,9	9,1	12,1	13,1	17,6	17,4	20,2	22,2	25,9	27
2,5	2,5	5,1	8,2	9,7	12,1	14	17,6	18,2	20,9	23	25,7	28,7
2,5	2,6	5,7	7,5	8,6	12,8	13,9	17	18,2	21	23,7	25,9	22,8
1,6	2,2	5	7,9	9,7	11,7	13,6	15,5	18,2	21,1	22,6	25,9	28,7
2,5	2,6	5,8	7,2	9,3	12,1	13,6	15,3	18,2	21,7	23,4	26,2	30,3
1,6	2,1	5,7	7,9	9,1	11,7	14,3	15,5	19,2	22	22,6	25,4	25,3
1,6	2,6	5,7	7,2	8,8	12,8	14,8	15,8	18,5	21,1	22,9	26,5	27,8
1,6	2,8	5,2	7,9	8,8	12,5	14	17	18,9	20,2	22,6	26,5	29
2,5	2,8	5,1	7,2	9,7	12,8	13,1	16,2	17,8	21,1	22,7	25,9	30,7
2,1	2,2	6	8,5	9,7	12	14,5	17,5	18,2	20,6	24,2	26,9	29,5

Muestra	Ph	Tem
0	7,2	28
1	7,8	29
2	7,9	29
3	7,7	30
4	7,4	30
5	7,7	30
6	7,9	29
7	7,8	29
8	7,5	30
9	7,2	28
10	7,6	30
11	7,6	29
12	7,9	30